



# A Novel Re-Engineering Method Utilizing Model Based Systems Engineering<sup>1</sup>

Hamid Alper Oral

Yildiz Technical University, Faculty of Applied Sciences, Department of Aviation Electrics and Electronics, Istanbul, Turkey (ORCID: 0000-0001-8063-1942)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf1)

**ATIF/REFERENCE:** Oral, H. A. (2020). A Novel Re-Engineering Method Utilizing Model Based Systems Engineering. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 1-7.

## Abstract

This paper provides a novel re-engineering method utilizing Model Based Systems Engineering (MBSE). It takes knowledge and experience accumulated over many years to develop an engineering product of good performance and quality. For those who lack that pool of knowledge and experience but aims to develop the product, this novel method could reduce the time required to accumulate the knowledge, to gain the experience and moreover to come up with a more enhanced product. The method also provides a way to build an infrastructure consisting of digital models validated by experimental data that would boost the pace of the product development cycle. The infrastructure not only preserves the knowledge but also it makes the knowledge easily accessible to developers for immediate use.

**Keywords:** Requirements, Modeling, Simulation, Prototyping, Verification and Validation.

## Model Tabanlı Sistem Mühendisliği Yardımıyla Özgün Bir Yeniden Mühendislik Yöntemi

### Öz

Bu makale Model Tabanlı Sistem Mühendisliğini (MTSM) kullanan özgün bir yeniden mühendislik yöntemi sunmaktadır. İyi performans ve kalitede bir mühendislik ürünü geliştirmek uzun yıllar boyunca biriken bilgi ve deneyimi gerektirir. Bu bilgi ve deneyim havuzundan yoksun, ancak ürünü geliştirmeyi amaçlayanlar için, bu özgün yöntem bilgiyi biriktirmek, deneyim kazanmak ve daha gelişmiş bir ürün bulmak için gereken zamanı azaltabilir. Yöntem ayrıca, ürün geliştirme döngüsünün hızını artıracak deneysel verilerle onaylanmış dijital modellerden oluşan bir altyapı oluşturmak için bir yol sağlar. Altyapı sadece bilgiyi korumakla kalmaz, aynı zamanda bilgiyi anında kullanım için geliştiriciler tarafından kolayca erişilebilir hale getirir.

**Anahtar Kelimeler:** İsterler, Modelleme, Simülasyon, Prototipleme, Doğrulama, Geçerleme.

## 1. Introduction

Per the Oxford dictionary the Re-engineering is defined as “redesigning a device or machine.” The term re-engineering is usually mixed with the term reverse engineering meaning “the reproduction of another manufacturer’s product following detailed examination of its construction or composition.” There is a significant difference between the two. While the first approach, the re-engineering, targets a superior product; the latter approach, the reverse engineering, merely tries to copy the original, aiming to get close to its performance at best. The presented novel re-engineering method in this article integrates the basic principles and methods of Systems engineering in a model-based fashion into the re-Engineering process to insure the performance and efficiency of the redesigned product are up to the mission level operational requirements.

<sup>1</sup> This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

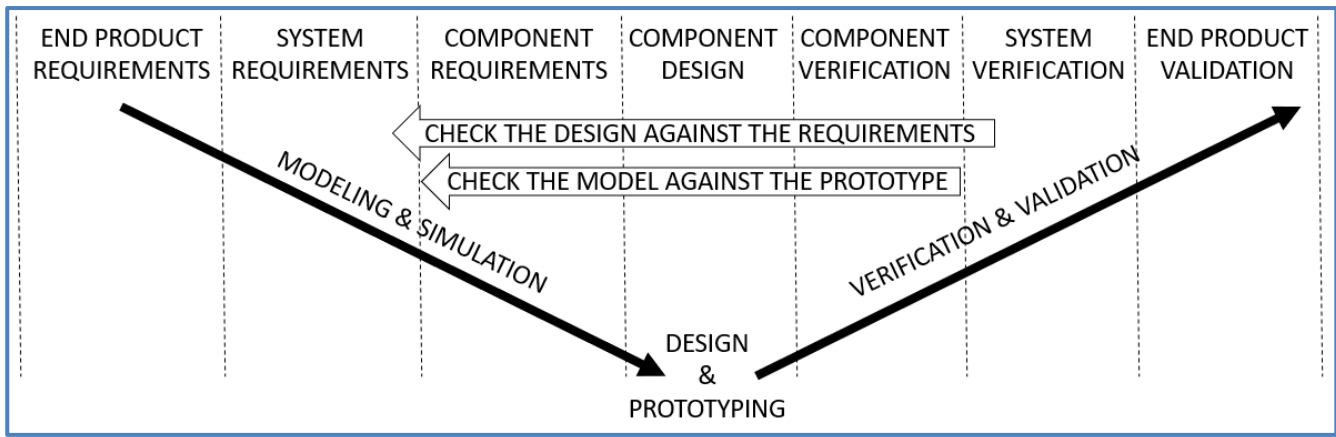


Figure 1- An MBSE product development process

Systems engineering is defined as “an interdisciplinary approach and means to enable the realization of successful systems” (Walden et al, 2015). Systems engineering is also defined as “an iterative process of top-down synthesis, development, and operation of a real-world system that satisfies, in near optimal manner, the full range of requirements for the system” (Eisner, 2008). There is almost a century long history to the evolution of Systems engineering originating from Bell Labs in late 1930’s. With the rise of the digital technology, Systems Engineering discipline has recently been transforming itself to adapt to this new era by incorporating modeling and simulation into its design cycle for verification and validation early in concept and development phase. MBSE is defined as “the formalized application of modeling to support system requirements, design, analysis, verification and validation activities beginning in the conceptual design phase and continuing throughout development and later life cycle phases” (Walden et al, 2015).

In a typical development life cycle, a concept is laid out and functions to serve this concept are developed. Components are designed to satisfy the desired functions. Development of components and the way they interact with each other paves the way for the system architecture. Through the implementation, the designs are brought to life. After the implementation, the product is ready to be tested to see if the product functions as planned. Using the test data, the desired functions can be validated. At each development step, it is critical to check back with the functions that the planned design is going to be satisfactory.

The cost of design changes after the implementation are very prohibitive in terms of both budget and time. That is why a more systematic approach has been introduced in the form of a V cycle in Systems Engineering (SAE ARP 4754-1996) (Figure 1). The cycle starts with the End Product Requirements on the top left and finishes with the End Product Validation on the top right. The sharp edge of the Vee is where the design is developed, and implementation starts. The left side of the Vee is the development of requirements broken down from the End Product to component’s level; while the right side is the verification and validation carried out on the prototype from component to the End Product against the requirements. In the conceptual design stage since there is no prototype yet to test, modeling and simulation is the most effective and advantageous to quantitatively test the mission level requirements. After the verification of all the requirements through modeling and simulation, the design is carried out and a prototype per the design is built. As the component and system verification and validation tests are carried on the prototype, the models used on the left-hand side of the Vee are enhanced to better represent the components and hence the system behavior. Execution of the tests on the prototype also provide means to validate the design.

The Computer Aided Design (CAD) and Engineering (CAE) tools started to gain acceptance following the digital transformation. About a decade later Systems Engineering practices were revolutionized with Model Based methods (see Figure 2).



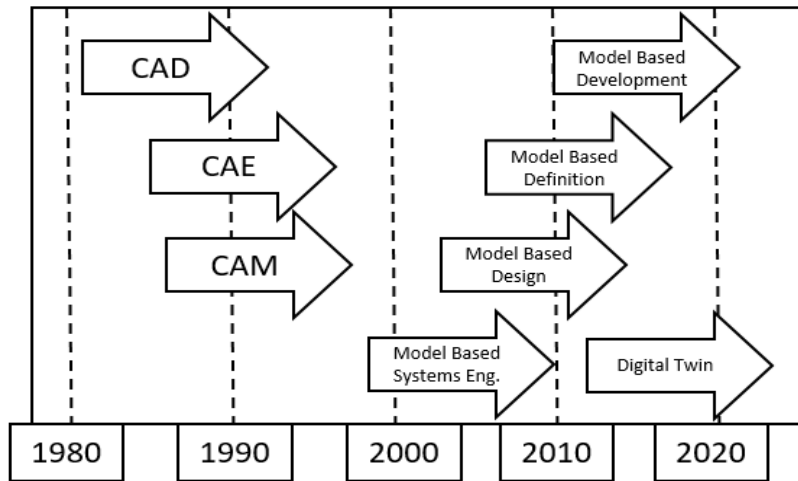


Figure 2-The propagation of model-based methods following the digital revolution (Oral, 2019)

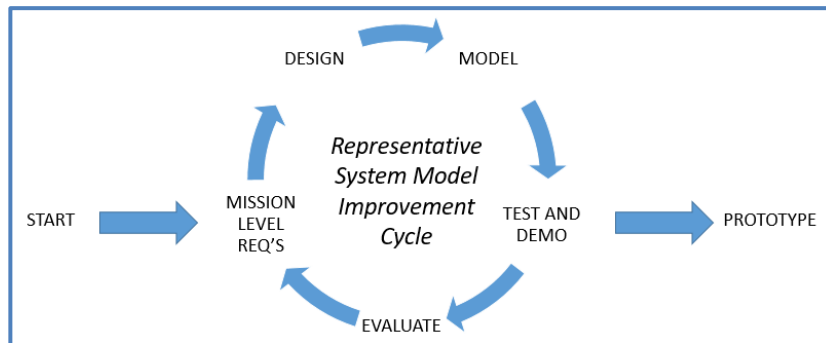


Figure 3- Incremental development through mission level testing before prototyping

The MBSE methods enable the verification and validation at the conceptual and preliminary design stage by means of simulation therefore reducing the risk of running into prohibitive design changes on the right side of the Vee cycle. Transferring the component and system dynamic behavior into digital domain in the form of models and using the verification and validation data from the real tests enhancing model accuracy and fidelity enables the transfer of the knowledge and know-how from document-based environment into model-based environment.

A model-based environment is executable with capability to provide automated reports eliminating the documentation workload that many companies still undertake. Keeping the know-how in an executable form in digital environment makes it accessible for learning and leveraging it for other projects on-demand instead of documentation form which is a lot harder to utilize. A large project can produce as many as 50 thousand documents and principally at every design change these documents must be reviewed and reprocessed, however in a model-based systems engineering setting this task including verification and validation tests can be done in a matter of hours using limited resources.

Probably one of the most challenging parts of the Systems Engineering is the development of the requirements. A model-based environment allows the tests to be carried out much earlier against the requirements. The defined functional requirements at unit level are usually satisfied. However, as the system hierarchy level increases from unit level to system level, and later to system of systems level (SoS), it becomes harder to maintain the initial design solution without any changes to meet the requirements. Especially in the case of SoS, emerging behaviors, that is behaviors that are unexpected, surface leading to design changes (Walden et al, 2015). When emerging behaviors are faced, it is usually the case that more requirements are added to account for the unexpected since it is impossible to foresee those emerging behaviors in advance. The best solution to face this problem is building representative models for the systems and simulate the test cases to help identify the potential problems as early as possible in conceptual design phase. It is therefore very critical to have representative models to carry out SoS level tests to ensure that functional requirements are satisfied. It is recommended to run the tests in simulation environment against the mission level requirements, since the requirements broken down to systems and unit level might be insufficiently defined (Coppola, 2019). The model improvement cycle shown (Figure 3) utilizes mission level requirements with capability to execute the simulations based on representative models.

## 2. Material and Method

### 2.1. A Novel Re-Engineering Method

The schematic of a novel Re-Engineering method utilizing Model Based Systems Engineering is shown in Figure 4. Unlike a typical development life cycle, this process starts with an already existing product that is available to be studied and tested.

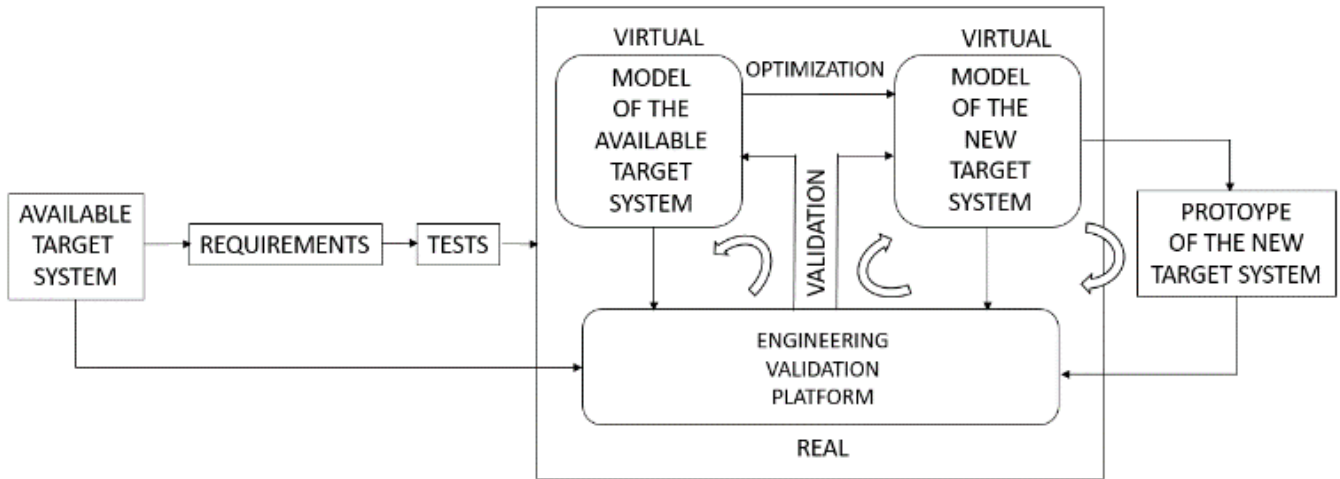


Figure 4- A novel re-engineering method utilizing model-based systems engineering

### 2.1.1. Defining requirements/Designing Test Cases

The first step is identification of the mission level requirements and development of the associated test cases to verify and validate these requirements according to the end customer's demand. Using the existing engineering validation platforms and the test capabilities, the requirements can be derived for systems as well as low level components.

### 2.1.2. Modeling the available target system

The development cycle shown on the left side of the figure represents the effort of transferring the available target system into a model form in digital environment. The reference data and desired dynamic behavior of the available target system are generated in the engineering validation platforms and then they are used to validate the models built to represent the system in digital form. The cycle continues until the digital model provides the same behavioral characteristics of the actual target system in model simulation environment compared to the available target system test measurements obtained from the engineering validation platforms.

### 2.1.3. Optimizing the available target system

Once the target prototype functions and behavior are represented in virtual environment in digital form, the next step is to enhance the requirements and optimize the design for an even better product than the available target prototype leading to the Re-Engineered product. Optimization work could be in variety of forms such as weight reduction, performance improvement, enhanced durability etc. Following the completion of the optimization process, the developed requirements on the left side of the Vee cycle and associated test cases for verification and validation must be executed over the models to ensure that the re-engineered product successfully satisfies the requirements.

### 2.1.4. Prototyping the new target system

The prototyping the new re-engineered system is the next step in the development process. This stage of development consists of two cycles, one of which involves the prototyping step which is costly but represents the transformation of the optimized/re-engineered design from virtual environment in model form into the real environment in hardware form. Once built, the prototype is tested over the engineering platforms according to the specified test cases to verify and validate the requirements. The already developed digital model enables the developers to further understand the physics and debug the issues faced during testing. However, there might be cases that would call for changes in the models and even worse in the prototype. When a design change is introduced that requires a prototype modification or replacement, it would be costly both in terms of budget and time. The cycles can only be terminated successfully if the re-engineered design provides the same performance both in digital environment and engineering test platforms per the developed verification and validation tests.

## 2.2. Implementation Requirements

To execute the presented re-engineering method there are several requirements which are briefly described in this section.

### 2.2.1. Model development and simulation infrastructure

This is where representative models could be used to make sure that the modeled design satisfy the mission requirements and how parameter of each component affects the mission performance could be demonstrated. Later the models are computationally optimized to run in real time in SIL environment. Model development environments are also ideal to develop controls algorithms and test them against the requirements. Control algorithms can be taken through model in the loop (MIL), software in the loop (SwIL) and hardware in the loop (HIL) stages to ensure successful implementation (Figure 5).

2.2.2. A Systems Integration Lab (SIL)

This is where actual systems work together with virtual systems both functioning as in the aircraft during normal operation. In a SIL environment all the systems could be virtual, or all could be real except those that might not add any value. That is why most sensor inputs are dynamically simulated to keep the controller units running as in the vehicle. Actuators are also part of the loop, simulated or real with reactive loads. Since the set up might contain real systems, the simulations must execute in real time in SIL environment.

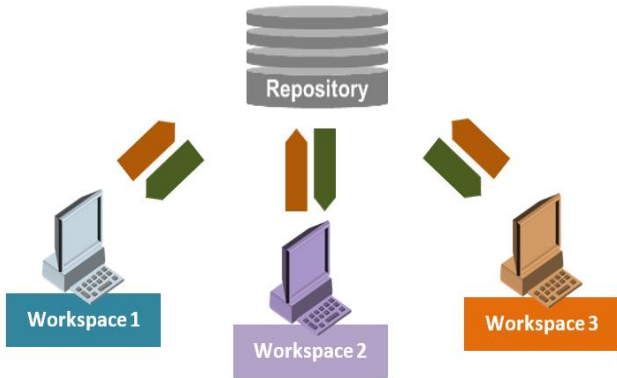


Figure 5- Model development and simulation infrastructure (left) and a systems integration lab (right)

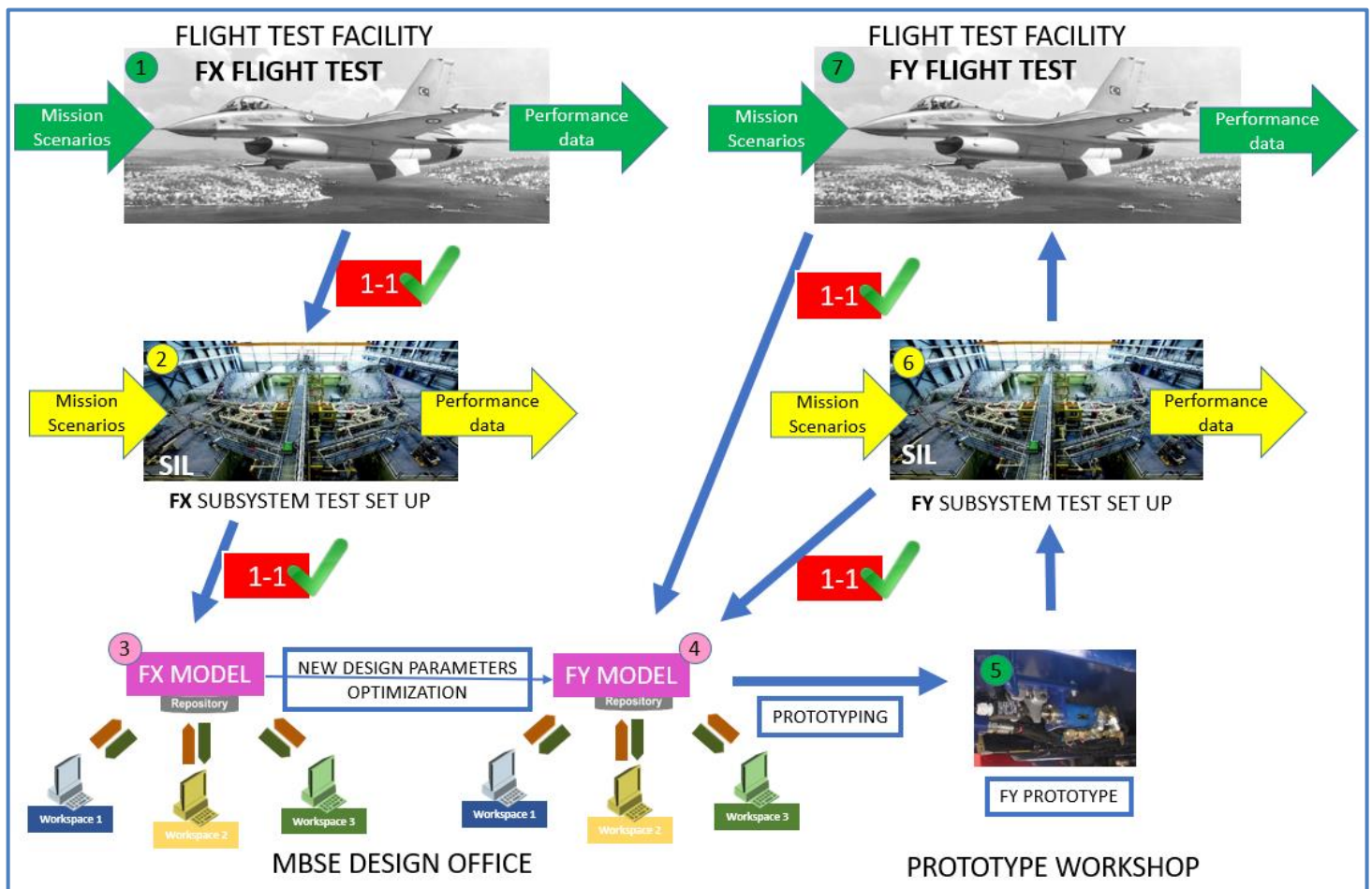


Figure 6- The implementation steps

2.2.3. An instrumented test vehicle

This is the ultimate testing environment but if there is any way to execute a test on a bench, that should be preferred. The instrumentation without interference with the systems operation in a mobile vehicle is a challenging task. The data collected during vehicular missions help to run equivalent scenarios on the test bench set ups and the model simulation environments as well as characterization of vehicle dynamics for controls purposes. The amount, the frequency and the quality of data collected is also critical to characterize the target system across its operation range.

## **2.3. Implementation Steps**

In this section the implementation of the re-engineering method is explained step by step for a specific example of an aircraft system. Assuming a certain aircraft system would like to be re-engineered. In figure 6, all 7 implementation steps are shown. The implementations carried out in real life environment are steps 1, 5 and 7; which are colored green. The implementations that are carried out in digital modeling environment are steps 3 and 4; which are colored pink. The engineering test platforms are steps 2 and 6; which are colored yellow. Following sections are numbered the same as the implementation steps.

### ***2.3.1. Understanding the system behavior***

The implementation of the re-engineering method starts with understanding the target system behavior through testing. To be able to test the target system as if it is in an airplane running a mission, the flight test data is required. For several mission scenarios, the signals are measured during flight tests in relation to the target system. An instrumented aircraft running the mission scenarios provides the required data. Identified key performance values are calculated using the flight data both at aircraft level and at subsystems level including the target subsystem. Hence as the first step of the implementation, the input signals and output signals of the available target system are obtained for all mission scenarios obtained from flight data.

### ***2.3.2. Building the SIL for the available target system and verifying it with flight data***

Setting the testing environment on the ground rather than using the actual airplane provides a much more accessible and observable environment. The SIL environment is instrumented to allow collection of the data at target system component level both at inputs and at outputs. Executing the mission scenarios on the ground test set up allows the validation of the individual component models in the target system. At the same time, the mission level requirements are broken down to target system and further down to the component levels. In addition, the tests cost considerably less and more importantly they are safer than flying an aircraft. Using the flight data obtained during the previous step, a system integration lab set up can be verified running the hardware in the loop simulation of the same missions. Once the performance data obtained from the flight tests per specified missions compare to the ones simulated in the SIL environment within acceptable tolerances, it can be said that the model built and simulation conditions realized within the SIL environment reasonably represents the target system during the flight tests. Once this is achieved, the task of setting up the SIL test environment for the available target system is complete.

### ***2.3.3. Developing the representative target system models and verifying them with SIL data***

As the next step, the objective is setting up models to represent the target system and validate the model performance by comparing mission level simulation results between the model development environments and the SIL. Using the aircraft mission scenarios and executing them on the newly developed behavioral and physical models producing the comparable results to the ones obtained on the SIL should prove that modeling environment could be used to check the system performance against the requirements; the model development work is continued until this is achieved.

### ***2.3.4. Customizing the target system design and enhancing it through optimization***

The re-engineering method aims to deliver a better system than the one at hand. This is achieved at this step; as soon as the available target system model is successfully created in the virtual world, the models are optimized to achieve better performance at comparable cost. Considering that the design parameters are changed in the process of optimization, all the tests are repeated to insure that the new optimized design satisfies the requirements. In addition to the design parameters, some requirements may change and new requirements may be added. Therefore, the process starts with the optimized target system model to be verified and validated as if it is a new conceptual design and treated according to the MBSE development process previously shown in Figure 1. Tests are redesigned for all the requirements and executed in the virtual world from mission level down to system level and further down to component level until all the requirements are successfully satisfied that can be evaluated using simulation and analysis methods. Having successfully passed all the requirements, then the design for the prototype is readied for production.

### ***2.3.5. Building the optimized target system prototype***

This step requires building the new re-engineered target system prototype per design specifications obtained in the previous steps.

### ***2.3.6. Developing the optimized target system prototype***

A new SIL environment for the optimized system has to be built unless the previous set up can be re-used with some reversible changes. It is critical to maintain tightly controlled test environments the same as the model environments which can be re-utilized at a desired development stage.

The prototyped system is tested in a SIL environment using the same test scenarios carried out in the simulation environment from component level to system level and to mission scenarios; this approach makes it possible to easily compare the results and identify the issues that should be taken into account on the prototype. In case of any failure in regards to satisfaction of a requirement, necessary actions are taken either by improving the models or the prototype or both. Once the prototype and models demonstrates comparable results satisfying the requirements then this phase of the re-engineering method is considered to be completed successfully.



### **2.3.7. The final validation tests of the prototype with flight data**

For the last step, the flight tests are carried out on mission level and prototype performance is re-evaluated for final validation stage while the prototype is integrated into the rest of the systems of the aircraft. Since the prototype is the result of the tests in Model and SIL development environments, along with the prototype these environments are also updated per the results of the flight tests. Depending on the discoveries during the development work, the process is restarted from a previous step taking into account the newly learned lessons. The final acceptance stage of the prototype is considered to be successfully completed when the flight tests provide comparable mission simulation results to the ones executed in SIL prototype tests and also to the ones obtained in model development environment.

## **3. Conclusions and Recommendations**

A novel re-engineering process is defined and demonstrated in seven steps at high level using a generic example. The approach utilizes model based systems engineering leading to verified and validated digital models of actual systems to be used for further design and development.

## **Acknowledgement**

The work presented in this paper would not have been possible without the support of the Turkish Aerospace Industries.

## **Reference**

- Walden, D. D., Roedler, G. J., Forsberg, K., Hamelin, R. D., & Shortell, T. M. (2015). *Systems engineering handbook: A guide for system life cycle processes and activities*. John Wiley & Sons.
- Eisner, H. (2008). *Essentials of project and systems engineering management*. John Wiley & Sons.
- ARP4754, S. A. E. (1996). Certification considerations for highly-integrated or complex aircraft systems. *SAE, Warrendale, PA*.
- Oral, H. A. (2019, December). "An Establishment of a Common Modeling and Simulation Environment," In 2019 3<sup>rd</sup> ASSAM Congress, ASSAM.
- Coppola, V. (accessed in 2019, September). "Lessons Learned from Software Development," *TECH Talks by AGI*, Available: <https://youtu.be/x90gMLeoiXo>



# ANN Supported Decision System Performance in Diagnosing Parkinson's Disease\*

Uğur Fidan<sup>1</sup>, Neşe Özkan Yılmaz<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0003-0356-017X)

<sup>2</sup>Biomedical Engineering, Faculty of Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0003-4411-4838)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf2)

**ATIF/REFERENCE:** Fidan, U. & Özkan Yılmaz, N. (2020). ANN Supported Decision System Performance in Diagnosing Parkinson's Disease. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 8-14.

## Abstract

Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disease that results in the loss of function of dopamine-producing brain cells. Primer designation of PD; is seen as tremor in the upper and lower limbs in 70% of the patients, and as in slowing and stiffness in the movement in 30% of them. Archimedes spiral technique is a clinical test method developed for examining PD motor disorders. The reliability and validity of the spiral test drawing technique was statistically proven by comparing it with the Unified Predictive Rating Scale (UPDRS). In this study, it was aimed to construct a static spiral test and a dynamic spiral test drawings, to extract the characteristics using the signal processing techniques and to identify the Parkinson's disease using the artificial neural network model. In the classification of the disease, only SST and ANN using only DST and f score ratio in the classification were found to be 0.95 and 0.92, respectively. When SST and DST methods were evaluated together, ANN classification success was found to be 0.99. For this reason, it was found that SST and DST methods were more successful in the classification of the disease than the classification using SST and DST alone. Using the combination of SST and DST data as a result of the study, PD was classified with artificial intelligence techniques with an accuracy of 98.6% and a score of 0.99 f.

**Keywords:** *Biomedical Signal Analysis, Parkinson's Disease, Artificial Neural Network (ANN), Spiral Analysis.*

## Parkinson Hastalığının Teşhisinde YSA Destekli Karar Sistemi Başarımı

### Öz

Parkinson hastalığı (PD), dopamin üreten beyin hücrelerinin işlev kaybıyla sonuçlanan nörodejeneratif bir hastalıktır. PD'nin primer tanımı; hastaların% 70'inde üst ve alt ekstremitelerde titreme,% 30'unda harekette yavaşlama ve sertlik gibi görülür. Arşimet spiral tekniği, PD motor bozukluklarını incelemek için geliştirilmiş bir klinik test yöntemidir. Spiral test çizim tekniğinin güvenilirliği ve geçerliliği, Birleşik Tahmin Derecelendirme Ölçeği (UPDRS) ile karşılaştırılarak istatistiksel olarak kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, statik bir spiral test ve dinamik bir spiral test çizimlerinin yapılması, sinyal işleme teknikleri kullanılarak karakteristiklerin çıkarılması ve yapay sinir ağı modeli kullanılarak Parkinson hastalığının belirlenmesi amaçlanmıştır. Hastalığın sınıflandırılmasında, sadece sınıflandırmada sadece DST ve f skor oranı kullanılan SST ve YSA sırasıyla 0.95 ve 0.92 olarak bulundu. SST ve DST yöntemleri birlikte değerlendirildiğinde YSA sınıflandırma başarısı 0,99 bulunmuştur. Bu nedenle, hastalığın sınıflandırılmasında SST ve DST yöntemlerinin sadece SST ve DST kullanan sınıflandırmalardan daha başarılı olduğu bulunmuştur. Çalışma sonucunda SST ve DST verilerinin kombinasyonu kullanılarak PD,% 98.6 doğruluk ve 0.99 f skoru ile yapay zeka teknikleri ile sınıflandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Biyomedikal Sinyal İşleme, Parkinson Hastalığı, Yapay Sinir Ağları (YSA), Spiral Analiz.*

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Sorumlu Yazar: Faculty of Engineering, Department of Biomedical Engineering, Afyon Kocatepe University, Afyonkarahisar, Turkey, ORCID: 0000-0003-4411-4838, [nozkan@aku.edu.tr](mailto:nozkan@aku.edu.tr)



## 1. Introduction

Parkinson's disease (PD) is a neurodegenerative disease that results in the loss of function of dopamine-producing brain cells. Typical symptoms are tremor, stiffness, slowing of body movements (bradykinesia), unstable posture, and walking difficulty [1, 2]. Although the cause of the disease is not fully known, genetic and environmental factors have been reported in the literature [3]. Despite advances in imaging and genetics, the diagnosis of PD remains dependent on clinical evaluation [4]. Primer designation of PD is seen as tremor in the upper and lower limbs in 70% of the patients, and it is in the form of slowing and stiffness in the movements 30% of them [5]. When studies in the literature were reviewed to help diagnose PD, Pullman et al. used a spiral analysis method to diagnose tremor in the Parkinson's disease with a digital tablet. Archimedes spiral technique is a clinical neurological test used to measure motion disturbances caused by motor disorders in Parkinson's patients. It is preferred from the point of view that the applied spiral technique is fast, reliable, inexpensive and noninvasive. Kinematic measurements are obtain by plotting the arched spiral with 15 PD, 15 normal, 15 muscle tone disorders and 15 basic tremors in the study. The frequency, power, X, Y coordinates and pressure data are compared and the result is that archived spirals are reliable in the diagnosis of Parkinson's disease [6]. Gemmert et al. worked with 13 PD and 13 control groups in their study. The participants wanted to write "lill" and "lili" expressions with handwriting. Using five different font sizes, the writers compared the vertical axial acceleration values of these expressions as desired [7]. Pullman et al. tested spiral test drawings in Parkinson's disease. The spiral test drawings and the UPDRS (Unified Parkinson's Disease Rating Scale) test scale were compared. Statistical analyses have shown that the resultant spiral test drawings are as successful as the UPDRS scale in detecting PD [8]. Sakar et al. analyzed the voice of Parkinson's patients with multiple voice recording types. It was based on the difference between the people diagnosed with PD and the voices of healthy people and the difference of sound vibration. Twenty healthy volunteers and 20 PD people aged 43-77 years were used. In these persons, the voice data were recorded by saying "a" and "o" three times. On these data, the k-NN (k-Nearest Neighbor) algorithm and SVM (Support Vector Machines) method are applied and the success cases were compared. The SVM method is more successful than other classification methods in PD detection through voice data [9]. Isenkul et al. performed the Static Spiral Test (SST) and the Dynamic Spiral Test (DST) with the program they had on the tablet in Parkinson's patients. People with Parkinson's disease were asked to use SST and DST drawings using pencils and tablets, using the difficulty of handwriting. In the study, 15 healthy persons and 25 persons with Parkinson's disease were used. The distances between the two points from the SST and DST plots of the subjects were compared and compared, and a tablet-based remote monitoring system was designed to measure the cortical and motor performances of the subjects [10]. In the studies performed, the success of the spiral analysis test in detecting early PD was demonstrated statistically [11, 12].

Studies in the literature focus on the method of SST or DST for the classification of Parkinson's disease and which method is more decisive. In this study, it is predicted that performing both methods together will increase the success of classification of the disease. In this study, it is aimed to increase the classification success of Parkinson's disease by using Static Spiral Test and Dynamic Spiral Test Drawings and to perform self-extraction using signal processing techniques and to increase the classification success of Parkinson's disease by using artificial neural network model.

## 2. Material and Metod

The data set under the heading "Parkinson Disease Spiral Drawings Using Digitized Graphics Tablet Data Set" of the Machine Learning Repository (UCI) database was used in the current study. Using the Wacom Cintiq 12WX tablet, the data were obtained as a result of static and dynamic spiral drawings of 15 healthy persons and 58 patients with the disease. In the Static Spiral Test, individuals are expected to draw on the spiral displayed on the screen. In the Dynamic Spiral Test, the spiral drawing given to the screen is displayed and closed at certain time intervals. During the Dynamic Spiral test, individuals are expected to complete using the drawing memory. Data are collected during the test; and X-, Y-, and Z-positions of the floor, the pressure and grip angle, and the time and the type of test information, respectively [13]. The X, Y coordinate, time and test type data in the collected signals are processed and interpreted using the algorithm shown in the flow diagram in Figure 1. First, the distances from the center to the X, Y coordinates were determined using the Euclidean equation in Equation 1.

$$D = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (1)$$

Fast Fourier Transform (FFT) was applied to the distance information to the center. The sampling frequency required for FFT conversion was subtracted from the time information in the aggregated data. The first 20 of the frequency components obtained as a result of the FFT transform were determined as the attributes of the data. Attribute parameters were applied to the Artificial Neural Network (ANN) to classify the data as Normal or Parkinson.

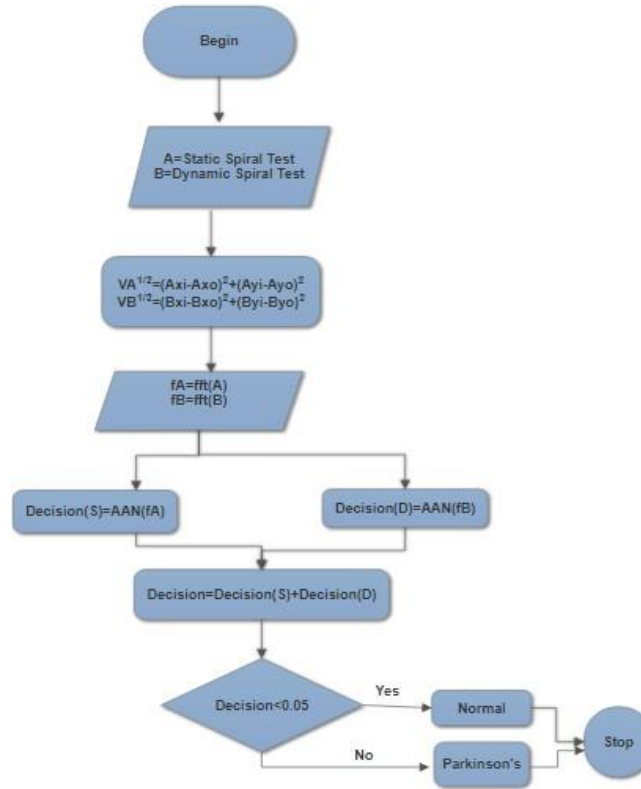


Figure 1. Flow diagram

## 2.1. Attribute Inference and Fast Fourier Transform

Attribute extraction is the process of determining the attributes that define all the data and obtaining the feature vector. Attribute selection reduces the input vector of the classification process with an operation that is done depending on the request. The choice of an appropriate feature vector is at the forefront of the factors that influence the AAN success rate. The Fourier transform method, which is used to define an input sequence in the frequency domain instead of the time domain, is an efficient feature extraction technique. FFT was developed by Cooley and Tukey in 1965 to alleviate the burden of  $N^2$  multiplication in the computation of the Discrete Fourier Transform and a computational burden of the  $N-1$  addition. Given the angular frequency ( $w$ ), values of the  $x(t)$  sign defined in the time domain of the FFT equation (Eq.2) [14].

$$F(w) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)e^{-i\omega t} dt \quad (2)$$

## 2.2. Multilayer Artificial Neural Network

Multilayer feedforward artificial neural network (MLFANN) consists of three basic layers: input layer, hidden layer and output layer. The training of artificial neural networks works according to the teacher learning strategy. Back propagation learning algorithm is mainly used in this algorithm. In order to realize the artificial neural network, two types of samples are collected: training set and test set. How many neurons are used in the network determines the number of input units and the number of hidden layers. The learning coefficient determines parameters such as momentum coefficient and addition and activation functions. The collected test data is shown to the network and the net output is calculated in response to the information presented to the input layer with the hidden layer. Training is continued by updating the weights of the layers until reaching the target output [15].

## 2.3. Levenberg-Marquardt Algorithm

The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm is a method of least squares calculation. This algorithm combines the best features of Gauss-Newton and Steepest-Descent algorithms and removes the constraints of these two methods altogether. In summary, the working principle of this algorithm is as follows. The start value is calculated by calculating the weights of the assigned weights and the squares of the errors. Each error calculated is the difference between the target output and the actual output value. The values of the weight vector are determined by applying the steps of the Levenberg-Marquardt method in Table 1 by obtaining all of the error terms for the entire data set [16–18].

Table 1. Levenberg-Marquardt method application steps

Step 1	The performance function $E(W, n)$ is calculated,
Step 2	Starting with a small $\mu$ value ( $\mu = 0.01$ ),
Step 3	By calculating $\Delta W$ , the next value of the performance function is calculated,
Step 4	If the next value of the performance function is greater than the current value, $\mu$ is increased by 10 times,
Step 5	If the next value of the performance function is less than the current value, $\mu$ is reduced by 10 times,
Step 6	The weights are updated and then it is necessary to step 3.

### 3. Conclusions and Recommendations

The AAN-supported decision system software for PD diagnosis was prepared in 64 bit Matlab R2016a on a laptop computer with 2.4GHz i7-4700HQ processor. Figure 2 and Figure 3 show the results of the drawing by the X, Y coordinates of the data obtained from the SST and the DST, the distance information to the center and the frequency spectrum results. When the graphs in Figure 2 are examined, it is seen that there is no significant difference found between SST or DST results for healthy individuals.

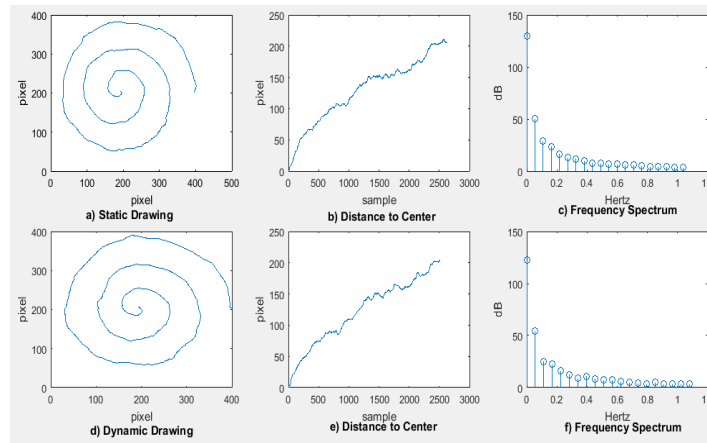


Figure 2. Healthy Individual SST and DST Data

When the SST and DST graphs for PD in Figure 3 are examined, it is observed that the drawing, center distance, and frequency spectra of the signals obtained for the two different test methods vary.

When Figure 2a and Figure 3a are compared, there is no significant difference detected in the shape, but there is enough change to describe the PD between the center distance information in Figure 2b and Figure 3b. This change is also found in Figure 2c and Figure

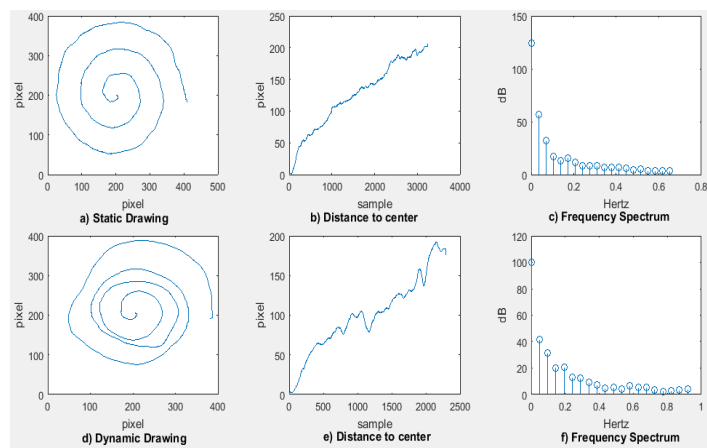


Figure 3. PD SST and DST Data

3c.

The DST results developed by Isenkul and colleagues as alternatives to traditional SST were more effective in diagnosing PD the ones seen in the variation in the frequency spectrum in Figure 3c and Figure 3f. Since the frequency spectrum results reflected the whole of the SST and DST results, it was designated as the feature vector and it constituted the input data of AAN.

Figure 4 shows the AAN model. The feature vectors obtained from the healthy 58 PD were trained using the Levenberg-Marquardt learning algorithm for SST and DST using the nftool function of Matlab R2016a.

The AAN functions obtained from the training of the network are used in the PD decision system depending on the algorithm in Figure 4. The performance of the decision system was tested using the binary classification test (Figure 5).

Table 2 shows the f scores of the conventional spiral test, the dynamic spiral test proposed by Isenkul and the decision system obtained through the joint use of both test methods. f Score value is defined as a measure of accuracy of a test used in the statistical analysis of binary classification [19]. When the results in Table 2 are evaluated, it is seen that only the SST or DST decisions are related with the diagnosis of PD, whereas the decision according to the results obtained from both methods is seen to be the determinant of the diagnosis of PD.

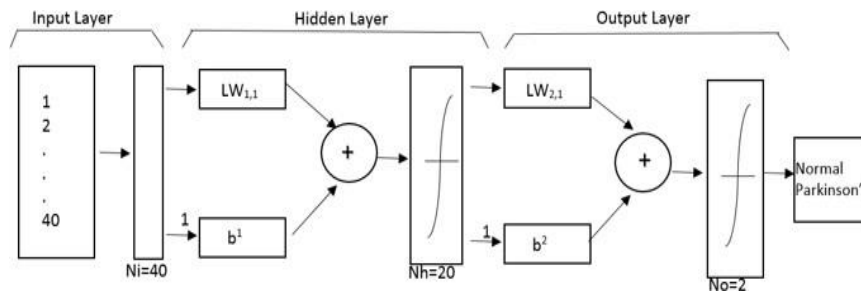


Figure 4. Realized ANN Model

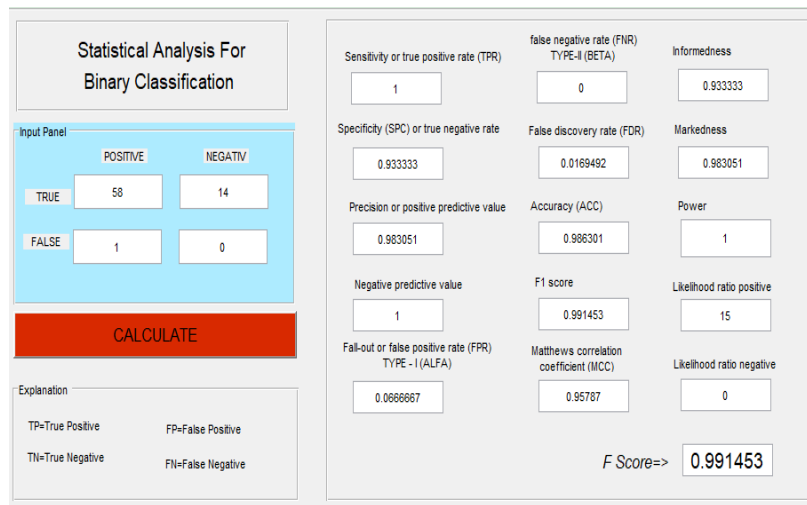


Figure 5. Binary Classification Test

## 4. Conclusion

Although the cause of PD, whose typical symptoms are tremor, stiffness, bradykinesia, and so on, is not fully known, genetic and environmental factors are influential on the disease. While 70% of the patients show tremor in their extremities, 30% of them show slowing and stiffness in their movements. Despite advances in imaging and genetics, the diagnosis of PD depends on clinical evaluation.

Different models and techniques have been developed in the literature for the diagnosis and diagnosis of Parkinson's disease. When the studies in the literature were examined, gait rhythms of ALS, Parkinson's and Huntington's patients were compared with statistical methods and walking performance was analyzed [20]. In another study, 90% of Parkinson's patients were classified by SVM (Support Vector Machine) method. The success of the classification made by SVM method is 92.75% [21]. In a different study on voice changes in Parkinson's patients, SVM, k-NN (k-Nearest Neighbors) and Matthew's Correlation Coefficient were used. In this classification problem, the highest accuracy of 96.4% and Matthew's Correlation Coefficient of 0.77 is obtained using support

vector machines with third-degree polynomial [22]. Sakar et al. conducted a sound analysis of patients with Parkinson's. Wavelet transform, a signal processing technique, was applied to the received audio data and the mel frequency was examined [23]. Lee et al. In their study, gait performance analysis of Parkinson's patients was performed. Sensitivity specificity values were compared with normal subjects after feature extraction [24]. Bilgin has demonstrated the success of classification in other neurodegenerative disease groups, including Parkinson's disease, using gait analysis using the naive bayes classification method [25]. Zeng et al. found the accuracy of the gait performance analysis of Parkinson's patients to be 96.3% using the five-fold cross-validation method [26]. Baratin et al. evaluated the gait analysis of other neurodegenerative disease groups including Parkinson's disease. The classification success rate was 85% [27]. Archimedes spiral technique is a clinical test method developed for examining PD motor disorders. The reliability and validity of the spiral test drawing technique was statistically proven by comparing it with the Unified Predictive Rating Scale (UPDRS). Isenkul et al. By developing this technique, they have brought the DST technique to the literature. What they have done enabled them to monitor their patients with parkinson's disease with telemedicine. However, there was no expert decision system in their system. In the present study, different from the studies in the literature, SST and DST were used to classify individuals as healthy or PD with the AAN techniques. It was determined that classification using only SST or only DST was more successful in classifying the disease than by evaluating both methods When the studies in the literature are examined, it is seen that hand writing or spiral drawing methods help the physicians in the diagnosis of disease. In the study conducted using both SST and DST, the two drawing techniques were compared by looking at the distances between the points in the drawings and their DST and SST methods combined with the use of the f score value obtained in the study is more successful than the use of separate methods have been interpreted that the success rate. In the study using SVM and k-NN classification, the success rate was found to be less than that of ANN [9].

As a result, using SST and DST data together, PD was classified with artificial intelligence techniques with 98.6% accuracy and 0.99 f score. However, a greater number of learning and test data are needed to make the resulting conclusion a general judgment. This work should be continued by obtaining these data and determining the effect on system performance.

Table 2. F Scores for AAN Models

SST ANN		DST ANN		SST & DST ANN	
Healthy	Parkinson's	Healthy	Parkinson's	Healthy	Parkinson's
15	53	14	51	14	58
0	5	1	7	1	0
F score=0.954955		F score=0.927273		F score=0.991453	

## Reference

- [1] Massano, J., & Bhatia, K. P., "Clinical approach to Parkinson's disease: features, diagnosis, and principles of management", *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, 2(6), a008870, 2012.
- [2] Weiner, W. J., Shulman, L. M. and Lang, A. E., "Parkinson's disease: A complete guide for patients and families", *The Johns Hopkins University Press*, Baltimore, 2006.
- [3] N. Singh, V. Pillay, and Y. E. Choonara., "Advances in the treatment of Parkinson's disease", *Prog. Neurobiol.*, vol. 81, no. 1, pp. 29-44, 2007.
- [4] Aygül, R., & Demir, R., "Parkinson's Disease Diagnostic Criteria", *Türkiye Klinikleri Journal of Neurology Special Topics*, 5(4), 53-57, 2012.
- [5] Apaydin, H., & Özekmekci, S., "Parkinson's Disease: Handbook for Patients and Families", *The Parkinson's Disease Association*, İstanbul, 2008.
- [6] Pullman, S. L., "Spiral analysis: a new technique for measuring tremor with a digitizing tablet", *Movement Disorders*, 13(S3), 85-89, 1998.
- [7] Van Gemmert, A. W. A., Adler, C. H., & Stelmach, G. E., "Parkinson's disease patients undershoot target size in handwriting and similar tasks", *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 74(11), 1502-1508, 2003.
- [8] Saunders-Pullman, R., Derby, C., Stanley, K., Floyd, A., Bressman, S., Lipton, R. B. & Pullman, S. L., "Validity of spiral analysis in early Parkinson's disease", *Movement disorders*, 23(4), 531-537, 2008.
- [9] Sakar, B. E., Isenkul, M. E., Sakar, C. O., Sertbas, A., Gurgen, F., Delil, S., ... & Kursun, O., "Collection and analysis of a Parkinson speech dataset with multiple types of sound recordings", *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 17(4), 828-834, 2013.
- [10] Isenkul, M., Sakar, B., & Kursun, O., "Improved spiral test using digitized graphics tablet for monitoring Parkinson's disease", *In Proc. of the Int. Conf. on e-Health and Telemedicine* (pp. 171-175), 2014.
- [11] San Luciano, M., Wang, C., Ortega, R. A., Yu, Q., Boschung, S., Soto-Valencia, J. & Saunders-Pullman, R., "Digitized spiral drawing: A possible biomarker for early Parkinson's disease", *PLoS one*, 11(10), e0162799, 2016.

- [12] Zham, P., Kumar, D. K., Dabnichki, P., Poosapadi Arjunan, S., & Raghav, S., "Distinguishing different stages of Parkinson's disease using composite index of speed and pen-pressure of sketching a spiral", *Frontiers in Neurology*, 8, 435, 2017.
- [13] UCIParkinson. [https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Parkinson + Disease + Spiral + Drawings + Using + Digitized + Graphics + Tablet](https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Parkinson+Disease+Spiral+Drawings+Using+Digitized+Graphics+Tablet). Release date September 9, 2009. Access date December 12, 2017.
- [14] Kayran, A., Ekşioğlu, E.M., *Digital Signal Processing with Computer Applications*, Birsen Publishing House, 1st Edition, İstanbul, Türkiye, 2004.
- [15] Öztemel, E., *Artificial neural networks*. Papatya Publishing, 2003.
- [16] Özkan, Ö., Yıldız, M., Köklükaya, E., "Enhancement of Diagnostic Accuracy Supported by Sympathetic Skin Response Parameters of Laboratory Tests Used in the Diagnosis of Fibromyalgia Syndrome", *SAÜ, Science Journal*, 15(1), 1-7, 2011.
- [17] Sağıroğlu, S., Beşdok, E., Erler, M., *Artificial Intelligence in Engineering-I*, Ufuk Kitap Kırtasiye-Yayıncılık Tic Ltd. 2003.
- [18] The MathWorks, Inc., MATLAB Documentation Neural Network Toolbox Help, "Levenberg-Marquardt Algorithm", *Release 2009a*, 2009.
- [19] Liu, M., Lu, X., & Song, J., "A new feature selection method for text categorization of customer reviews", *Communications in Statistics-Simulation and Computation*, 45(4), 1397-1409, 2016.
- [20] Hausdorff, J. M., Lertratanakul, A., Cudkowicz, M. E., Peterson, A. L., Kaliton, D., & Goldberger, A. L., "Dynamic markers of altered gait rhythm in amyotrophic lateral sclerosis", *Journal of applied physiology*, 88(6), 2045-2053, 2000.
- [21] Sakar, C. O., & Kursun, O., "Telediagnosis of Parkinson's disease using measurements of dysphonia", *Journal of medical systems*, 34(4), 591-599, 2010.
- [22] Sakar, B. E., Serbes, G., & Sakar, C. O., "Analyzing the effectiveness of vocal features in early telediagnosis of Parkinson's disease", *PloS one*, 12(8), e0182428, 2017.
- [23] Sakar, C. O., Serbes, G., Gunduz, A., Tunc, H. C., Nizam, H., Sakar, B. E., ... & Apaydin, H., "A comparative analysis of speech signal processing algorithms for Parkinson's disease classification and the use of the tunable Q- factor wavelet transform", *Applied Soft Computing*, 74, 255-263, 2019.
- [24] Lee, S. H., & Lim, J. S., "Parkinson's disease classification using gait characteristics and wavelet-based feature extraction", *Expert Systems with Applications*, 39(8), 7338-7344, 2012.
- [25] Bilgin, S., "The impact of feature extraction for the classification of amyotrophic lateral sclerosis among neurodegenerative diseases and healthy subjects", *Biomedical Signal Processing and Control*, 31, 288-294, 2017.
- [26] Zeng, W., Liu, F., Wang, Q., Wang, Y., Ma, L., & Zhang, Y., "Parkinson's disease classification using gait analysis via deterministic learning", *Neuroscience letters*, 633, 268-278, 2016.
- [27] Baratin, E., Sugavaneswaran, L., Umopathy, K., Ioana, C., & Krishnan, S., "Wavelet-based characterization of gait signal for neurological abnormalities", *Gait & posture*, 41(2), 634-639, 2015.





## Yamula Barajı'nın Potansiyel Evapotranspirasyona Etkisi\*

Onur Arslan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2456-1788)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.araconf3)

**ATIF/REFERENCE:** Arslan, O. (2020). Yamula Barajı'nın Potansiyel Evapotranspirasyona Etkisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 15-20.

### Öz

Yamula Barajı Kızılırmak Nehri üzerinde Kayseri'de bulunmaktadır. Baraj sulama, enerji üretimi ve su sporları gibi çeşitli amaçlar için kullanılmaktadır. Barajın normal su seviyesindeki hacmi 2.025 hm<sup>3</sup>'tür. Bu çalışmada Yamula Barajı'nın potansiyel evapotranspirasyona etkisi araştırılmıştır. Potansiyel evapotranspirasyon hesabı bitki su ihtiyacının belirlenmesi, iklim değişiminin incelenmesi ve de su kaynaklarının projelendirilmesi ve işletilmesi açısından önemlidir. Bu amaçla baraj öncesi ve sonrası potansiyel evapotranspirasyon değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve eğilimler araştırılmıştır. Barajın Aralık 2003'te su tutması nedeniyle baraj öncesi dönem 1991 ve 2003 arasındaki yılları içermekte iken baraj sonrası dönem 2005 ve 2017 arasındaki yılları içermektedir. Thornthwaite yöntemi potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin hesaplanması için kullanılmıştır. Trend analizi doğrusal regresyon analizi ile gerçekleştirilmiştir. Baraj sonrası potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde artma tespit edilmiştir. Bu bitki su ihtiyacının artması anlamına gelmektedir. Bu durum Yamula Barajı'nın işletilmesi açısından son derece önemlidir. Diğer taraftan baraj öncesi ve sonrası evapotranspirasyon değerleri için artma trendi bulunmuştur. Bu iklim değişimi anlamına gelmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Potansiyel Evapotranspirasyon, Thornthwaite yöntemi, Eğilim, Yamula Barajı, Kayseri.

## Effect of Yamula Dam on Potential Evapotranspiration

### Abstract

Yamula Dam is located on the Kızılırmak River in Kayseri. The dam is used for various purposes such as irrigation, energy generation and water sports. The storage of the dam at normal water level is 2.025 hm<sup>3</sup>. In this study, effect of Yamula dam on potential evapotranspiration was investigated. Potential evapotranspiration calculation is important in terms of determination of crop water requirement, investigation of climate change and also project and operation of water resources. For this aim, potential evapotranspiration values before and after the dam is compared with each other and trends are investigated. Due to the dam started to retain water in December 2003, the period after the dam covers the years between 2005 and 2017 while the period before the dam covers the years between 1991 and 2003. Thornthwaite method was used for calculation of potential evapotranspiration values. Trend analysis was performed with linear regression analysis. An increase was determined in potential evapotranspiration values after the dam. This means an increase in crop water requirement. This case is very important for operation of Yamula Dam. On the other hand, an increase trend was found for potential evapotranspiration values before and after the dam. This means climate change.

**Keywords:** Potential Evapotranspiration, Thornthwaite method, Trend, Yamula Dam, Kayseri.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.  
<sup>1</sup>Sorumlu Yazar: Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2456-1788, [onarslansdu@hotmail.com](mailto:onarslansdu@hotmail.com)

## 1. Giriş

Meteorolojik şartlara göre değişen buharlaşma (evaporasyon) suyun sıvı halden gaz (su buharı) haline geçmesi durumu olup hidrolojik çevrimin önemli bir parametresidir. Meteorolojik şartlara, bitki örtüsüne, zemin cinsine ve zeminde mevcut su miktarına bağlı olarak değişen terleme (transpirasyon) ise bitkilerin suyu kullandıktan sonra yapraklarından buhar halinde havaya vermesi durumudur. Bu iki olayın her ikisine birden evapotranspirasyon, gerçekleşebilecek maksimum evapotranspirasyona potansiyel evapotranspirasyon ve gerçekleşen evapotranspirasyona ise gerçek evapotranspirasyon denilmektedir. Evapotranspirasyon bitkilerin su ihtiyacının belirlenmesi, iklim değişiminin araştırılması ve de su kaynaklarının projelendirilmesi ve işletilmesi açısından son derece önemlidir.

Penman Monteith yöntemi ile hesaplanan Yangtze Nehir Havzası referans evapotranspirasyon değerlerine uygulanan trend analizi sonucunda önemli azalma trendi tespit edilmiştir (Xu vd., 2006). Yine Penman Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanan Tibet platosu potansiyel evapotranspirasyon değerleri için trendleri belirlemek amacıyla doğrusal regresyon analizinden yararlanılmış ve tüm mevsimler için azalma gözlenmiştir (Shenbin vd., 2006). Kuzeydoğu Çin'in batı ve kuzey bölümlerinde yıllık gerçek evapotranspirasyon değerleri için doğrusal regresyon yöntemi ve Mann Kendall trend testi kullanılarak yapılan trend analizi sonucunda artma trendi tespit edilmiştir (Gao vd., 2007). Penman Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanan Tibet platosu referans evapotranspirasyon değerleri için trendleri belirlemek amacıyla Mann-Kendall ve Sen eğim yöntemleri kullanılmış ve Suudi Arabistan Krallığı'nın kuzey kesimlerinde birçok istasyonda artış trendi belirlenmiştir (Elnesr vd., 2010). İspanya'da Duero Nehir Havzası evapotranspirasyon değerlerinin 50 yıl içerisinde %5 ile %11 arasında artacağı tespit edilmiştir (Moratitel vd., 2011). Çin'in Poyang Göl Havzası potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde yaz, kış ve sonbahar için azalma trendi gözlenmiştir (Ye vd., 2013). Penman Monteith yöntemi ile hesaplanan Trabzon evapotranspirasyon değerlerinde artma görülmüştür (Bayramoğlu, 2013). Yine Penman Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanan Çin'in Hetao sulama bölgesi referans evapotranspirasyon değerleri için trendleri belirlemek amacıyla Mann-Kendall ve Sen eğim yöntemlerinden yararlanılmış ve artma trendi belirlenmiştir (Wang vd., 2014). 20. yüzyıl boyunca Amerika'nın doğusunda evapotranspirasyon için artış trendi tespit edilmiştir (Kramer vd., 2015). Penman Monteith yöntemi ile İran'ın batısı için hesaplanan referans evapotranspirasyon değerlerine Mann Kendall ve Sperman Rho testleri kullanılarak yapılan trend analizi sonucunda artma trendi tespit edilmiştir (Rajabi, 2015). Penman Monteith yöntemi ile hesaplanan Türkiye'deki 77 meteorolojik istasyonun 1975 ile 2006 arasındaki referans evapotranspirasyon değerlerine uygulanan Mann Kendall testi ile istasyonların % 58'inde artış trendi bulunmuş ve % 32'nin ise % 95 güven aralığında anlamlı olduğu tespit edilmiştir (Dadaşer-Çelik vd., 2016). Turc ve Cotagne formülleri kullanılarak hesaplanan Niğde'nin yıllık potansiyel evapotranspirasyon değerlerine uygulanan Mann Kendall testi ile yapılan sonuçlarına göre trendler istatistiksel olarak anlamlı değildir. Ancak, bir artış trendi gözlenmiştir (Arslan, 2017).

Bu çalışmada Kayseri'de Kızılırmak Nehri üzerinde bulunan Yamula Barajı'nın evapotranspirasyona etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla baraj öncesi ve sonrası potansiyel evapotranspirasyon değerleri birbirleriyle karşılaştırılmıştır ve eğilimler araştırılmıştır. Barajın Aralık 2003'te su tutması nedeniyle baraj öncesi dönem 1991 ve 2003 arasındaki yılları içermekte iken baraj sonrası dönem 2005 ve 2017 arasındaki yılları içermektedir.

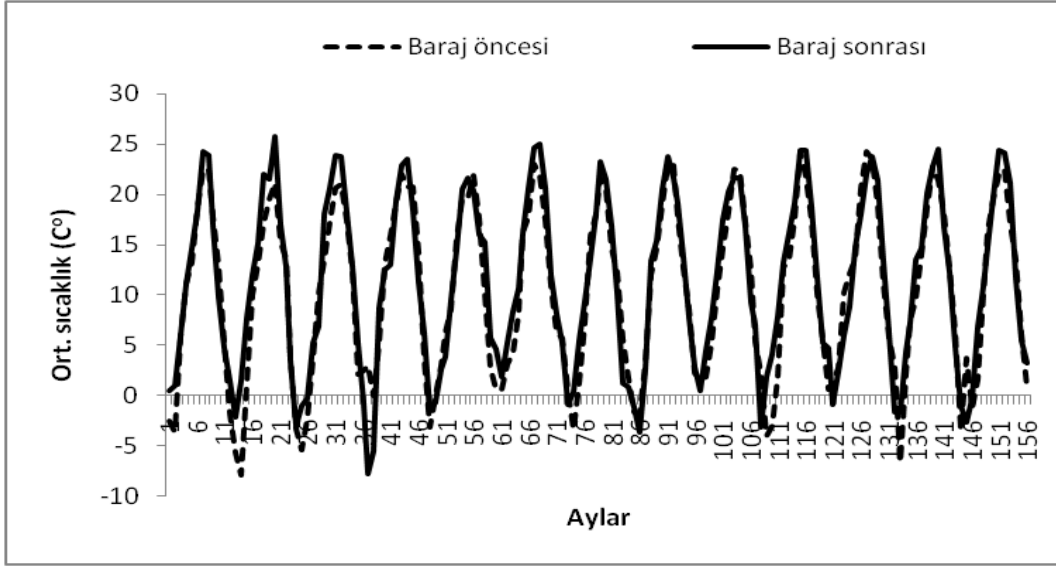
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Çalışma Alanı

Yamula Barajı Kızılırmak Nehri üzerinde Kayseri'de bulunmaktadır. 100 MW güç ile yıllık 422 GWh'lik enerji üretimi yapılan barajdan 6500 hektarlık alanın sulanması amacıyla faydalanılmaktadır. Ayrıca balıkçılık yapılmakta olup yelkenli, kürek, yüzme, off-shore ve kano yarışları gibi su sporları için kullanılmaktadır. Barajın normal su seviyesindeki hacmi 2.025 hm<sup>3</sup> olup alanı ise 85,30 km<sup>2</sup>'dir (Kayseri Belediyesi, 2019).

### 2.2. Materyal

Potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin hesaplanması için Kayseri meteoroloji istasyonuna ait baraj öncesi (1991-2003) ve baraj sonrası (2005-2017) dönemlere ait aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılmış olup Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Kayseri meteoroloji istasyonunun aylık ortalama sıcaklık verileri

### 2.3. Thornthwaite Yöntemi

Potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin hesaplanmasında Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite, 1948) kullanılmıştır. Bu yöntemde potansiyel evapotranspirasyon,

$$E_{tp} = 16 \times \left( \frac{10 \times t}{I} \right)^a \times G \quad (1)$$

formülü ile hesaplanır.  $E_{tp}$  aylık potansiyel evapotranspirasyonu (mm),  $t$  aylık ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $I$  yıllık sıcaklık indisini ve  $G$  enlem düzeltme katsayısını göstermektedir. Kayseri  $38^{\circ}07'7''$  Kuzey enleminde olup Kayseri için kullanılan enlem düzeltme katsayıları Tablo 1'de verilmiştir.

$$a = 6,7510 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,7110 \times 10^{-5} \times I^2 + 7,791210 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad (2)$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad (3)$$

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad (4)$$

Burada  $a$  yıllık sıcaklık indeksi kullanılarak hesaplanan bir katsayı ve  $i$  aylık sıcaklık indisini göstermektedir.

Tablo 1. Kayseri için enlem düzeltme katsayıları

Ay	G
Ocak	0,85
Şubat	0,84
Mart	1,03
Nisan	1,11
Mayıs	1,23
Haziran	1,24
Temmuz	1,26
Ağustos	1,18
Eylül	1,04
Ekim	0,96
Kasım	0,84
Aralık	0,82

### 2.3. Thornthwaite Yöntemi

Doğrusal regresyon analizi iki veya daha fazla değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi belirlemek amacıyla yapılmakta olup iki değişken arasındaki doğrusal ilişki matematiksel olarak Denklem 5'te verilen bir doğru denklemi ile ifade edilir.

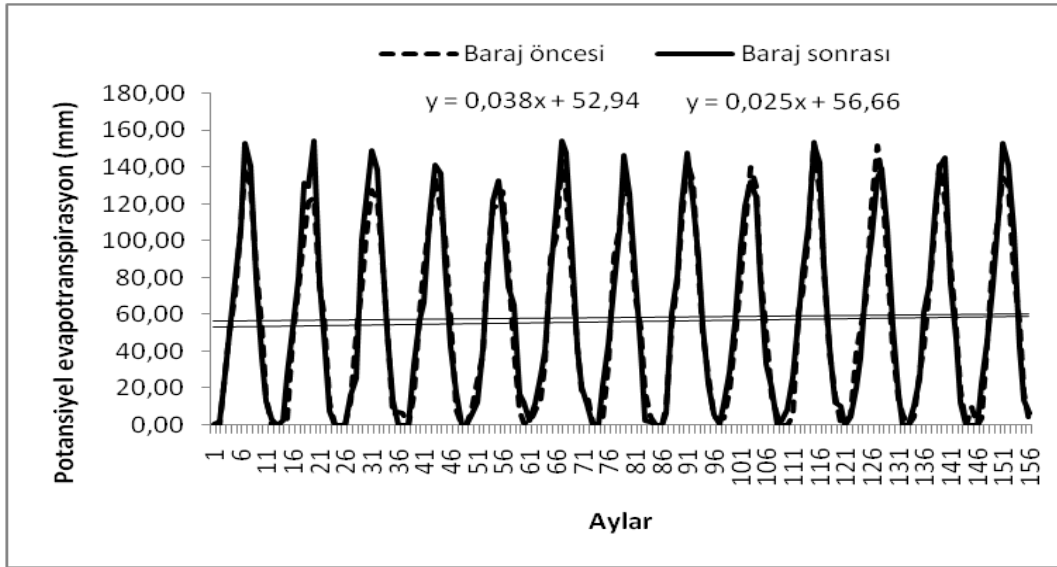
$$y=a \times x+b \quad (5)$$

Burada, y tahmin edilen değeri, b doğrunun y eksenini kestiği noktanın değerini ve a ise doğrunun eğimini göstermektedir. Trend analizi için doğrunun eğiminden yararlanılmıştır. Doğrunun eğimi pozitif ise artma trendini negatif ise azalma trendini ifade etmektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

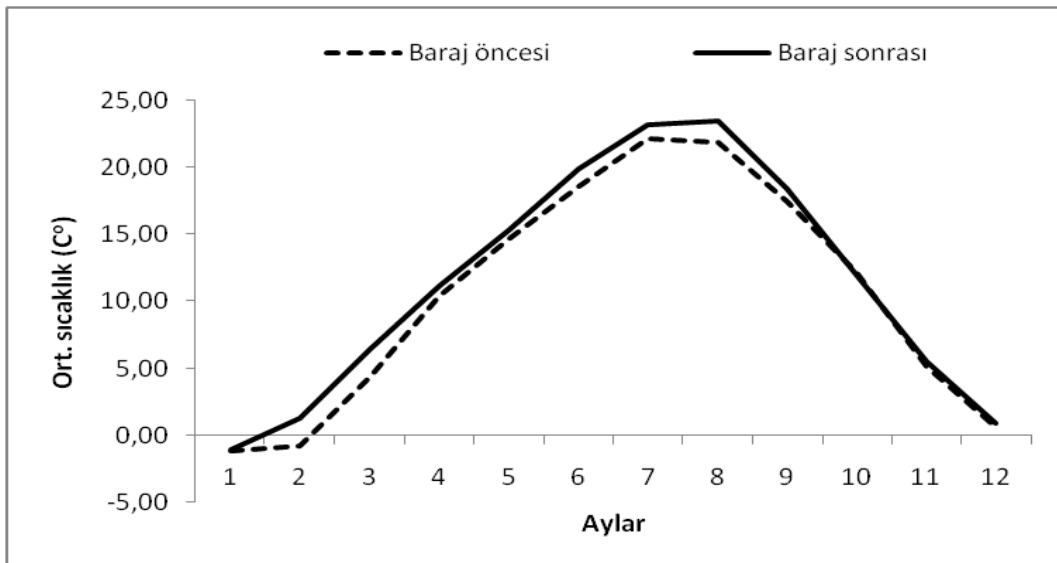
### 3.1. Araştırma Sonuçları

Kayseri meteoroloji istasyonuna ait baraj öncesi (1991-2003) ve baraj sonrası (2005-2017) dönemlere ait aylık ortalama sıcaklık verileri ve Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanan aylık potansiyel evapotranspirasyon değerleri Şekil 2'de verilmiştir. Baraj öncesi ve sonrası dönemler karşılaştırıldığında çoğu ayda değerlerin arttığı görülmektedir. Doğrusal regresyon analizi ile elde edilen denklemler incelendiğinde baraj öncesi ve sonrasında potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin artma eğiliminde olduğu ancak baraj sonrasında artma eğiliminde azalma olduğu tespit edilmiştir.



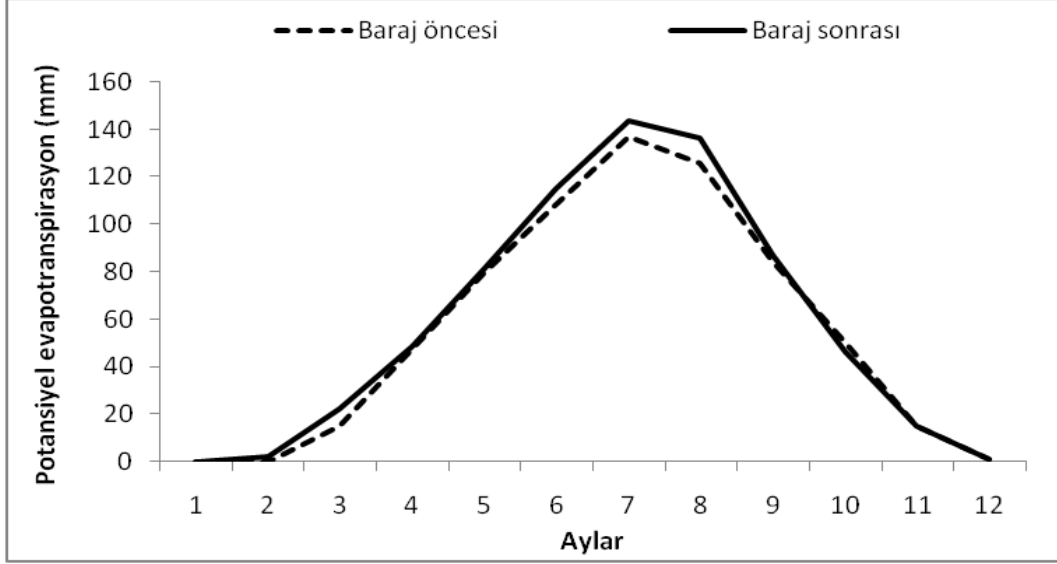
Şekil 2. Baraj öncesi ve sonrası aylık potansiyel evapotranspirasyon değerleri

Kayseri meteoroloji istasyonuna ait baraj öncesi (1991-2003) ve baraj sonrası (2005-2017) dönemlere ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verileri hesaplanmış ve Şekil 3'te verilmiştir. Baraj sonrasında Ekim ayı hariç tüm aylarda artış görülmektedir.



Şekil 3. Kayseri meteoroloji istasyonunun aylık ortalama sıcaklık verileri

Kayseri meteoroloji istasyonuna ait baraj öncesi (1991-2003) ve baraj sonrası (2005-2017) dönemlere ait uzun yıllar aylık ortalama sıcaklık verileri ve Thornthwaite yöntemi kullanılarak hesaplanan aylık potansiyel evapotranspirasyon değerleri Şekil 4'te verilmiştir. Ekim ve kasım ayları hariç tüm aylarda artış görülmekte olup haziran ayındaki artış % 6,2, Temmuz ayındaki artış % 4,6 ve ağustos ayındaki artış ise % 7,9 olarak hesaplanmıştır. Yıllık potansiyel evapotranspirasyon değeri ise 666 mm'den 699 mm'ye çıkmış olup ve artış oranı % 5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. Baraj öncesi ve sonrası potansiyel evapotranspirasyon değerleri

### 3.2. Tartışma

Potansiyel evapotranspirasyon değerlerinin zamanla değişimi incelendiğinde dünyanın bazı bölgelerinde artma trendleri bazı bölgelerinde ise azalma trendleri gözlenmiştir [1-12]. Bu nedenle potansiyel evapotranspirasyon yerel olarak incelenmesi gereken bir parametredir.

### 4. Sonuç

Yamula Barajı öncesi (1991-2003) ve sonrası (2005-2017) dönemlere ait aylık potansiyel evapotranspirasyon değerleri karşılaştırıldığında baraj sonrasında evapotranspirasyon değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Bu durum bitki su ihtiyacının artması anlamına gelmektedir. Bu da Yamula Barajı'nın doğru işletilmesi açısından son derece önemlidir.

Diğer taraftan baraj öncesi ve sonrası potansiyel evapotranspirasyon değerlerinde artma eğiliminin olması ise iklim değişimini göstermektedir.

### 5. Teşekkür

Kayseri meteoroloji istasyonu sıcaklık verilerinin alındığı Niğde Meteoroloji Müdürlüğüne teşekkür ederim.

### Kaynakça

- Xu, C. Y., Gong, L., Jiang, T., Chen, D., & Singh, V. P. (2006). Analysis of spatial distribution and temporal trend of reference evapotranspiration and pan evaporation in Changjiang (Yangtze River) catchment. *Journal of hydrology*, 327(1-2), 81-93.
- Shenbin, C., Yunfeng, L., & Thomas, A. (2006). Climatic change on the Tibetan Plateau: potential evapotranspiration trends from 1961–2000. *Climatic change*, 76(3-4), 291-319.
- Gao, G., Chen, D., Xu, C. Y., & Simelton, E. (2007). Trend of estimated actual evapotranspiration over China during 1960–2002. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 112(D11).
- El-Nesr, M., Abdulrahman, A., & Abu-Zreig, M. (2010). Analysis of evapotranspiration variability and trends in the Arabian Peninsula. *American journal of environmental sciences*, 6(6), 535-547.
- Moratiel, R., Snyder, R. L., Duran, J. M., & Tarquis, A. M. (2011). Trends in climatic variables and future reference evapotranspiration in Duero Valley (Spain). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(6), 1795.
- Ye, X. C., Liu, J., & Zhang, Q. (2013). Trends of Estimated Potential Evapotranspiration in the Poyang Lake Basin, China. In *Advanced Materials Research (Vol. 726, pp. 3299-3302)*. Trans Tech Publications Ltd.

- Bayramoğlu, E. (2013). Trabzon İlinde İklim Değişikliğinin Mevsimsel Bitki Su Tüketimine Etkisi: Penman-Monteith Yöntemi. Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi, 13(2), 300-306.
- Kramer, R. J., Bounoua, L., Zhang, P., Wolfe, R. E., Huntington, T. G., Imhoff, M. L., Kurtis, T., Noyce, G. L. (2015). Evapotranspiration trends over the eastern United States during the 20th century. Hydrology, 2(2), 93-111.
- Rajabi, A. (2015). Monthly and Annual Trend of Potential Evapotranspiration in West of Iran. Ecology, Environment and Conservation, vol. 21, 19-23.
- Dadaser-Celik, F., Cengiz, E., & Guzel, O. (2016). Trends in reference evapotranspiration in Turkey: 1975–2006. International Journal of Climatology, 36(4), 1733-1743.
- Arslan, O. (2017). NİĞDE İLİ'NDEKİ POTANSİYEL EVAPOTRANSPIRASYON TAHMİNLERİNİN TREND ANALİZİ. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6(2), 602-608.
- (2019) Kayseri Municipality website. [Online]. Available: <https://www.kayseri.bel.tr/kesfet-listeleme/yamula-baraji>
- Thornthwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. Geographical review, 38(1), 55-94.





# İç ve Dış Rotorlu Akı Anahtarlama Sürekli Mıknatıslı Makinelerin Elektromanyetik Karakteristiklerine Göre Karşılaştırılması\*\*

Emrah Cetin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Electrical and Electronics Engineering, Yozgat Bozok University, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7023-6604)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf4)

**ATIF/REFERENCE:** Cetin E. (2020). Comparison of the inner and outer rotor flux switching permanent magnet machines in contrast to electromagnetic characteristics. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 21-26.

## Öz

Güncel teknoloji gelişmeleri elektrik makinaları alanındaki çalışmalara da yön vermektedir. O nedenle araştırmacılar geleneksel makinaların performans iyileştirmelerinin yanında yeni makina türleri üzerinde de çalışmaktadır. Akı anahtarlama sürekli mıknatıslı makineler de literatürde geliştirilen en yeni elektrik makine türlerinden birisidir. Çalışma prensibi ve makine tasarımı relüktans makinelerle benzerdir. Rotor tarafı relüktans makinelerle aynı yapıdadır. Ancak akı anahtarlama sürekli mıknatıslı makinelerde stator tarafında sargılar içinde, iki stator oluşu arasında gömülü mıknatıslar bulunmaktadır. Her ne kadar üretim aşamasında bazı zorlukları olsa da bu tasarımın getirmiş olduğu çeşitli avantajlar bulunmaktadır. Statordaki sürekli mıknatıs kutupları manyetik akının stator nüvesinden aktığı yolu destekleyici şekilde yönlendirilmiştir. Bu sayede zıt elektromotor kuvveti dalga şekli sinüs olarak meydana gelmektedir. Bu özellik de akı anahtarlama sürekli mıknatıslı makinaları bir adım öne çıkarmaktadır. Rotorda mıknatıs bulunmadığı için diğer (yüzey) mıknatıslı makinelerle göre daha sağlam bir yapıdadır. Yüksek hız uygulamaları için uygundur. Bu makalede de akı anahtarlama sürekli mıknatıslı dört makine tasarımı elektromanyetik özellikleri bakımından karşılaştırılmaktadır. Sürekli mıknatıs hacimleri eşit alınan aynı oluk ve kutup sayısına sahip, iç rotorlu ve dış rotorlu dört makinenin statik elektromanyetik analizi yapılarak manyetik akı yoğunluğu karakteristikleri üç boyutlu sonlu elemanlar yöntemiyle değerlendirilmiştir. Karşılaştırmalar yapılırken özellikle makine boyutlarının da eşit olmasına dikkat edilmiştir. Tasarlanan dört tasarımdan ikisi karşılaştırma amacıyla gerçekleştirilirken, ikisi de incelenmek üzere geliştirilmiştir. Önerilen akı anahtarlama sürekli mıknatıslı makinalarda rotor tarafındaki dişlerin içerisine akı bariyeri denilen hava kanalları açılmıştır. Yapılan çalışmada bu hava kanallarının davranışı üç boyutlu sonlu elemanlar analizi verileri kullanılarak incelenmiştir. Sonuçta içerisinde hava kanalı bulunan tasarımların avantajları ve dezavantajları makine performansı açısından değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Akı anahtarlama makine, dış rotorlu elektrik makineleri, mıknatıslı motorlar, sonlu elemanlar analizi

## Comparison of the inner and outer rotor flux switching permanent magnet machines in contrast to electromagnetic characteristics\*

### Abstract

Current technology developments also guide the works in the field of electrical machines. That's why researchers are working on new machine types as well as performance improvements of traditional machines. Flux-switching permanent magnet machines are also one of the novel electrical machine types developed in the literature. The working principle and machine design are similar to reluctance machines. The rotor side has the same structure as reluctance machines. However, in flux-switching permanent magnet machines, there are magnets embedded in the windings on the stator side between the two stator slots. Although there are some difficulties in the production process, there are several advantages brought by this design. The permanent magnet poles in the stator are guided to support the path through which the magnetic flux flows through the stator core. In this way, the opposite electromotive force waveform occurs as a sinusoidal. This feature put the flux-switching permanent magnet machines one step forward. Since there is no magnet in the rotor, it is more robust than other (surface) permanent magnet machines. It is convenient for high speed applications. In this article, four flux-switching permanent magnet machine designs are compared in terms of their electromagnetic properties. The magnetic flux density characteristics were evaluated by three-dimensional finite elements method by performing static electromagnetic analysis of four machines with inner rotor and outer rotor with the same number of slots and poles, whose permanent magnet volumes were taken equally. While making comparisons, it was especially paid attention to be equal to the machine dimensions. While two of the four designs designed were realized for comparison purposes, others were developed for investigation.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

In proposed flux-switching permanent magnet machines, air ducts called flux barriers are opened into the teeth on the rotor side. In this study, the behavior of these air ducts was analyzed using three dimensional finite element analysis data. As a result, the advantages and disadvantages of designs with air ducts were evaluated in terms of machine performance.

**Keywords:** Flux switching machine, outer rotor machine, permanent magnet motors, finite element analysis, electric machinery.

## 1. Introduction

Electric machines have been one of the basic elements of the electrical system since the invention of electricity. Although it has more than a hundred years of history, today it is working on different and innovative electrical machines in response to the changing and increasing need. Flux-switching permanent magnet machines are one of the types of machines developed in this context. These machines are one of the most popular studying topics in this period when many products started to be electrified [1]. Due to technology trends such as energy efficiency, emission reductions, green energy, industry 4.0, the internet of things and electric vehicles, the interest in electrical machines is growing even more. As a result of the increasing interest, research and development activities in the field of electrical machinery are also intensifying.

As the needs for electrical machines increase, the requirements for high torque and power density also increase. Permanent magnet motors are generally recommended to meet high torque intensity with good efficiency [2]. However, studies show that flux-switching permanent magnet (FSPM) motors that can meet some needs such as high speed, robustness and protection from magnet demagnetization are more advantageous in many applications [2].

Z. Q. Zhu et al. proposed a general design aspects for the FSPM machine with various topologies. The power density of the topologies can be compared by the proposed equation. They obtained that the 3-phase 12-slot/10-pole machine can give higher power and power density than those of the 2-phase 8-slot/6-pole topology by ~11%. They provided an experimental study on the prototype motor that verify the proposition [3].

Cheng-Tsung Liu et al. studied the different winding topologies to illustrate the comparison of the performances. It was proved that the single layer winding topology is more convenient for the FSPM machine that need high average torque despite efficiency and torque ripple [4].

Ming Cheng et al. studied and compared the rotor PM and the stator PM flux switching machines under the same conditions. They used the sizing equation and electromagnetic torque production mechanism to make a comparison [5]. The effects and performance analysis of the winding types is given in many papers [6,7]. Slot and pole combinations are investigated by Ming Cheng et al. This study is validated by an experimental verification [8]. Outer rotor FSPM machine topology is preferably used for traction applications in many papers [9-15].

In this study, flux-switched permanent magnet machines are investigated. The outer rotor structure used in electric vehicles or motors with direct drive feature was compared with the inner rotor structures. However, the effect of the ducts opened in the rotor teeth on machines with both internal and external rotors has been electromagnetically examined. For that, three dimensional finite element analysis is used.

## 2. Flux Switching Machines

Flux-switching permanent magnet (FSPM) machines have been intensely studied for traction applications. Inner and outer FSPM machines have rigid structure because there are permanent magnets embedded on the stator and laminations have only steel on the rotor structure, as shown in Fig. 1. FSPM machines have not any magnets in the rotor side and have not the inclusion occurrence of rotating magnet parts. Due to that, FSPM machines are convenient for the robust applications, like the traction application.

Eddy-current loss exist highly in FSPM machines because of the cogging torque effect and much stator magnetomotive force harmonics [16]. So that, it is necessary to mitigate the eddy current loss of FSPM machines.

Wu et al. investigated a structure which is a 12 /10 FSPM topology with copper damping rings embedded into rotor laminations [17].

The eddy current produced in the copper damping rings coact with the magnetic fields of asynchronous harmonics to reduce eddy current loss. Nevertheless, based on other slot/pole combinations, the degree of eddy current loss mitigation is different. Changing the winding topology to the multilayer is a working study by [18] for surface permanent magnet machines to mitigate the low order stator MMF harmonics, and also, mitigating the rotor eddy current loss.

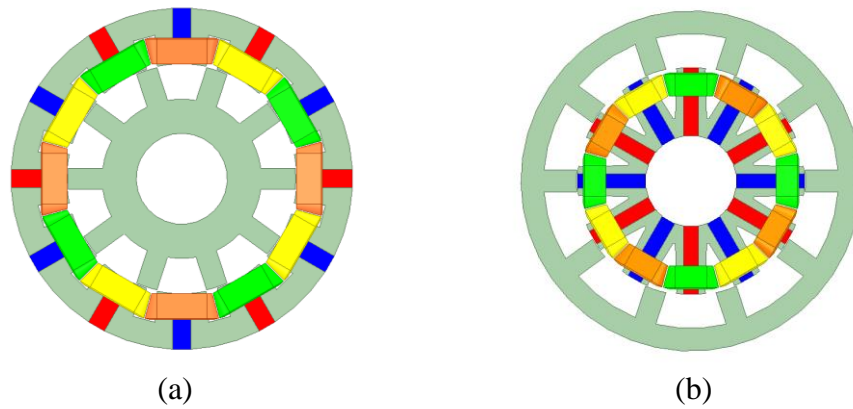


Fig. 1 FSPM Machines a) Inner rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology b) Outer rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology

But, multilayer winding topology has difficulties on manufacturing. The magnetic flux barriers in the stator steel of a 12/10 permanent magnet machine [19], some harmonics of MMF is mitigated to have eddy current loss. But, stator flux barriers are not convenient for FSPM machines. Because it has effects on the path of critical flux lines come up with a torque reduction. Therefore the rotor flux barriers can be implemented to the FSPM machine to improve the performance. J. Mao et. al. is proposed to put the barriers at the inner side of the rotor yoke [20]. The proposed method works to mitigate the eddy current losses but the manufacturing of this structure reduces robustness, too.

### 2.1. Proposed Structure

Until now, the studies are investigated for improving the FSPM machines. But there is no proposition such as shown in figure 2. It illustrates the proposed flux barriers for the inner and outer machines. The main reason of this proposition is the getting more efficient motor by cancelling the eddy currents as written in the literature. All of the parameters are given in the tables below for the inner and the outer FSPM machines.

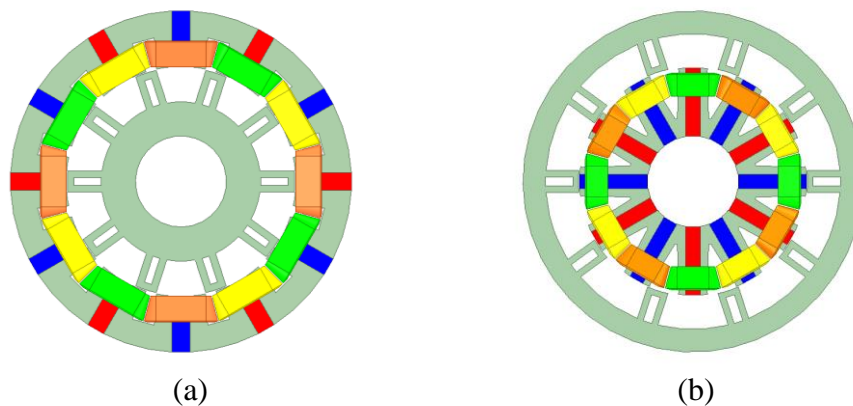


Fig. 2 Outer rotor FSPM Machines a) Proposed inner rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology b) Proposed outer rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology

Magnet volumes of the all structures are the same. Also outer dimensions are kept same for the four machines. 12-slot/10-pole machine topology is chosen for this study due to the wide usage for academic studies.

Figure 3 gives the information of the steel used for the simulations. The steel saturates at nearly 1.5T.

Table 1. Inner Rotor FSPM machines parameters

Inner Rotor FSPM Machines Parameters	Standard FSPM Motor	Proposed FSPM Motor
Stator Inner Diameter	101	101
Stator Outer Diameter	150	150
Rotor Outer Diameter	100	100
Airgap Length	1	1
Axial Length	20	20
Slot/Pole Number	12/10	12/10
Steel Type	M250-35A	M250-35A
Steel Weight of the Rotor	1 p.u.	0.91 p.u.
Magnet Volume	25x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>	25x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>
Phase Number	3	3

Table 2. Outer Rotor FSPM machines parameters

Outer Rotor FSPM Machines Parameters	Standard FSPM Motor	Proposed FSPM Motor
Stator Inner Diameter	50	50
Stator Outer Diameter	100	100
Rotor Outer Diameter	150	150
Airgap Length	1	1
Axial Length	20	20
Slot/Pole Number	12/10	12/10
Steel Type	M250-35A	M250-35A
Steel Weight of the Rotor	1.5 p.u.	1.45 p.u.
Magnet Volume	25x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>	25x10 <sup>3</sup> mm <sup>2</sup>
Phase Number	3	3

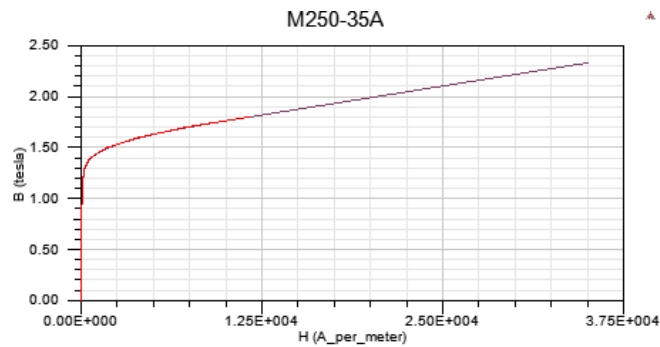


Fig. 3. B-H curve of the steel grade of M250-35A

## 2.2. Analysis

Electromagnetic analysis has been performed for the four three dimensionally designed FSPM machines. The results of the simulations are illustrated in the figure 4 and figure 5. The simulations are performed by using the finite element analysis with the meshes.

Figure 4 shows the standard structures of the FSPM machines. Figure 5 illustrates the simulation results for the proposed structures of the FSPM machines. Before starting the simulation, the mesh density needs to be checked. The air gap and flux paths need to have much more mesh nodes. Electromagnetic characteristics of the electric machines give many information such as thermal characteristics, efficiency, saturation points, flux path, etc.



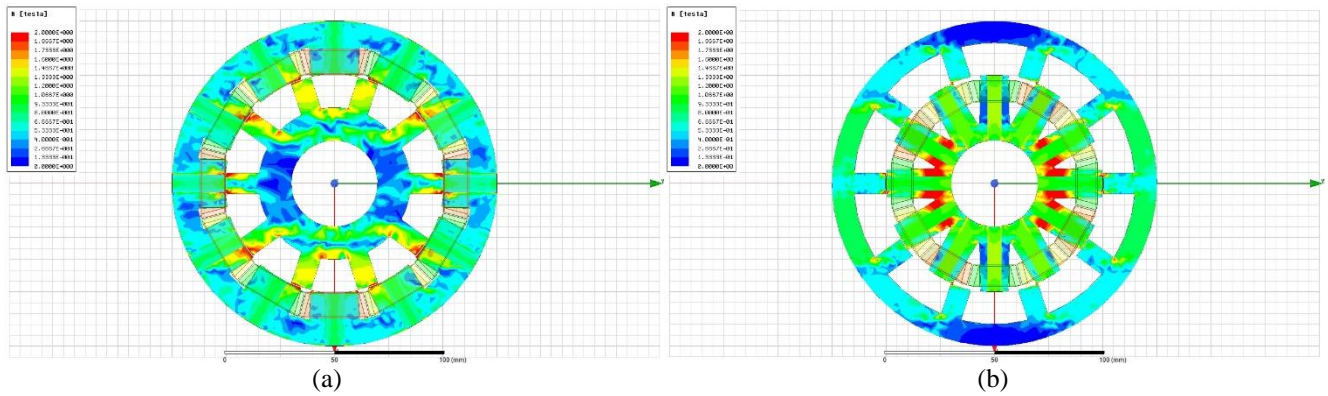


Fig. 4 Electromagnetic analysis of the FSPM machines a) Inner rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology b) Outer rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology

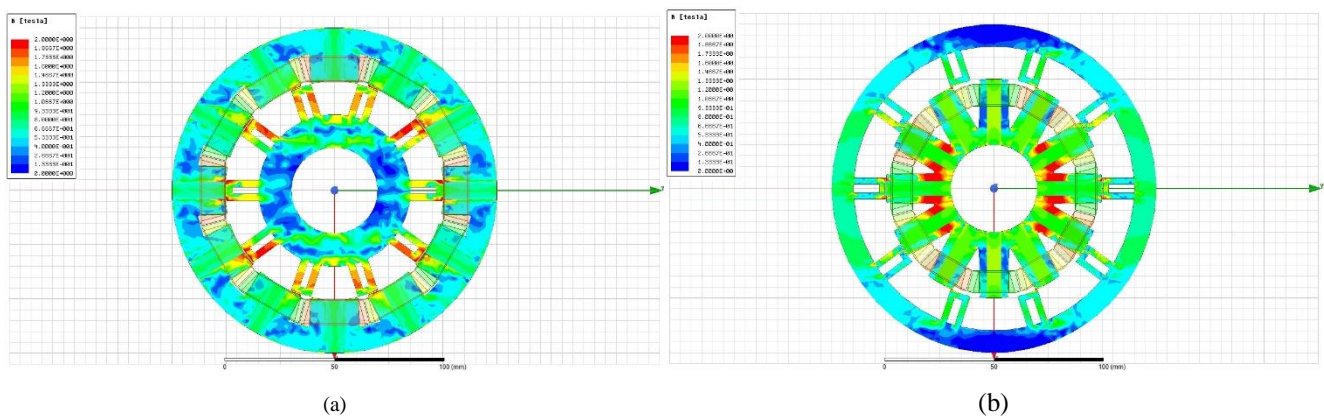


Fig. 5 Electromagnetic analysis of the proposed FSPM Machines a) Proposed inner rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology b) Proposed outer rotor 12-slot/10-pole FSPM machine topology

### 3. Results and Conclusion

The electromagnetic simulations illustrates statical situation of the machines. 3D finite element analysis usually give more accurate results than 2D simulations for the electric machines. As given in the figures of the simulation results electromagnetic situation of the designed FSPM machines are taken. Results show that, proposed structures’ electromagnetic characteristics are in the limits of the M250-35A steel not to get saturated. There are a few partially saturated points nevertheless they do not cut the flux path. Also these proposed flux barriers causes to mitigate the eddy currents on the rotor side. So this allows to get higher performance.

As seen from the results the best performance is taken from the inner rotor proposed FSPM machine in the Figure 5(a).

The proposed FSPM machines are promising structure for the future studies. The flux barriers have more impacts than their electromagnetic characteristics. Therefore this proposed structure is the basement of the further projects.

### Acknowledgment

This study is supported by Scientific Research and Projects Unit of Yozgat Bozok University with the project number of 6602a-MMF/18-177.

### References

- [1] Hao Chen, Ayman M. EL-Refaie, Nabeel A. O. Demerdash and Christopher H. T. Lee (2019). Flux-Switching Permanent Magnet Machines: A Review of Opportunities and Challenges-Part II: Design Aspects, Control, and Emerging Trends, , IEEE Transactions on Energy Conversion, DOI:10.1109/TEC.2019.2956565
- [2] Hao Chen, Ayman M. EL-Refaie, Nabeel A. O. Demerdash and Christopher H. T. Lee (2019). “Flux-Switching Permanent Magnet Machines: A Review of Opportunities and Challenges - Part I: Fundamentals and Topologies” , IEEE Transactions on Energy Conversion, DOI: 10.1109/TEC.2019.2956600
- [3] Wei Hua, Ming Cheng, Z. Q. Zhu, D. Howe.(2006) Design of Flux-Switching Permanent Magnet Machine Considering the Limitation of Inverter and Flux-Weakening Capability. Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference Forty-First IAS Annual Meeting, Tampa, FL, USA
- [4] C. Hwang, C. Chang, S. ShanHung and C. Liu (2014). Design of High Performance Flux Switching PM Machines with Concentrated Windings. IEEE Transactions On Magnetics, 50(1).

- [5] P. Su, W. Hua, Z. Wu, Z. Chen, G. Zhang and M. Cheng (2019). Comprehensive Comparison of Rotor Permanent Magnet and Stator Permanent Magnet Flux-Switching Machines. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 66(8).
- [6] H. Zhang, W. Hua, M. Hu, D. Gerada, and C. Gerada (2019). The Influence of Winding Location in Flux-Switching Permanent-Magnet Machines. *IEEE Transactions On Magnetics*, 55(7)
- [7] H. Chen, X. Liu, A. M. EL-Refai, J. Zhao, N. A. O. Demerdash, and J. He (2019). Comparative Study of Winding Configurations of a Five-Phase Flux-Switching PM Machine. *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 34(4).
- [8] P. Su, W. Hua, M. Hu, Z. Wu, J. Si, Z. Chen and M. Cheng (2020). Analysis of Stator Slots and Rotor Pole Pairs Combinations of Rotor-Permanent Magnet Flux-Switching Machines. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 67(2)
- [9] W. Fei, P. C. K. Luk, J. X. Shen, Y. Wang, and M. J. Jin (2012). Novel Permanent-Magnet Flux Switching Machine With an Outer-Rotor Configuration for In-Wheel Light Traction Applications. *IEEE Transactions On Industry Applications*.
- [10] N. Ahmad, F. Khan, N. Ullah, and M. Z. Ahmad. (2018) Performance Analysis of Outer Rotor Wound Field Flux Switching Machine for Direct Drive Application” *ACES JOURNAL*, 33(8).
- [11] Y. Yao, C. Liu and C. H. T. Lee. (2018). Quantitative Comparisons of Six-Phase Outer-Rotor Permanent-Magnet Brushless Machines for Electric Vehicles. *Energies*, 11(1), 2141.
- [12] E. Mbadiwe, E. Sulaiman. (2017). Flux Switching Permanent Magnet Motor using Segmented Outer Rotor Structure for Electric Scooter. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 6(2), 379-386.
- [13] W. Hua, H. Zhang, M. Cheng, J. Meng, and C. Hou (2017). An Outer-Rotor Flux-Switching Permanent-Magnet-Machine With Wedge-Shaped Magnets for In-Wheel Light Traction. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 64(1).
- [14] X. Zhu, Z. Shu, L. Quan, Z. Xiang, and X. Pan (2017). Design and Multicondition Comparison of Two Outer-Rotor Flux-Switching Permanent-Magnet Motors for In-Wheel Traction Applications. *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 64(8).
- [15] L. Mo, T. Zhang, and Q. Lu (2019). Design and Analysis of an Outer-Rotor-Permanent-Magnet Flux-Switching Machine for Electric Vehicle Applications. *IEEE Transactions On Applied Superconductivity*, 29(2).
- [16] J. T. Shi, A. M. Wang, and Z. Q. Zhu, (2017). Influence of PM- and armature winding-stator positions on electromagnetic performance of novel partitioned stator permanent magnet machines. *IEEE Trans. Magn.*, 53(1).
- [17] L. Wu, R. Qu, and D. Li, (2014). Reduction of rotor eddy-current losses for surface PM machines with fractional slot concentrated windings and retaining sleeve. *IEEE Trans. Magn.*, 50(11), 1–4.
- [18] L. Alberti and N. Bianchi, (2013). Theory and design of fractional-slot multilayers windings. *IEEE Trans. Ind. Appl.*, 49(2), 841–849.
- [19] G. Dajaku, W. Xie, and D. Gerling, (2014). Reduction of low space harmonics for the fractional slot concentrated windings using a novel stator design. *IEEE Trans. Magn.*, 50(5), 1–12.
- [20] J. Luo, W. Zhao, J. Ji, J. Zheng, Y. Zhang, Z. Ling, and J. Mao (2017). Reduction of Eddy-Current Loss in Flux-Switching Permanent-Magnet Machines Using Rotor Magnetic Flux Barriers. *IEEE Transactions On Magnetics*, 53(11)





# Dünyada ve Türkiye’de Blok Zinciri Teknolojisi: Finans Sektörü, Dış Ticaret ve Vergisel Düzenlemeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme\*

Betül Altay Topcu<sup>1†</sup>, Sevgi Sümerli Sarıgül<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Dış Ticaret Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2044-4568)

<sup>2</sup> Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Pazarlama ve Dış Ticaret Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3820-6288)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf5)

**ATIF/REFERENCE:** Altay Topcu, B. & Sümerli Sarıgül, S. (2020). Dünyada ve Türkiye’de Blok Zinciri Teknolojisi: Finans Sektörü, Dış Ticaret ve Vergisel Düzenlemeler Üzerine Genel Bir Değerlendirme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 27-39.

## Öz

Endüstri 4.0’ın itici gücü olarak kabul edilen Blok Zinciri Teknolojisi, her bir sözleşme, işlem veya ödemenin birebir tanımlanıp, doğrulanıp, depolanıp paylaşılabilmesi için dijital olarak kaydedildiği ve imzalandığı bir teknoloji protokolüdür. Bu teknoloji, belirli bir merkezde yer alan sunucuları devre dışı bırakarak, taraflar arasında bilgi akışını sağlayan bilgisayarları birbirine bağlamaktadır. Ayrıca, bir ağdaki işlemlerin kesintisiz şekilde kaydedilmesine olanak vermektedir. Ağda yer alan her bir katılımcının kendisine ait bir hesap defterine sahip olması ve böylece tüm işlemlerini görebilmesi sağlanmaktadır. Her bir blok, bir önceki blok ile ilişkilendirilmiş ve şifreli bir referans ile korunduğundan ötürü güvenilirliği oldukça yüksek bir sistemdir. Bu kapsamda söz konusu uygulama ile sisteme kayıtlı ve ilgili taraflar arasında doğrudan transfer edilebilen belgeler oluşturulabilmektedir. Bu durumda genel olarak ortaya çıkabilecek güven, evrak akışındaki gecikmeler, aracılara olan gereksinim gibi sorunların üstesinden gelinebilecektir. Bu çalışmanın amacı, günümüzde birçok sektörde kullanımı yaygınlaşan Blok Zinciri Teknolojisi Uygulamaları’nın, dünyada bu teknolojiyi kullanan lider ülkeler ve Türkiye açısından değerlendirilmesidir. Çalışma bu teknolojinin Türkiye’de kullanıldığı alanların ve kaydettiği aşamanın tespit edilmesi açısından önem arz etmektedir. Dünya lider ülke uygulamaları incelendiğinde, ülkelerin bu teknolojinin kullanımında belirli bir aşamaya geldikleri, Türkiye’nin ise bu ülkelerin henüz gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir. Türkiye’de özellikle dış ticaret alanındaki uygulamalar değerlendirildiğinde, bu uygulamaların proje bazında devam ettiği, ancak hayata geçirilemediği görülmektedir. Bu açıdan Türkiye’nin rekabet gücünün tesis edilebilmesi ve lider ülkeler arasında yer alabilmesi, hükümetin bu teknolojinin kullanıma yönelik teşvik ve uygulamalarını gerektirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bitcoin, Blok Zinciri Teknolojisi, Dijitalleşme, Vergi Düzenlemeleri.

## Blockchain Technology in the World and Turkey: A General Evaluation of the Financial Sector, Foreign Trade and Tax Regulations

### Abstract

One of the key elements of Industry 4.0 is the Blockchain application, a technology protocol in which each contract, transaction or payment is digitally recorded and signed for one-to-one identification, verification, storage and sharing. This technology connects computers that enable information flow between parties by disabling servers located at a particular center. It also allows continuous recording of transactions on a network. Each participant in the network has his own account book so that they can see all his transactions

Each block is a highly reliable system since it is associated with the previous block and protected by an encrypted reference. In this context, documents can be created that are registered to the system and can be transferred directly between the related parties. In this case, problems that may arise in general, delays in document flow, and the need for intermediaries can be overcome. The aim of this study was the widespread use today in many sectors Chain Block Apps Technology, a leading countries in the world using this technology and to evaluate in terms of Turkey. Our study is important in terms of determining the stage of the areas where the use of this technology in Turkey and save. When the world’s leading countries examined practices of countries they come to a certain stage in the use of this technology, whereas Turkey has been observed that these countries still remain behind. Turkey, especially when assessing applications in the field of foreign trade, this practice has continued in some projects, but is seen not implemented. In this

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

respect can be established among the leading countries of Turkey's competitiveness, the government is required to promote the use of this technology and its applications.

**Keywords:** Bitcoin, Blockchain Technology, Digitalization, Tax Regulations.

## 1. Giriş

2009 yılında Bitcoin para biriminin piyasaya sunulması ile birlikte, Blok Zinciri Teknolojisi ortaya çıkmış ve büyük bir ilgi konusu olmuştur. Günümüzde internet üzerinden yapılan para transferi, insanların işlemlerini kısa sürede yapmasını sağlayan teknolojik imkânlardan biridir. Özellikle e-ticaretin gelişmesiyle, ürün ve hizmetlerin internet üzerinden farklı ödeme seçenekleriyle temin edilebilmesi yeni bir ekonomik düzenin ortaya çıkmasına neden olmuştur (Taş ve Kiani, 2018, 369). Blok zinciri kelimesini ilk kez dolaylı olarak, Satoshi Nakamoto 2008 yılında yayınladığı "Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System-Bitcoin: Eşler Arası Elektronik Nakit Sistemi" adlı makalesinde dile getirmiştir. Nakamoto (2008), blok zinciri kelimesini ele aldığı makalesinde geçirmemiş olsa da, kripto paranın altında yatan bir teknoloji bileşenini, kriptografik olarak birbirine zincirlenmiş bir dizi veri bloğu olarak tanımlamıştır. Nakamoto, 2008 Kasım ayında "Cryptography Mailing List"de yayınladığı sayfa ile Bitcoin protokollerini yayınlamıştır. 2009 yılında yayınladığı Bitcoin'in ilk versiyonundan sonra, 2010 yılına kadar Bitcoin üzerinde geliştirmeler yapmıştır (coinkolik).

Dijital bir para birimi olarak kullanılan Bitcoin, birçok açıdan geleneksel para birimlerinden farklılaşmaktadır ve birtakım avantajlara sahiptir. İşleyiş açısından en önemli özelliği, eşten eşe ödeme sistemine (peer-to-peer cash system) olanak vermesidir. Blok Zinciri Teknolojisi'nin işlem maliyetlerini önemli ölçüde azaltması ve işlem gerçekleşme zamanını kısaltması açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Ayrıca, Blok Zinciri Teknolojisi içerisinde en çok bilinen ve kullanılan dijital para birimi olması nedeniyle "dijital değişimin medyumu" olarak da adlandırılan Bitcoin'in oluşturulması, elde edilmesi, toplanması ve ticarete kullanımı elektronik olarak mümkün olmaktadır (Raiborn ve Sivitanides, 2015, 26-27).

Blok Zinciri Teknolojisi'nin ilk uygulaması olan Bitcoin, eşler arası teknolojiyi kullanarak merkezi bir otorite veya banka olmadan çalışır. İşlemlerin yönetimi ve Bitcoin'lerin dağıtımı toplu olarak ağ tarafından idare edilir. Bitcoin açık kaynaklıdır; tasarımı halka açıktır, kimse Bitcoin'e sahip değildir ve kontrol edilemez, herkes tarafından katılabilir. Bitcoin kendine has özellikleri sayesinde diğer ödeme yöntemleri ile yapılamayan çok farklı ödemelerin yapılabilmesine olanak vermektedir (Bitcoin; İnsiti ve Lakhani, 2008, 4). Blok zinciri, tüm Bitcoin işlemlerinin dağıtılmış işlemleridir. Bu, tek bir kayıt veritabanı olmadığı anlamına gelir. Blok zincirinin dağıtılmış doğası da güvenliği sağlamaya yardımcı olur. Çünkü Bitcoin topluluğu, toplu olarak tüm işlemler üzerinde anlaşır, ödemeleri engelleyebilecek veya tersine çevirebilecek merkezi bir otorite yoktur. Ancak Blok Zinciri Teknolojisi sadece Bitcoin için değil diğer birçok alanda da uygulanabilir (Hampton, 2016).

Blok Zinciri Teknolojisi'nin dünyadaki ilk uygulamaları finans sektöründe uluslararası para transferi şeklinde gerçekleşmekle birlikte, kısa zamanda sağlık, gıda, gümrükleme, sigortalama ve taşıma gibi lojistik sektöründe, dış ticaret ve muhasebe alanında da görülmeye başlamıştır. Birçok sektörde inovasyonu tetikleyici bir teknoloji olarak kullanımı sağladığı maliyet, güven, şeffaflık ve hız gibi avantajlar nedeniyle son zamanlarda artış göstermiştir. Çalışmada, son zamanlarda tüm dünyada yakın ilgi gören Blok Zinciri Teknolojisi'nin çalışma prensibi ve dış ticarete kullanımı kavramsal olarak açıklanmıştır. Ayrıca bu teknolojinin dünyada ve Türkiye'de kullanım alanları değerlendirilmiştir. Bu çalışma, söz konusu uygulamaların değerlendirilmesi ile Türkiye'nin bu teknolojiye yerinin tespit edilmesi açısından önem arz etmektedir. Çalışma beş bölüme ayrılmıştır. Çalışmanın giriş bölümünün ardından ikinci bölümde Blok Zinciri Teknolojisi'nin kavramsal açıklamalarına yer verilmiştir. Üçüncü bölümde dış ticarete Blok Zinciri Teknolojisi'nin kullanım şekli değerlendirilmiştir. Dördüncü bölümde ise, dünyada ve Türkiye'de Blok Zinciri Teknolojisi uygulamaları üzerinde durulmuştur. Çalışma sonuç bölümü ile tamamlanmıştır.

## 2. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Çalışma Prensibi

Çalışmanın bu bölümünde Blok Zinciri Teknolojisi'nin çalışma prensibi; bu teknolojinin ağ yapısı, uluslararası para transferinde kullanım şekli, özellikleri, kullanım alanları ve potansiyel yararları açısından değerlendirilmiştir.

### 2.1. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Ağ Yapısı

Günümüzde internet üzerinden yapılan sosyal medya uygulamaları, e-mail programları, haberleşme ile ilgili yazılımlar, e-sağlık, e-devlet, e-gümrük uygulamaları, e-ticaret yapan siteler ve e-lojistik gibi farklı ihtiyaçlara yönelik çeşitli teknolojik uygulamalar aracılığı ile çeşitli alanlarda ve konularda veri transferleri yapılmaktadır. Bu transferlerin genellikle güvenlik düzeyleri düşüktür. Bu transferlerin dışında, daha değerli ve özel varlıkların transferi, dağıtık bir veri tabanı olan "Blok Zinciri Teknolojisi" ile yapılmaktadır. Bu teknoloji, sunduğu imkânlar ve çeşitlendirilebilir uygulamaları sayesinde yüksek düzeyde bir güvenlik ve verimlilik sağlamaktadır (Bakan ve Şekelli, 2019, 2950).

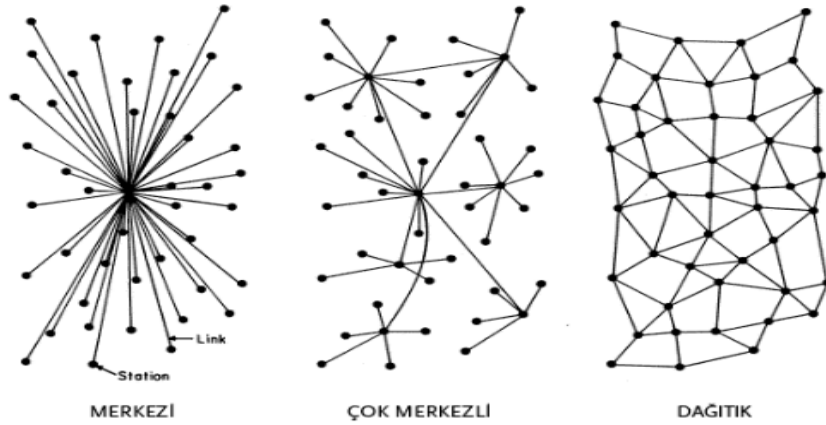
Literatürde Blok Zinciri Teknolojisi'nin tek tip bir tanımı mevcut değildir ve çeşitli tanımlamaları bulunmaktadır. Bir tanımlamaya göre, Blok Zinciri Teknolojisi, işlem kayıtlarını bilgisayar ağları üzerinde zaman kaşesiyle tarihlenerek tarihçeleri ile birlikte geriye dönük olarak değiştirilemeyecek ve silinemeyecek biçimde birbirine bağlı bloklar halinde saklayan, istendiğinde ulaşılabilen, denetlenebilen, programlanmış sözleşmeleri yürütebilen Web'den farklı bir teknolojidir. Blok zinciri, dağıtık (merkezi olmayan) ve ortak bir veri kayıt sistemidir (Özalp, 2018, 293).

Bir diğer tanıma göre, Blok Zinciri Teknolojisi, uzlaşma (consensus) algoritmalarıyla birçok site, ülke ve/veya enstitü arasında kopyalanmış, paylaşılmış ve senkronize edilmiş bir veri yapısıdır. Ağda meydana gelen her olay, düğümlerde doğrulanmakta ve

kaydedilmektedir. Blok zincirinde ilk başlangıç bloğuna “genesis blok” ismi verilir (Usta ve Doğantekin, 2017, 118-119). Her blok, kendinden önceki bloğun özüt (hash) algoritmasından geçirilmiş içeriğine sahiptir. Blok zincirine eklenen her yeni bloğun girdilerinden birisi, bir önceki bloğun özüt değeridir. Yani blok zincirinde depolanan tüm veriler “özüt” adı verilen şifrelerle korunmaktadır. Böylece sistemdeki bir işlemi değiştirmek isteyen kişi, geriye doğru tüm işlemlerin özüt sonucunu hesaplamak zorundadır. Bu işlem pratik olarak mümkün değildir, çünkü hesaplanan sonuçların tüm madencilerde de aynı olması gerekmektedir (Taş ve Kiani, 2018, 372).

Blok Zinciri Teknoloji’si ağ yapısı Şekil 1’de gösterilmiştir. Blok zinciri, internet üzerinde dağıtık yapıda çalışan çok hızlı, güvenilir ve rahat işleyen esnek bir teknoloje sahiptir. Web’in alternatifi olarak ifade edebileceğimiz blok zincirini açıklamak için Web’i bir fırtına olarak kabul edersek Blockchain teknolojisi bir kasırğa olarak ifade edilebilir.

Şekil 1. Blok Zinciri Teknolojisi Ağ Yapısı



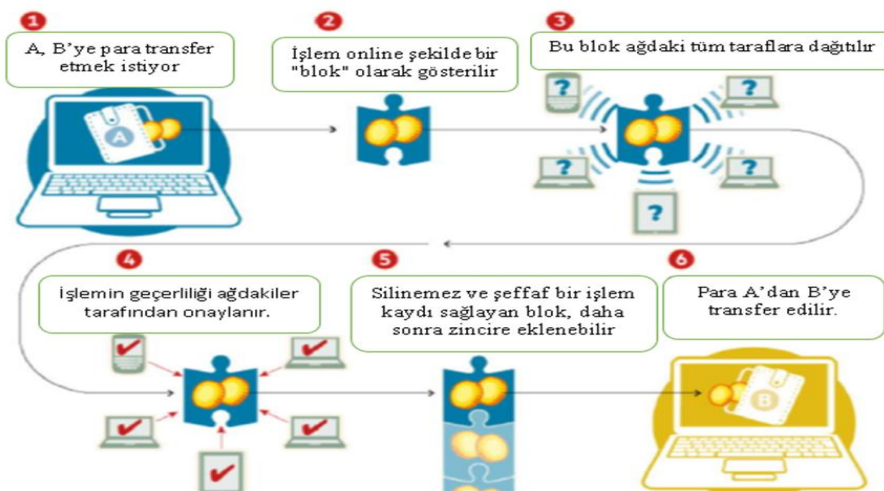
**Kaynak:** Baran, 1964, 2; Özalp, 2018, 294.

## 2.2. Blok Zinciri Teknolojisi’nin Uluslararası Para Transferinde Kullanım Şekli

Kripto para birimi olan Bitcoin ile yapılabilecek en temel finansal işlem, taraflar arasında para transferi yapılmasıdır. Fiziksel para ile yapılan işlemlerde güvenlik önlemleri, paranın güvenli bir şekilde imal edilmesine ve kolay şekilde taklit edilememesine dayanmaktadır. Dijital para ile yapılan işlemlerde ise güvenlik önlemleri, yapılan işlemlerin dijital imzalar aracılığıyla sağlanmaktadır. Dolayısıyla A kişisi B kişisine para transfer ederken, yapılan işlemi kendi dijital imzasıyla imzalayarak güvenli hale getirmektedir (Ünsal ve Kocaoğlu, 2018, 56).

Blok Zinciri Teknolojisi, sınırlı veya belirlenmemiş sayıdaki eşler arası ağ aracılığı ile ağda bulunan katılımcıların yeni işlemleri girişi, yeni işlem bloklarını doğrulaması ve bunların (önceden onaylanmış işlemlerin) işlem bloklarını zincire eklemesi şeklinde çalışmaktadır. Blok Zinciri Teknolojisi ile uluslararası para transferi örneği Şekil 2’de verilmiştir.

Şekil 2. Blok Zinciri Teknolojisi İle Uluslararası Para Transferi



**Kaynak:** Crosby vd., 2016, 10; Wild, Arnold ve Stafford, 2015.

### 2.3. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Özellikleri

Blok Zinciri Teknolojisi'nin üç temel özelliği bulunmaktadır. Bunlar Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 3. Blok Zinciri Teknolojisinin Temel Özellikleri



**Kaynak:** Hackius ve Petersen, 2017, 5.

Blok Zinciri Teknolojisi'nin üç temel özelliği; merkezi olmayan, doğrulanmışlık ve değişmezliktir. Merkezi olmayan özelliği; herhangi bir merkez veya kuruma bağlı kalınmadan kendi kendine işleyen, güvene dayalı bir alt yapı içerisinde ve sadece üyelik sistemi ile yürütülen bir ağ yapısına sahip olmak kastedilmektedir. Bu durum ağ üzerindeki merkezi otoriteyi ortadan kaldırarak katılımcıları doğrudan birbirine bağlar. Böylelikle ağdaki katılımcılar ağ üzerinde gerçekleşen işlemleri doğrudan görebilir ve onaylayabilir. Örneğin; bir üyenin gerçekleştirmiş olduğu bir hesap ya da ödeme işleminde, blok zincirinde yer alan ve eşler arası ağ olarak adlandırılan çok sayıda bilgisayar aracılığıyla işlem paylaşımları ve bunun sonucunda da ağda bulunan tüm üyeler yapılan bu işlemin birer kopyasını kendi kayıtlarında saklayabilirler.

Doğrulanmışlık özelliği, ağdaki tüm üyeler kendilerine ait özel şifrelere sahiptir ve ağ üzerinde herhangi bir işlemi gerçekleştirebilmek için bu özel şifreleri (dijital imza) kullanırlar. Bu nedenle sadece şifreye sahip olan üyeler ağa giriş yapabilmektedirler. Dijital imzalar kullanıcıların özel anahtarlarıyla (Private Key) oluşturulmakta ve kullanıcılara ait genel anahtarlar (Public Key) kullanarak bu imzaları kontrol edilebilmektedir. Ancak üyeler isterse kimliklerini gizli tutabilmektedirler. Çünkü bu şifreler kişilerin gerçek dünyadaki kimlikleriyle ilişkilendirilmemektedir.

Değişmezlik özelliği ise, yazılımın uzlaşma tabanlı algoritmasından kaynaklanmaktadır. Bir veya daha fazla yapılan işlem yeni bir blok oluşturacak şekilde gruplandırılır. Ağın tüm üyeleri bloktaki işlemleri doğrulayabilmektedir. Eğer bir bloğun geçerliliği üzerinde fikir birliği sağlanamazsa o blok reddedilir. Benzer olarak eğer ki bir bloğun geçerliliği üzerinde fikir birliği sağlanırsa o blok zincire eklenir. Her blok için bir şifreleme karması oluşturulur. Her blok sadece kendi işlem kayıtlarını değil, aynı zamanda bir önceki bloğun karmasını da tutar. Bu bir zincire bağlanan bir blok bağımlılığı oluşturur. Blok zincirindeki işlemin geriye dönük olarak değiştirilmesi sadece ağ üyelerinin cihazlarının çoğunda yerel kayıtların yanı sıra zincirdeki her bloğun şifreleme karmasını da değiştirir (Hackius ve Petersen, 2017, 5-6).

### 2.4. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Kullanım Alanları ve Potansiyel Yararları

2009 yılında ortaya çıkan Blok Zinciri Teknolojisi hayatın birçok alanına girmiştir. Finans dünyasının farkındalığı ve ilgisi ise 2014 yılında oluşmaya başlamıştır. Bu teknolojinin çıkış noktası para transferi olsa da finans dünyasının dışında dış ticaret, uluslararası transfer işlemleri, sigortacılık, tedarik zinciri yönetimi ve sağlık gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Özalp, 2018, 310-311).

Blok zincirinin, sistematik yapısı içerisinde uygulama ve diğer teknolojileri geliştirebilecek bir alt sağlamasından dolayı, pek çok sektör tarafından ilgi odağı haline gelmiştir. Ancak mevcut kullanılan sistemlerin işleyiş ve kayıtlama biçimleri blok zinciri için uygun olmayabilir. Bu teknolojiyi kullanım kararı vermeden önce kurumun, teknolojinin, sürecin, durumun veya kişinin güçlü ve zayıf yönlerini belirlenmeli, iç ve dış çevreden kaynaklanan fırsat ve tehditleri saptanmalı ve detaylı analizler yapılmalıdır. Blok Zinciri Teknolojisi'nin kullanım alanları aşağıdaki gibi özetlenebilir (Özalp, 2018, 310-311; Zheng ve Xie, 2018, 363-365; Erözel Durbilmez ve Yılmaz Türkmen, 2019, 34):

**Finansal Araçlar:** Finansal enstrümanlar (hisse senetleri, bonolar ve tahviller), Türev Araçları (future, opsiyonlar, swap ve forward işlemleri).

**Kamu İle İlgili İşlemler:** Tapu, arsa kayıtları, noter işlemleri, araçlarla ilgili bilgilerinin kayıtları, mevzuatlar, işletmelerin ticari kayıtları, vergi işlemleri, mahkeme kayıtları, suç kayıtları, adli tıp kayıtları, dijital pasaport, dijital kimlik, oylama, silah ruhsatları.



*Sağlık İle İlgili İşlemler:* Sağlık kayıtları, doğum ve ölüm belgeleri

*Özel Kayıtlar:* Sözleşmeler, akıllı kontratlar, dijital imzalar, kişisel gps kayıtları.

*Lisanslar:* Patentler, lisanslar, telif hakları, domain (alan) adları, dijital kimlikler.

*Dış Ticaret İle İlgili İşlemler:* Lojistik işlemleri, gümrük işlemleri, liman işlemleri, sigorta işlemleri.

*Diğer:* Fotoğraf, video ve ses kayıtları, sim kartları.

## 2.5. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Potansiyel Yararları

Blok Zinciri Teknolojisi'nin potansiyel yararları stratejik, organizasyonel, ekonomik, bilgisel ve teknolojik olmak üzere beş ana grupta toplanarak Tablo 1'de açıklamaları ile birlikte incelenmiştir.

Tablo 1. Blok Zinciri Teknolojisi'nin Potansiyel Yararları

<b>Stratejik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Şeffaflık:</b> Ağdaki tüm kullanıcılar zincir içerisinde gerçekleşen tüm işlemleri eş zamanlı olarak görebilmektedirler. Verilere erişim herkese açıktır.</li><li>• <b>Dolandırıcılıktan ve Manipülasyondan Kaçınma:</b> Saldırıların veya yetkisiz olarak yapılan değişikliklerin fark edilmeden yapılması zordur. Bilgiler birden fazla deftere kaydedildiği için dağıtılmıştır.</li><li>• <b>Yolsuzluğun Azaltılması:</b> Dağıtılmış defterler yoluyla yapılan depolama, sistemdeki verilerin bozulmasını ve değiştirilmesini önler.</li></ul>
<b>Organizasyonel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Güvenin Artması:</b> Kayıtların değiştirilememesi ve verilerin birden çok düğümle doğrulanması sonucunda süreçteki kontrol artar ve bu durum sisteme olan güveni artırır.</li><li>• <b>Şeffaflık ve Denetlenebilirlik:</b> İşlemlerin geçmişinin takip edilebilmesi için birden çok kayıt defterine ulaşılması ile denetim ve tutarlılık sağlanmaktadır.</li><li>• <b>Tahmin Yeteneğini Arttırmak:</b> Tüm tarih bilgileri geriye doğru izlenebildiğinden bu durum tahmin yeteneğini arttırabilir.</li><li>• <b>Kontrolün Arttırılması:</b> Sistemde yer alan tüm bilgiler oy birliği ile kendi içinde konrollü olarak kaydedildiğinden ötürü veri doğruluğu ve kalitesi yüksektir.</li></ul>
<b>Ekonomik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Maliyetin Düşürülmesi:</b> Herhangi bir merkez veya kuruma gerek duyulmadığından bir işlemin gerçekleştirilmesi veya doğrulanması için oluşan maliyetler azaltılabilmektedir.</li><li>• <b>Spam İletilere Karşı Daha Fazla Esneklik ve DDOS Saldırıları:</b> Sistem kendi içinde yüksek düzeyde güvenlik sağladığı için siber saldırılar için mevcut sistem içerisinden alınan önlemlerin maliyeti düşürülebilir.</li></ul>
<b>Bilgisel</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Üstün Veri Kalitesi ve Verilerin Bütünlüğü:</b> Sistem içinde saklanan bilgiler, fikir birliği ile alındığı için yüksek veri kalitesine sahiptir.</li><li>• <b>İnsan Hatalarını Azaltmak:</b> Gerçekleştirilen işlemler ve bunların kontrolleri otomatik olarak gerçekleştiğinden dolayı insan kaynaklı hatalar azalmaktadır.</li><li>• <b>Bilgiye Ulaşmak:</b> Bilgiler kolay ve hızlıca erişilebilecek birden fazla yerde saklanır. Böylece ağdaki mevcut kişiler bu bilgilere kolaylıkla erişebilir.</li><li>• <b>Gizlilik:</b> Kullanıcılar şifreleme anahtarları aracılığıyla anonim olabilmektedirler. Böylece ağdaki diğer kişilerin kendilerine ait kimlik bilgilerinin görüntülenmesini önleyebilirler.</li><li>• <b>Güvenilirlik:</b> Sistemin özelliği sayesinde veriler birden fazla yerde saklanır. Yalnızca ağda bulununlar fikir birliği yapıp, kabul ettiğinde bilgiler değiştirilebilir.</li></ul>
<b>Teknolojik</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Esneklik:</b> Sistem kötü niyetli davranışlara karşı dayanıklıdır.</li><li>• <b>Güvenlik:</b> Veriler merkezi olmayan, dağınık birden çok veri tabanında depolandığı için, verileri ele geçirmek, kötü niyetli işlemlerin fark edilmeden yapılması mümkün değildir.</li><li>• <b>Kalıcılık ve Değişmezlik:</b> Veriler birden fazla dağınık defterlerde saklanır ve veri bir blok zincirine yazıldıktan sonra değiştirmek veya silmek zordur.</li><li>• <b>Azalan Enerji Tüketimi:</b> Ağda kullanılan enerji tüketimi, artan verimlilik ve işlem mekanizmaları ile azaltılabilir.</li></ul>

**Kaynak:** Ølnesa, Ubachtb ve Janssenb, 2017, 359; Potekhina ve Riumkin, 2017, 11-13.

## 3. Dış Ticarete Blok Zinciri Teknolojisi'nin Kavramsal Çerçevesi

Dış Ticaret işlemlerinde ihracatçı ve ithalatçı firmalar, nakliye, sigorta, gümrükleme firmaları ve bankalar gibi çok sayıda taraf ve bu tarafların çok sayıda gerçekleştirdikleri işlemler bulunmaktadır. Dış ticaret işlemlerinde yer alan aktörler arasında ilgili belgelerin



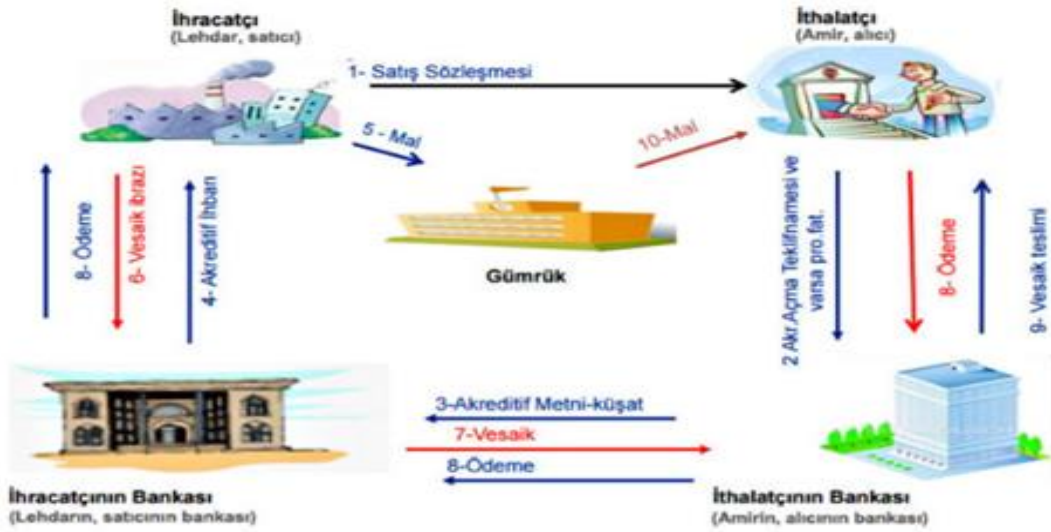
eksiksiz bir şekilde hazırlanması, bu belgelerin kısa sürede ve güvenilir bir şekilde taraflara iletilmesi kritik bir öneme sahiptir. Bu çerçevede çıkması olası problemlerin çözümü için blok zinciri uygulamaları ortaya çıkmıştır. Çalışmanın bu bölümünde uluslararası ticarete Blok Zinciri Teknolojisi'nin kavramsal çerçevesine yer verilmiştir.

### 3.1. Uluslararası Ticarete Ödeme ve Blok Zinciri Teknolojisi Kullanımı

Uluslararası ticarete en çok kullanılan ödeme yöntemlerinden birisi de akreditiftir. Akreditifi takiben açık hesap ödemesi, mal mukabili, vesaik mukabili ve peşin ödeme gelir. Açık hesap ödemeleri, ihracatçı açısından yüksek risk oluşturur. Malları teslim ettiğinde ihracatçı için ödemenin yapılması hayati önem taşımaktadır.

Klasik olarak yürütülen akreditif ile ödeme yöntemi akreditife konu tarafların çokluğu, hazırlanması gereken vesaikler ve bu vesaiklerin tek tek kontrol edilmesi, gönderilmesi ve takip edilmesinden ötürü karmaşık bir süreçtir. Akreditifli ödeme durumunda Blok Zinciri Teknolojisi'nin benimsenmesi ödeme sürecini, evrak yönetimini basitleştirip, maliyetleri düşürecektir. Şekil 4'de dış ticarete klasik akreditifli ödeme işlemi ve Şekil 5'de blok zinciri tabanlı akreditifli ödeme işlemi gösterilmiştir.

Şekil 4. Dış Ticarete Klasik Akreditifli Ödeme İşlemi



**Kaynak:** Gürsoy, 2016, 83.

Şekil 5. Dış Ticarete Blok Zinciri Tabanlı Akreditifli Ödeme İşlemi



**Kaynak:** Yazarlar tarafından oluşturulmuştur.

Blok zinciri uygulaması sayesinde finansman ve ödeme sürecinde, dış ticaret işlemleri ve bankacılık faaliyetleri dijitalleştirilecek ve bu durum ödeme ve finansman yöntemlerinin yanı sıra nakit paraya erişimi de kolaylaştıracaktır. Böylece ticaret işlemlerini başlatmak ve yürütmek basitleşmiş olacaktır. Blok zinciri kullanımı, dış ticarete ilişkin vesaiklerin dijitalleştirilmesine izin verecektir. Böylece zamandan, maliyetten de tasarruf edilebilecektir.

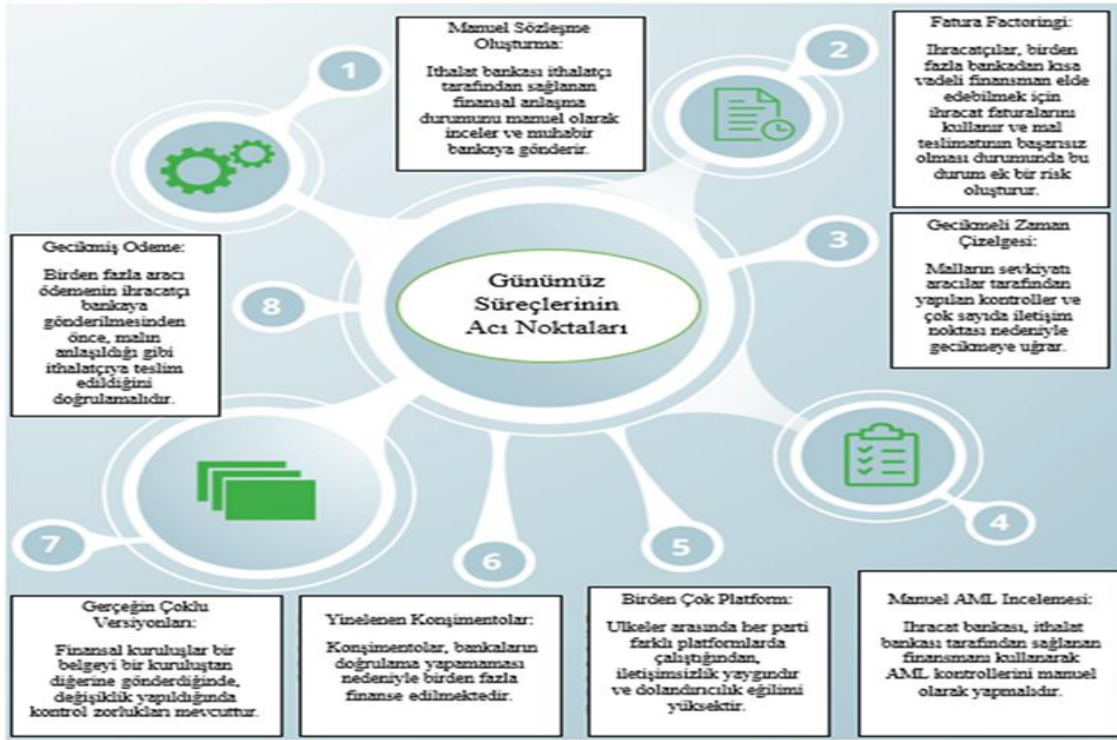
Blok zinciri tarafından desteklenen sınır ötesi ödemeler, işletmeler ve tüketiciler için önemli avantajlar sağlar. Deloitte tarafından yapılan araştırmaya göre uluslararası ödeme işlemlerinde Blok Zinciri Teknolojisi'nin kullanılması, işlem maliyetlerinde %40-%80'lik bir düşüş sağlarken, (muhabir bankalara olan gereksinimin duyulmaması işlem maliyetlerinin düşmesini sağlamıştır), para transfer işlemleri tahmin 4 ile 6 saniye içerisinde gerçekleşebilmektedir (Khandaker, 2019).

### 3.2. Günümüz Dış Ticaret Süreci ve Mevcut Problemler

Tedarik zinciri, mal veya hizmetlerin, hammadde temininden nihai tüketiciye ulaşıncaya kadar geçen süreci tanımlar. Bu süreç, hammaddelerin tedariki, imalat ve montaj işlemleri, depolama ve stok işlemleri, sipariş verme işlemleri ve ürünün dağıtım kanallarına sevkiyatının ve diğer dış paydaşların koordine edilmesini sağlayan ve yapılan faaliyetlerin yürütülmesi ve denetimini kapsayan bir zincirdir (Lai ve Cheng, 2016, 153). Bu zincirin etkili bir şekilde yönetilmesi işletmelere maliyetlerin azaltılması ve müşteri memnuniyetinin artırılması konularında avantajlar sağlamaktadır (Ungan, 2011, 308).

Uluslararası ticaret, literatürde genellikle mal, para ve vesaiklerin sınır ötesine transferi işlemidir. Mal ve hizmet, ihracatçıdan ithalatçıya gönderilirken, para da ithalatçıdan ihracatçıya transfer edilir. Vesaik işlemlerine gelince fatura, yükleme belgeleri, sigorta belgeleri, tercihli ticaret anlaşmalarında kullanılan muafiyet sağlayan belgeler, menşei belgeleri, garanti ve izin belgeleri ise ihracatçı ve ithalatçı arasında karşılıklı olarak transfer edilir. Günümüz klasik dış ticaret sürecindeki işlemleri 8 aşamada Şekil 6'daki gibi özetleyebiliriz.

Şekil 6. Klasik Dış Ticaret Süreci



**Kaynak:** Deloitte.

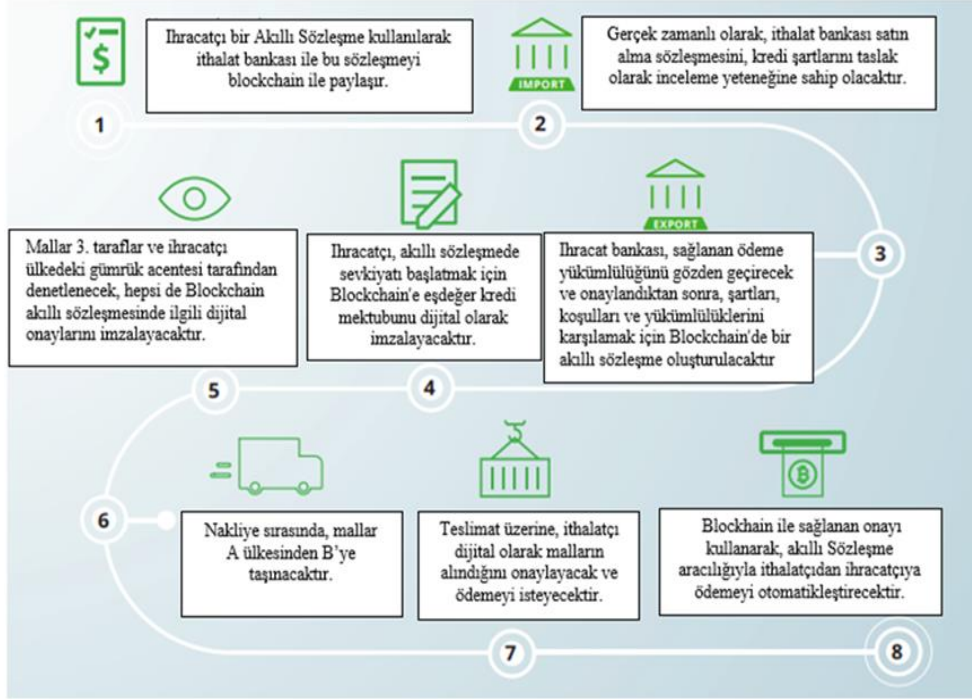
Çok sayıda faktörün dış ticaret işlemleri sürecinde rol alması eşya, para ve evrak trafiğini karmaşılaştırırken işlem maliyetlerini de artırmaktadır. Geleneksel tedarik zinciri sürecine ihracatçı ve ithalatçının dışında, gümrük müşavirlikleri, bankalar, lojistik firmaları, liman işletmeleri gibi oldukça fazla kişi ve kurumun taraf olması, sürecin işleyebilmesi için çok sayıda belgenin işleme konulması, basılı olan dokümanların kaybolma, yırtılma veya kopyalanma risklerinin bulunması önemli sorunlar arasında gösterilmektedir.

Dış ticaret işlemlerinde düzenlenen belgelerin doğru ve geçerli olması gümrükleme süreci için çok önemlidir. Dokümanların kontrolü ve yönetimine duyulan ihtiyaç, araçların fazla olması sebebiyle işlem maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Ayrıca tedarik zinciri sürecinin şeffaf olmaması, ihracatçı ile ithalatçı arasındaki mal veya hizmetin gerçek piyasa değerinin ve yapılan satış kanunlarına uygunluğunun tespitinin yapılmasını zorlaştırmaktadır (Marr, 2018; Özyüksel ve Ekinci, 2020, 89). Blok zincirinde, işlemlerin geriye doğru takip edilebilmesi ve özel blok zinciri anahtar altyapısının kullanılarak sadece izin verilen kişilerin işlem yapabilmesi bu bahsi geçen konularda olası problemleri ortadan kaldırmaktadır.

### 3.3. Blok Zinciri Teknolojisi ile Dış Ticaretin Şekillenmesi

Blok Zincir Teknolojisi gerçek zamanlı bir yazılımdır. Dijital paranın, finansal varlıkların ve diğer dijital belgelerin iki ya da daha fazla kişi arasında geçişini anlık takip ve kaydetme imkânı tanımaktadır. Blok zincirinin dış ticaret iş sürecine entegre edilmesi ile ilgili çok sayıda saha çalışması yapılmaktadır. Blok Zinciri Teknolojisi ile dış ticaret süreci 8 aşamada Şekil 7’de gösterilmiştir. Dış ticaret süreçlerinde Blok Zinciri Teknolojisi’nden gümrük işlemlerinde ve tedarik zinciri yönetiminde faydalanıldığında Şekil 7’de gözüktüğü üzere Blok Zinciri Teknolojisi’nin aracısız işlem yapabilme veya araçları en aza indirme olanağı ve belgelerin dijital ortamda güvenilir ve şeffaf bir şekilde kaydedilmesine imkân tanınması gibi çözümler getirebileceği görülmektedir. Bu kapsamda Blok Zinciri Teknolojisi’nin tedarik zinciri yönetimine katabileceği değerleri; işlem maliyetlerinin düşürülmesi, işlem sürelerinin kısalması ve olası müdahalelerin azaltılması, şeffaflığın ve izlenebilirliğin artırılması şeklinde belirtmek mümkündür.

Şekil 7. Blok Zinciri Teknolojisi ile Dış Ticaret Süreci



**Kaynak:** Deloitte.

Bu durumu bir örnekle açıklamak gerekirse; ABD’de bir paketleme malzemesinin sevkiyat süresi, ABD’den başka bir üretim hattına geçerken sevkiyat süresinin Blok Zinciri Teknolojisi ile %40 oranında azaldığı ve çok düşük bir maliyetle işlemin tamamlandığı belirtilmiştir. Başka bir örnekte ise geleneksel uluslararası ticaret süreçlerinin evraklar bazında olduğu, bir ürünün Kenya’dan Hollanda’ya ihrac sürecinde yaklaşık 25 cm. kalınlığında kâğıt doküman oluştuğu, sürece 30’dan fazla kurumun ve 100’den fazla insanın taraf olduğu ve söz konusu işlemde, ürünün üreticiden tüketiciye ulaşmasının 34 gün sürdüğü, 10 gün boyunca dokümanların sisteme işlenmesinin beklendiği, bu sırada kritik öneme sahip bir belgenin kaybolduğu belirtilmiştir. Söz konusu örnekler uluslararası ticaret işlemlerinin hem süre açısından hem de doküman yönetimi anlamında birtakım çözümlere ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir (Özyüksel ve Ekinci, 2020, 90).

## 4. Dünyada ve Türkiye’de Blok Zinciri Teknolojisi Uygulaması

Çalışmanın bu bölümünde, öncelikli olarak, dünyada bazı ülkelerin kripto para ve blok zincirine bakış açıları incelenmiştir. Daha sonra bu teknolojinin kullanım alanları dünya ülkeleri ve Türkiye açısından değerlendirilmiştir.

### 4.1. Dünyada Bazı Ülkelerin Kripto Para ve Blok Zinciri Teknolojisi’ne Bakış Açılı

Tablo 2’de Türkiye’de dahil olmak üzere dünyada bazı ülkelerin kripto paralara ve Blok Zinciri Teknolojisi’ne bakış açıları verilmiştir.

Tablo 2. Dünyada Bazı Ülkelerin Kripto Para ve Blok Zinciri Teknolojisi Yaklaşımları

Ülkeler	Kripto Para	Blok Zinciri
Çin	Olumsuz	Olumlu
Hindistan	Olumlu	Olumlu
Singapur	Tarafsız	Olumlu
Türkiye	Tarafsız	Olumlu
Fransa	Tarafsız	Olumlu
Avusturya	Tarafsız	Olumlu
Kanada	Tarafsız	Olumlu
Japonya	Olumlu	Olumlu
İngiltere	Tarafsız	Olumlu
Rusya	Olumsuz	Tarafsız

**Kaynak:** Erözel Durbilmez ve Yılmaz Türkmen, 2019, 37.

Tablo 2’de görüldüğü gibi, Çin ve Rusya kripto paralar ile yapılan işlemlere olumsuz bakan ülkelerdir. Bu ülkelerde kripto paralara karşı yasaklamalar ve yaptırımlar uygulanmaktadır. Singapur, Türkiye, Fransa, Avusturya, Kanada ve İngiltere kripto paralar ile yapılan işlemlere karşı net bir bakış açısı ortaya koymayan, başka bir ifadeyle tarafsız kalan ülkelerdir. Ayrıca Hindistan ve Japonya kripto paralara karşı olumlu tavır sergilemektedir. Tablo 2 ülkelerin blok zinciri kullanımı yaklaşımları açısından değerlendirildiğinde, ülkelerin geneli blok zinciri ile yapılan işlemlere olumlu bakmaktadır. Dolayısıyla Çin, Hindistan, Türkiye, Fransa, Avusturya, Kanada, Japonya ve İngiltere Blokchain teknolojisinin kullanımına ilişkin araştırma grupları ve kurumlarını oluşturan ve bu konuda çalışmalar yapan ülkelerdir.

#### 4.2. Dünyada Blok Zinciri Teknolojisi Uygulaması

2018 ve 2019 yıllarında geneli AB’ye üye olan toplamda Avrupa’da 30 ülke, Avrupa Blockchain Ortaklığı’nı (European Blockchain Partnership-EBP) oluşturan bir deklarasyon imzalamışlardır. Bu deklarasyon ile ülkeler, sınır ötesi dijital kamu hizmetlerinin sunumunu destekleyecek bir Avrupa Blockchain Hizmetleri Altyapısı (European Blockchain Services Infrastructure-EBSI) kurulması konusunda işbirliği yapmayı kabul etmiştir. Bu altyapı, yüksek güvenlik ve gizlilik standartlarına sahiptir. Bu deklarasyonu imzalayan ülkeler şunlardır: Almanya, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Estonya, Finlandiya, Fransa, Güney Kıbrıs, Hırvatistan, Hollanda, İngiltere, İrlanda, İspanya, İsveç, İtalya, Letonya, Lihdenştayn, Litvanya, Lüksemburg, Macaristan, Malta, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovakya, Slovenya ve Yunanistan’dır. Üye ülkelerin içinde İngiltere, Norveç ve Lihdenştayn dışında hepsi AB üyesidir. Bu ortaklık, Avrupa’nın Blok Zinciri Teknolojileri’nin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılması açısından atılan önemli bir girişim olarak görülmektedir (European Commission, 2018). Bu ortaklık Avrupa genelinde bir blok zinciri düğümleri ağı olarak tasarlanmıştır (Blockchain Türkiye Platformu, 2020).

Dünyada uygulanan para sistemleri sürekli olarak değişime uğramaktadır. Finansal sistem, eski takas sisteminden nakitsiz ödeme sistemlerine kadar gelişmiş ve değişiklikler geçirmiştir. Şu anda birçok ülke; ödeme sistemlerine giren, onlara yatırım yapan ve işlemlerini güvenli bir şekilde yapabilmek için Blok Zinciri Teknolojisi’ni benimseyerek, bu teknolojiyi pratik bir teste tabi tutmuştur. Dünyada Blok Zinciri Teknolojisi’nin lideri ilk 10 ülke; Avustralya, Çin, Japonya, Dubai, Malta, İsviçre, ABD, Estonya, İngiltere ve Singapur’dur (Sharma, 2019). Bu ülkelerin bu teknolojiye geldikleri aşamalar aşağıdaki gibi özetlenebilir (Sharma, 2019; Partz, 2018; Aktaş, 2018, 27; Xi Xu, 2017, 854; Boucher, 2017, 18):

Avustralya, Bitcoin ve kripto para birimleri kullanılarak yapılan tüm işlemlerde vergileri kaldırmıştır. Avustralya Menkul Kıymetler Borsası (ASX), Blok Zinciri Teknolojisi’ni, iki yıllık test döneminden iki yıl sonra tamamen kabul edeceğini duyurmuştur. Çin ekonomisinde bankacılık konsorsiyumları, Blok Zinciri Teknolojisi’ni kullanmaya başlamıştır. En iyi kripto para birimini ve Qtum, TRON, NEO, VeChain ve diğerleri gibi akıllı sözleşme platformlarını aktif olarak desteklemektedir. Diğer taraftan Çin Halk Cumhuriyeti Ekim 2017 itibariyle uygulamaya koyduğu “Gachain” kamusal blok zinciri teknolojisi ile vergileme ve e-fatura sistemini devreye almıştır. Bu sayede vergi tahsilatının hızlandırılması ve vergi kaçaklarının önlenmesi amaçlanmaktadır. Japonya, diğer ülkelere nazaran Bitcoin ve kripto para birimlerine adaptasyonunu daha önce sağlayan ülkelerden biridir. Japonya’daki bazı perakende mağazaları Bitcoin ile yapılan alışverişleri kabul etmektedir.

Dubai, dünyanın en zengin ve en teknolojik ülkelerinden biri olarak bilinmektedir. Dubai, Belçika ile Abu Dabi Limanından yapılan sevkiyatların görünürlüğünü ve izlenebilirliğini arttırmak için Blok Zinciri Teknolojisi’nin kullanımına yönelik olarak ortaklık anlaşması yapmıştır. Dubai hükümeti tarafından, tüm veri ve belgelerin birleştirilerek Blok Zinciri’ne eklemek için 2020 yılı son tarih olarak belirlenmiştir. Malta, kripto para birimlerinin bir değişim aracı olarak kullanılmasında kendisini küresel bir lider olarak konumlandırmıştır. İsviçre’deki Zug şehri, dünyanın en iyi blok zinciri şirketlerine ev sahipliği yapmaktadır. Zug, dünyanın önde gelen blok zinciri ekosistemini oluşturmayı amaçlayan ve kâr amacı gütmeyen Kripto Vadisi Derneği’ne (Crypto Valley Association-CVA) ev sahipliği yapmaktadır.

ABD, Bitcoin ve diğer sanal para birimleri ile ilgili faaliyetlerin vergilendirilmesi ile ilgili düzenlemeler yapmıştır. Bu düzenlemelere göre, Bitcoin madenciliğinden elde edilen kazançlar vergiye tabidir. ABD sınır kontrolü işlemleri, fikri mülkiyet haklarının korunması ve serbest ticaret anlaşması kapsamındaki ticarete eşyanın menşinin izlenmesinde blok zincirine dayalı çözüm sistemlerini test etmektedir. Estonya hükümeti, bazı hizmetleri Blok Zinciri Teknolojisi’ni kullanarak dijital hale getirmiştir. Örneğin Estonya hükümeti, vatandaşların ilaç reçetelerini alabilmeleri, oy kullanabilmeleri, parasal işlemlerini kayıt altına alabilmeleri,



vergilerini ödeyebilmeleri ve yaklaşık üç bin diğer dijital servise erişebilmeleri için denemelerde bulunmuştur. İngiltere hükümeti birçok yönden Blok Zinciri Teknolojisi'ni benimsemektedir. İngiltere'deki bu sistem, kimlik hırsızlığı ve yavaş finansal hizmet sorunlarını geliştirme potansiyeline sahiptir. İngiltere bu teknolojiyi, gıda endüstrisi ve hükümet belgelerinin arşivlere kaydedilmesinde yoğun olarak kullanmaktadır. Singapur, dijital defter teknolojisini kullanarak sınır ötesi ödemeleri desteklemektedir. Sigorta şirketleri akıllı sözleşmeler kullanmaktadır ve güvenli bir sağlık veri sistemi oluşturmaya çalışmaktadır.

Dünyada Blok Zinciri Teknolojisi'nin kullanımına yönelik bazı ülkeler açısından ilgili mevzuatlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Blok Zinciri Teknolojisi'nde Vergisel Düzenlemelere İlişkin Ülke Uygulamaları

Ülkeler	İlgili Mevzuat
<b>ABD</b>	Bir yıldan fazla süre elde tutulup sonrasında satılan kripto paralar sermaye kazançları vergisine tabidir. Uygulanacak vergi oranları da kazancın miktar ve türüne göre %15 ile %20 arasında değişebilmektedir. Bir yıldan az süre için ise %25 den başlayan normal gelir vergisine tabidir. İşlem 600 Doların altında ise herhangi bir vergi yükümlülüğü bulunmamaktadır.
<b>Avustralya</b>	Bitcoin veya kripto paralarla yapılan alım ve satımlar barter işlemi gibi değerlendirilip vergilendirilmektedir. Şirketler, kurumlar vergisi ile işlem vergisine tabi olmaktadır. Bireysel yatırımcılar için 10.000 Avustralya Doları ve altında kripto para ile yapılan mal ve hizmet alımları gelir ve tüketim vergilerinden muaftır. 1 Temmuz 2017'den itibaren Kripto paraların alım ve satım işlemleri, mal ve hizmet işlem vergisinden muaf tutulmuştur.
<b>Almanya</b>	Kripto para alım ve satım işlemleri neticesinde oluşan kârın 800 Euro'luk kısmı vergi istisnasına tabidir. Bu tutarı aşar ise spekülatif kazanç kapsamında %25 oranında vergiye tabi tutulur. Kripto para alım ve satımı işlemleri ise katma değer vergisinden muaf tutulmuştur.
<b>Güney Kore</b>	Ülkedeki mevcut vergi mevzuatı kripto paralar ile yapılan işlem ve sağlanan kârın nasıl vergilendirileceğini düzenleyememektedir.
<b>Hollanda</b>	Bitcoin ile işlem yapan şirketler barter sözleşmesi esaslarına tabidir. Mükellefler, kripto paranın işlem gördüğü tarihe esas ülke parası cinsinden hesaplanan değer üzerinden kurumlar vergisi ve diğer vergileri öderler. Bireysel yatırımcılar ise elde ettikleri kâr üzerinden gelir vergisi ödemektedirler.
<b>İngiltere</b>	Kripto para ile yapılan işlemler katma değer vergisinden istisnadır. Bu işlemlerle uğraşanlar %20 oranında kurumlar vergisi ödemek zorundadır. Bireysel yatırımcılar alım ve satım sonrası sağlamış oldukları kâr üzerinden sermaye kazanç vergisi öderler. Yıllık kazanç miktarı 11.300 Sterlin ise vergiden istisna tutulur. Evli çiftlerde ise bu tutar eşler ayrı ayrı hesaplandığından ötürü toplamda 22.600 Sterlin istisna tutarına ulaşmaktadır. Yıllık kazanç tutarı 45.200 Sterlini aşarsa kâra bakılmaksızın vergi mükellefi olmak ve gelir vergisi ödemek zorundadırlar.
<b>İsviçre</b>	Bireysel olarak yapılan birçok işlem sermaye kazançları vergisinden muaftır.
<b>Japonya</b>	1 Temmuz 2017'den itibaren Japonya'da bitcoin alan yabancı yatırımcılardan tüketim vergisi alınmamaktadır. Mükellefler alım ve satım neticesinde elde ettikleri kâr üzerinden %15-%55 arasında değişen oranlarda vergi ödemektedirler.
<b>Kanada</b>	Ticari işletmeler tarafından kripto para işlemi yapılırsa barter anlaşması gibi değerlendirilip net kazanç üzerinden kurumlar vergisi ve katma değer vergisine tabi olmaktadır. Bireysel yatırımcılar için ise elde edilen kazançların %50'si vergiden muaf tutulmaktadır kalan matrah ise normal vergi tarifesi üzerinden vergilendirilmektedir. Ancak sürekli alım satım işlemi yapılıyorsa bu faaliyetler ticari olarak değerlendirmektedir.
<b>Türkiye</b>	Türk vergi kanunlarında şimdilik kripto paraya özel bir tanımlama yoktur. Mevcut düzenlemeler uyarınca, kripto para birimlerinden elde edilecek kazançlar, bireyler için vergilendirilebilir gelir kategorisinde de bulunmamaktadır. Kripto para birimleri için herhangi bir yasal tanım bulunmadığından, şimdilik kripto para birimleri üzerinde KDV olmadığı sonucuna varılabilir. Şirketler için, kaynağı ne olursa olsun, herhangi bir gelir vergisiye tabidir; bu nedenle, kripto para birimlerinden elde edilecek kazançlar (2018 için) %22 oranında kurumlar vergisine tabidir (5520 sayılı Kurumlar Vergisi Kanunu). Bankacılık Düzenleme ve Denetleme Kurumu (BDDK) tarafından yapılan açıklamada Bitcoin'in 6493 sayılı Ödeme ve Menkul Kıymet Mutabakat Sistemleri, Ödeme Hizmetleri ve Elektronik Para Kuruluşları Hakkında Kanun kapsamında, "elektronik para" olarak değerlendirilemeyeceği ve bu kanun kapsamında gözetim ve denetiminin mümkün olamayacağı belirtilmiştir. Türk vergi kurumunun kripto para birimlerini "emtia" olarak ele alması beklenmektedir, Çünkü bu tanımlama ile bireyler için kripto para ticareti üzerinden elde edilen gelir üzerinden %15'ten % 35'e varan vergilendirme yapılabilecektir. Eğer özel bir düzenleme yapılmazsa, geçerli KDV oranı %18 olacaktır. Türkiye'de kripto para alımlarında KDV uygulanmayacağı beklenmektedir.

**Kaynak:** COINTURK, 2018; Peaster, 2018; Zuckerman, 2018; Helms, 2018; Barry, 2018; Baktaş, 2018'den yararlanılarak yazarlar tarafından oluşturulmuştur.



### 4.3. Türkiye’de Blok Zinciri Teknolojisi Uygulaması

Türkiye ekonomisinde, 2019-2023 dönemini kapsayan 11. Kalkınma Planı’na göre, kurumsal açıdan güçlü bir finans sektörünün oluşması için finansal araç çeşitliliğine gidilecektir. Bu çerçevede Blok Zinciri tabanlı dijital Merkez Bankası parası uygulamaya konulacaktır. Bu uygulama ile birlikte fintech ekosisteminin Türkiye’de gelişmesine ve uygulanmasına yönelik olarak çalışmalar yapılacaktır (Ulukan, 2019). Türkiye Bilişim Vakfı tarafından, 8 Haziran 2018 tarihinde Blok Zinciri Teknolojisi’nin Türkiye’de kullanımının artırılması, faydalarının araştırılması ve stratejik hedeflerin belirlenmesi gibi nedenlerle, Blok Zinciri Türkiye Platformu (BCTR’yi) oluşturulmuştur. Bu platform Türkiye’de sürdürülebilir blok zinciri ekosistemi oluşturarak, bu teknoloji ile yapılan işlemlerdeki zorlukların giderilmesi hedeflenmektedir (Türkiye Bilişim Vakfı, 2019).

Ülkemizde finansal servislerle ilgili yenilikleri yakından takip eden, 1990 yılında 13 kamu ve özel bir türk bankasının ortaklığıyla kurulan Bankalararası Kart Merkezi (BKM) Blok Zinciri Teknolojisi’ni birden çok alanda kullanmaktadır. Dijital kimlik, akıllı sözleşmeler, dağıtık kayıt defteri konularında blok zinciri temelli çalışmalar yapan BKM, bu kapsamda bir teknoloji şirketi olan Ankara merkezli T2 Software ile “keklik” adında bir şifrelenmiş para birimi geliştirmişlerdir. Deneysel olan bu projeye 200 özel kullanıcı erişim yapabilmekte, kullanıcılar mobil cihazlarda çevrimdışı olarak da çalışabilen P2P ile para transferi ve mağazalardan ürün satın alıp ödeme gibi işlemler yapabilmektedirler. Banka ve diğer hava yolu şirketlerinden bağımsız bir mil programı sunan Global Miles Kasım 2016’dan beri Blok Zinciri Teknolojisi’ni kullanmaktadır. Sanal birer varlık olan havayolu millerini ethereum blok zinciri altyapısıyla tamamen dijital bir varlık haline getiren Global Miles ekibi, transfer işlemini de bu altyapı üzerinde güvenli bir şekilde yapmaktadır (Demirel, 2017).

Akbank, uluslararası para transferinde Blok Zinciri Teknolojisi’ni kullanarak şeffaflık sağlayan, işlem zamanını kısaltan, maliyetleri düşüren çözümler üreten Ripple ile anlaşılan ilk Türk bankası olmuştur. 29 Haziran 2017’de gerçekleşen anlaşma sonucunda Akbank, Ripple ile iş ortaklığına girmiştir. Akbank, Silikon Vadisi’nde faaliyet gösteren Ripple ile finans dünyasında çığır açan Blok Zinciri Teknolojisi’ni kullanmaya başlamıştır. Akbank, Almanya’da işlemlerini devam ettiren iştiraki Akbank AG üzerinden ödemeleri kapsayan bir pilot çalışma başlatmıştır (COINTRAL, 2019).

İstanbul Takas ve Saklama Bankası AŞ (Takasbank), Blok Zinciri Teknolojisi uygulamasını hayata geçirmiştir. Blok Zinciri Teknolojisi ile dayanağı fiziksel altın olan ve dijital bir varlığa çevrilebilen, zaman kısıtlaması olmaksızın altının kişiden kişiye transferine imkân tanıyan ve marka adı “BİGA Dijital Altın”olan bir sistem kurulmuştur (Yavuz, 2019). Türkiye’de kadınların da Blok Zinciri Teknolojisi’nde yer alabilmesi için Başak Burcu Yiğit ile Ebru Güven “Blockchain Women” adlı bir platform kurmuştur. Bu platformun amacı kadınların blokzincir ekosistemindeki varlığını artırmak, farkındalık yaratmak ve bilgi paylaşımıdır (bfmedia, 2019).

Borsa İstanbul’un internet sitesinden yaptığı açıklamaya göre, Blok Zinciri Teknolojisi kapsamında dünyada birçok farklı senaryo üzerinde çalışılırken, Türkiye’de finans kurumları arasındaki iş akışlarında kullanılan ilk blok zinciri projesi Borsa İstanbul tarafından hayata geçirilmiştir. Borsa İstanbul bilişim teknolojileri ekibince hazırlanan söz konusu blok zinciri projesiyle Borsa İstanbul, Takas İstanbul ve Merkezi Kayıt İstanbul’un elektronik başvuruya ait müşteri veri tabanında yer alan bilgiler senkronize hale getirilmiştir. Know Your Customer (KYC) konsepti ile hazırlanan projede, belirtilen veri tabanına yeni müşteri bilgisi eklenmesi, mevcut bilgilerin değiştirilmesi ve doküman yönetimi blok zinciri ağı üzerinden gerçekleştirilecektir. Böylece veri tabanına bilgi girişindeki olası hataların önüne geçilerek hızlı, güvenilir ve şeffaf bir platformun oluşması sağlanmıştır (NTV, 2018).

Türkiye’de konsorsiyumun başını çeken Güler Dinamik Gümrük Müşavirliği şirketi ve ulusal yazılım şirketi ATEZ tarafından Hyperledger Fabric platformu üzerinden ve IBM’nin teknoloji desteğiyle geliştirilen projede, Fransa’nın Lyon kentinden Manisaya ihraç edilecek bir eşyanın ticari ve finansal takibinin yapılması hedeflenmektedir (Aktaş, 2018, 27). Bu, eşten eşe ağların birbirine bağlandığı ve tedarik zincirinin yönetildiği Türkiye’nin ilk ve en önemli girişimi olacaktır. Bu uygulama, IBM Blok Zinciri Platformu üzerinden ürünün tedarik aşamasından teslimatına kadar geçen sürede gerçekleştirilecektir. Bu proje sayesinde Blok Zinciri Teknolojisini hatasız, güvenilir, şeffaf ve hızlı bir şekilde bu platform üzerinden Türkiye’nin dış ticaretine uyarlamak hedeflenmektedir. Buna göre, tedarikçiler tarafından üretilen bir ürün öncelikli olarak, Schenker Lyon Dağıtım Merkezi’ne getirilecektir. İhracat ile ilgili evraklar, blok zinciri ağına yüklenerek şifrelenecektir. Türkiye’ye ulaşan ürün ile ilgili olarak özet beyanın verilmesi, ürünün gümrüklü antrepoya alınması, antrepo ve ithalat beyannamelerinin verilmesi gibi birçok gümrük işlemleri blok zinciri üzerinden gerçekleştirilecektir. Sonuç olarak, dış ticaret süreci ile ilgili bütün evraklar blok zinciri teknolojisi ile korunarak izlenecek ve dijitalleşecektir (Yanık, 2018). Ticaret Bakanı Ruhsar Pekcan, Bakanlığın 2020 yılı içerisinde ihracat alanındaki dijital dönüşüm çalışmalarının devreye alındığı blok zinciri ile ilgili yeni projeler tasarlandığını ifade etmiştir. Türkiye AB, Singapur ve Güney Kore ile dış ticarete veri ve belge paylaşımı için görüşmelere başlamıştır (GÜMRÜK TV, 2020).

## 5. Sonuç

Günümüz rekabet ortamında dünya ülkelerinde Blok Zinciri Teknolojisi’ne olan ilgi gittikçe artmaktadır. Bu teknoloji, dağıtık veri tabanı mimarisi, şeffaf olması, otomatikleşmiş algoritma yapısı, güvenli olması ve eşten eşe iletişim sağlaması gibi avantajları nedeniyle tercih edilmektedir. Blok Zinciri Teknolojisi işletmeler açısından değerlendirildiğinde, bu teknolojinin işletme içinde verilerin doğrulanması, saklanması, karar verme süreçlerinde bürokrasinin azaltılması; müşteriler dâhil olmak üzere, işletme dışından paydaşlarla olan işlemlerde şeffaflık sağlayarak güven oluşturmada etkili olacağı düşünülmektedir. Daha önce güvensizlik sebebiyle ortaklığa girmeyen ulusal ve uluslararası şirketler için yeni işbirliği modelleri üzerinde çalışma ve yeni pazarlara ulaşma fırsatı sunacağına inanılmaktadır.

Blok Zinciri Teknolojisi bilgilerin yönetimini güven ve şeffaflık avantajları ile kolaylaştırabilir. Blok zincirinin güvenli işlemler yapılabilmesi, verimlilik sağlaması ve daha kısa sürede işlemlerin yapılabilmesi gibi sağlamış olduğu faydalar, kamu kuruluşları için uygulanabilir olmasına yol açarak, pek çok devletin bu alana ilgi duymaya başlamasının neden olmuştur. Hem toplumsal sorunlara yenilikçi çözümler üretme, hem ticari işletmelerin iş süreçlerini değiştirme, hem de devlet kurumlarının hizmet sunma şeklini değiştirme konusunda büyük potansiyele sahip bu teknolojinin yakın gelecekte çok daha yaygınlaşacağı kanaatindeyiz. Halen gelişmekte olan bir teknoloji olduğu için toplumu ve kuruluşları bu teknolojiye adapte etmek oldukça zor ve uzun vadeli bir süreçtir. Bu adapte süreci pilot uygulamalar ile kontrol edilmeli ve hükümet tarafından desteklenmelidir.

Dünyadaki Blok Zinciri Teknolojisi uygulamalarına bakıldığında, genel olarak finans sektöründe kullanıldığı görülmektedir. Lojistik, gıda ve sağlık sektörleri gibi sektörlerde ve sınırlı da olsa dış ticaret alanında da bu uygulamaya rastlanmaktadır. ABD, İngiltere, AB ülkeleri, Çin, Japonya, Dubai ve Singapur Blok Zinciri Teknolojisi'ni hemen hemen her alanda kullanmakta olan ve bu teknolojinin kullanımında belirli bir seviyeye gelmiş ülkelerdir. Türkiye ise bu ülkelerin henüz gerisinde kalmaktadır. Türkiye'de ilk defa finans sektöründe Akbank uluslararası para transferinde bu teknolojiyi kullanmaya başlamıştır ve bu teknolojinin kullanımı ve yaygınlaştırılmasına yönelik olarak birtakım girişimler mevcuttur. Dış ticaret alanında ise Türkiye'de henüz bir uygulama olmamakla birlikte, bu teknolojinin kullanımına yönelik projeler yürütülmektedir. Yürütülen bu projeler ile dış ticarete yönelik tüm belgelerin bu teknolojiye adapte edilerek dijitalleşmesi öngörülmektedir. Böylece en kısa sürede, güvenilir bir ağda, hatasız ve düşük maliyetle işlemlerin yapılması Türkiye'nin dış ticareti ve ekonomik büyümesi açısından büyük avantajlar sağlayacaktır. Blok Zinciri Teknolojisi kullanımında, hükümetin destek ve uygulamaları ise Türkiye'nin lider ülkeler arasına girebilmesinde ve rekabet gücünü artırabilmesinde önem arz edecektir.

Türkiye'de Ticaret Bakanlığı tarafından blok zinciri ile ilgili çalışmalara 2016 yılında başlanmıştır. Türkiye ekonomisi açısından dış ticaret işlemlerinde dijital dönüşüm kapsamında bu uygulamanın yüksek katma değer yaratacak önemli araç olarak kullanılacağı düşünülmektedir. Yeni getirilecek sistem ile birlikte dış ticarete yönelik tüm bilgiler blok zinciri üzerinden paylaşılacak ve ürünlerin ülkeye giriş çıkış sürelerinde önemli ölçüde kısalma söz konusu olacaktır. Bu uygulama ile veriler kaynağından alıcı ülkeye ulaşacağı için, çıkış ülkesindeki verilerin doğruluk teyidi gibi bir iş yükü de ortadan kalkacaktır. Böylece olası vergi kayıplarının da önüne geçilmiş olacaktır.

Blok Zinciri Teknolojisi'nin hızla gelişmesi için vergi sistemleri içerisinde bu teknolojinin yer bulması gerekmektedir. Bu kapsamda hukuki güvenceye kavuşturulacak bir Blok Zinciri Teknolojisi, hem ulusal hem de uluslararası vergilendirme konusunda yarar sağlayabilecektir. Tüm vergi sistemi için bir çözüm olmasa da yönetsel yük ve daha az maliyetle vergi toplama ve vergi açığını daraltmak açısından birçok uygulamada kullanılabilir ve sisteme güveni artırabilir.

## Kaynakça

- Aktaş, G. (2018). Akıllı Sınır Yaklaşımı Çerçevesinde Blok Zinciri Teknolojisinin Gümrük İşlemlerinde Potansiyel Kullanım Alanları. *Gümrük Ticaret Dergisi*, 5(14), 18-31.
- Bakan, İ. ve Şekelli, Z.H. (2019). Blok Zincir Teknolojisi ve Tedarik Zinciri Yönetimindeki Uygulamaları. *Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*, 11(18), 2848-2877.
- Baktaş, S. (2018). Turkey Blockchain & Cryptocurrency Regulation. <https://medium.com/blocklaw/turkey-blockchain-cryptocurrency-regulation-9ef75a63f16b>, Erişim Tarihi: 30.02.2020.
- Baran, P. (1964). *On Distributed Communications: I. Introduction to Distributed Communications Networks*, United States Air Force Project Rand.
- Barry, C. (2018). How is Cryptocurrency Taxed in Canada?, <https://www.moneywehave.com/how-is-cryptocurrency-taxed-in-canada/>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.
- bfmedia (2019). Blockchain Teknolojisinde Kadın Estetiği. <https://www.bfmedia.io/haberler/turkiyenin-ilk-blockchain-kadin-platformu-9925.html>, Erişim Tarihi: 29.02.2020.
- Bitcoin, Bitcoin'e Başlarken, <https://bitcoin.org/tr/>, Erişim Tarihi: 10.01.2020.
- Blockchain Türkiye Platformu (2020). Avrupa Blokzinciri Altyapısı (EBSI) Devreye Girdi. <https://bctr.org/avrupa-blokzinciri-altyapisi-ebsi-devreye-girdi-14246/>, Erişim Tarihi: 28.02.2020.
- Boucher, P. (2017). *How Blockchain Technology Could Change Our Lives*. European Parliament, European Parliamentary Research Service, 1-28.
- coinkolik, Satoshi Nakamoto Kimdir?. <https://www.coinkolik.com/bitcoin-rehberi/satoshi-nakamoto-kimdir/>, Erişim Tarihi: 02.02.2020.
- COINTRAL (2019). Ripple Teknolojisi Kullanan Akbank, Blockchain Kullanan İlk Türk Bankası Oldu!. <https://cointral.com/tr/ripple-teknolojisi-kullanan-akbank-blockchain-kullanan-ilk-turk-bankasi-oldu/>, Erişim Tarihi: 19.02.2020.
- COINTURK (2018). Kripto Paraların Gelişimi ve Vergisel Konular. <https://coin-turk.com/kripto-paralarin-gelisimi-ve-vergisel-konular>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.
- Crosby, M., Nachiappan, M., Pattanayak, P., Verma, S. ve Kalyanaraman, S. (2016). Blockchain Technology: Beyond Bitcoin, *Applied Innovation Review*, 2, 6-20.
- Deloitte, How Blockchain Can Reshape Trade Finance. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/global/Documents/grid/trade-finance-placemat.pdf>, Date of Access: 01.02.2020.
- Demirel, F. (2017). Türkiye'de Blockchain Teknolojisi Üzerinde Çalışan Şirketler. <https://webrazzi.com/2017/08/07/turkiyede-blockchain-kullanan-sirketler/>, Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- Erözal Durbilmez, S. ve Yılmaz Türkmen, S. (2019). Blockchain Teknolojisi ve Türkiye Finans Sektöründeki Durumu. *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 4(1), 30-45.

- European Commission (2018). European Countries Join Blockchain Partnership, <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/european-countries-join-blockchain-partnership>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.
- GÜMRÜK TV. (2020). Ticaret Bakanlığı Blockchain Çalışmalarına Başladı. <https://www.gumruktv.com.tr/ticaret-bakanligi-blockchain-calismalarina-basladi>, Erişim Tarihi: 20.01.2020.
- Gürsoy, Y. (2016). *Dış Ticaret İşlemleri Yönetimi*. Ekin Yayınevi, 10. Baskı, Bursa.
- Iansiti, M., Lakhani, K. (2017). The Truth About Blockchain. *Harvard Business Review*, 95(1), 118-127.
- Hackius, N. ve Petersen, M. (2017). Blockchain in Logistics and Supply Chain: Trick or Treat. *Hamburg International Conference of Logistics (HICL)*, 23, October, Hamburg, 1-18.
- Hampton, N. (2016). Understanding the Blockchain Hype: Why Much of it is Nothing More Than Snake Oil and Spin. <https://www.computerworld.com/article/3472219/understanding-the-blockchain-hype-why-much-of-it-is-nothing-more-than-snake-oil-and-spin.html>, Erişim Tarihi: 18.02.2020.
- Helms, K. (2018). South Korea Found a Way to Tax Cryptocurrencies Under Current Law. <https://news.bitcoin.com/south-korea-tax-cryptocurrencies-current-law/>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.
- Khandaker, S. (2019). How Blockchain is Transforming Cross-Border Payments. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/03/12/how-blockchain-is-transforming-cross-border-payments/#2f42181a7df2>, Erişim Tarihi: 15.01.2020.
- Lai, K.H. ve Cheng, T. E. (2016). *Just in Time Logistics*. Routledge and Francis Group. <https://books.google.com.tr/books?id=macFDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=just+in+time+logistic+lai&hl=tr&sa=X&ved=0ahUKEwjA-v2S-vPnAhWxw6YKHcoSDYYQ6AEIKjAA#v=onepage&q=just%20in%20time%20logistic%20lai&f=false>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.
- Marr, B. (2018). How Blockchain Will Transform The Supply Chain and Logistics Industry. <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2018/03/23/how-blockchain-will-transform-the-supply-chain-and-logistics-industry/#2182bed75fec>, Erişim Tarihi: 05.02.2020.
- Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: a Peer-to-Peer Electronic Cash System. <http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>, Erişim Tarihi: 10.02.2020.
- NTV (2018). Türkiye'nin İlk Finansal Blockchain Projesi Hayata Geçti. [https://www.ntv.com.tr/ekonomi/turkiyenin-ilk-finansal-blockchain-projesi-hayata-gecti,e1ARJIWkM0WFg\\_1a4wq6HQ](https://www.ntv.com.tr/ekonomi/turkiyenin-ilk-finansal-blockchain-projesi-hayata-gecti,e1ARJIWkM0WFg_1a4wq6HQ), Erişim Tarihi: 20.02.2020.
- Ølnesa, S., Ubachtb, J. ve Janssenb. M. (2017). Blockchain in Government: Benefits and Implications of Distributed Ledger Technology for Information Sharing. *Government Information Quarterly*, 34(3), 355-364.
- Özalp, A. (2018). *Uluslararası Ticaretin Finansmanı, Prensipleri ve Blockchain*, Türkmen Kitabevi, İstanbul.
- Özyüksel, S. ve Ekinci, M. (2020). Blok Zinciri Teknolojisinin Dış Ticaret Etkisinin Örnek Projeler Çerçevesinde İncelenmesi. *İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi*, 1, 82-101.
- Partz, H. (2018). US Customs and Border Protection to Test Blockchain Shipment Tracking System. <https://cointelegraph.com/news/us-customs-and-border-protection-to-test-blockchain-shipment-tracking-system>, Erişim Tarihi: 10.02.2020.
- Raiborn, C. ve Sivitanides, M. (2015). Accounting Issues Related to Bitcoins. *Journal of Corporate Accounting & Finance*, 26(2), 25-34.
- Peaster, W.M. (2018). Bitcoin, Cryptocurrency and Taxes: What You Need to Know. <https://blockonomi.com/cryptocurrency-taxes/>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.
- Potekhina, A. ve Riumkin, I. (2017). Blockchain-a New Accounting Paradigm: Implications for Credit Risk Management, <http://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1114333/FULLTEXT01.pdf>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.
- Sharma, T.H. (2019). Top 10 Countries Leading Blockchain Technology in the World, <https://www.blockchain-council.org/blockchain/top-10-countries-leading-blockchain-technology-in-the-world/>, Erişim Tarihi: 30.12.2019.
- Taş, O. ve Kiani, F. (2018). Blok Zinciri Teknolojisine Yapılan Saldırıları Üzerine bir İnceleme. *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, 11 (4) , 369-382.
- Türkiye Bilişim Vakfı (2019). Blockchain Türkiye, Kişisel Verilerin Korunması Hukuku ve Blokzinciri Teknolojisi Raporu.
- Ulukan, G. (2019). Merkez Bankası, Kendi Dijital Parasını Çıkarmayı Planlıyor. <https://webrazzi.com/2019/07/09/blockchain-tabanlı-dijital-merkez-bankasi-parasi/>, Erişim Tarihi: 15.02.2020.
- Ungan, M.C. (2011). En İyi Tedarik Zinciri Uygulamaları ve Bir Saha Çalışması. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 16(2), 307 - 322.
- Usta, A. ve Doğanekin, S. (2017). *Blockchain 101*. Bankalararası Kart Merkezi Yayınları, Güncellenmiş İkinci Versiyon.
- Ünsal, E. ve Kocaoğlu, Ö. (2018). Blok Zinciri Teknolojisi: Kullanım Alanları, Açık Noktaları ve Gelecek Beklentileri, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 13, 54-64.
- Wild, J., Arnold, M. ve Stafford, P. (2015). Technology: Banks Seek the Key to Blockchain. <https://www.ft.com/content/eb1f8256-7b4b-11e5-a1fe-567b37f80b64>, Erişim Tarihi: 20.12.2019.
- Xi Xu, B. (2017). Government to Use Blockchain to Prevent Tax Evasion. *Tax Notes International*, 87(10), 854.
- Yanık, (2018). Lyon'dan Manisa'ya Blockchain Köprüsü, <http://www.turkishtimedergi.com/teknoloji/turkiyenin-ilk-blockchain-projesi-hayata-geciyor/>, Erişim Tarihi: 20.02.2020.
- Yavuz, N. (2019). Takasbank Açıkladı: Türkiye'nin İlk Finansal Blockchain Ağı Uygulamaya Geçti. <https://www.coinkolik.com/takasbank-aciklama-yapti-turkiyenin-ilk-finansal-blockchain-agi/>, Erişim Tarihi: 10.01.2020.
- Zheng, Z. ve Xie, S. (2018). Blockchain Challenges and Opportunities: A Survey. *Int. J. Web and Grid Services*, 14(4), 352-375.
- Zuckerman, M.T. (2018). Japanese Crypto Investors to Pay Tax of up to 55 Percent on Profits. <https://cointelegraph.com/news/japanese-crypto-investors-to-pay-tax-of-up-to-55-percent-on-profits>, Erişim Tarihi: 05.01.2020.



# SegNet Mimarisi Kullanılarak Cilt Lezyon Bölütleme Performansının İyileştirilmesi\*

Nurullah Şahin<sup>1</sup>, Nuh Alpaslan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3578-9959)

<sup>2</sup> Bingöl Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Bingöl, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6828-755X)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf6)

**ATIF/REFERENCE:** Şahin, N. & Alpaslan, N. (2020). SegNet Mimarisi Kullanılarak Cilt Lezyon Bölütleme Performansının İyileştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 40-45.

## Öz

Kötü huylu melanom, bütün cilt kanseri türleri arasında üçüncü en sık rastlanan tür olmasına rağmen en çok ölüme neden olan formudur. Kötü huylu melanomun erken aşamada teşhisi hastanın yaşama şansını büyük oranda artırdığından, erken teşhis oldukça önemlidir. Melanom teşhisi dermatologlar tarafından lezyon bölgesinin geometrisi, rengi, yapısal ve dokusal özellikleri gibi görsel niteliklerine bakılarak yapılmaktadır. Ancak, son zamanlarda, bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi yöntemlerindeki gelişmeler ile birlikte melanoma tanısı için bilgisayar destekli tanı sistemleri popüler olmaya başlamıştır. Bu çalışmada ciltte bulunan lezyonların bölütlenmesi için SegNet mimarisi tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Bunun yanında, cilt lezyonları üzerinde veri büyütme ve renk tutarlılığı ve kıl silme gibi ön işleme adımlarının bölütleme performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Deneylerimizde ISBI2016 veri kümesi kullanılmıştır. Sonuçlar veri büyütme ve ön işlemenin bölütleme performansını dikkate değer oranda artırdığını göstermektedir. Bununla birlikte, veri büyütmenin ezberlemeyi önlediği ve modellerin genelleme yeteneğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** melanoma, bölütleme, derin öğrenme, lezyon, segnet.

## Improving Skin lesion Segmentation Performance Using SegNet Architecture

### Abstract

The malignant melanoma is the third most common form of skin cancer among all skin cancer types, but it is the most fatal form of skin cancer. Early diagnosis is very important, as the early diagnosis of malignant melanoma greatly increases the patient's survival chance. The melanoma diagnosis is carried out by dermatologists by examining the visual characteristics of the lesion area such as geometry, color, structural and textural features. However, recently, the computer-aided diagnosis systems have become popular for the melanoma detection, with advances in computer vision and machine learning methods. In this study, a SegNet architecture based system has been developed for segmentation of skin lesions. In addition, the effects of preprocessing steps on skin lesions such as data augmentation and color consistency and hair removal were investigated on segmentation performance. ISBI2016 dataset was used in our experiments. The results show that data augmentation and preprocessing significantly increases segmentation performance. However, it was concluded that data augmentation prevents memorization and increases the generalization ability of the models.

**Keywords:** Melanoma, Segmentation, Deep Learning, Skin Lesion, SegNet.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.



## 1. Giriş

Melanom, cilt kanserleri türleri içinde en sık görülen üçüncü cilt kanseri türü olmakla beraber, cilt kanserleri türleri içerisinde en ölümcül olanıdır (Burg, 1993) (Schmid-Saugeon, Guillod ve Thiran, 2003). Cilt kanseri gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde son yıllarda oldukça sık görülen kanser türlerinin başında gelmektedir (L.A.G. Ries, 2008). Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 76.380 yeni melanom vakası görülmekte ve tahmini 6.750 kişi hayatını kaybetmektedir (L.A.G. Ries, 2008).

Kötü huylu melanomda hayatta kalma şansı, büyük oranda erken tanı ve doğru ve teşhise bağlıdır (Romero Lopez, Giro-I-Nieto, Burdick ve Marques, 2017). Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, erken teşhis ile melanom %98 oranında tedavi edilebilmektedir. Bununla birlikte, günümüzde melanom %65-%80 oranında doğru teşhis edilebilmektedir (Argenziano ve Soyer, 2001). Bu oran güncel bilgisayarlı görü ve makine öğrenmesi yöntemleri ile artırılabilir. Literatürde cilt kanserinin klinik tanısına yardımcı olmak için ABCD kuralı (Stolz, Reimann ve Cognetta, 1994), 7 noktalı kontrol listesi (Argenziano ve diğerleri, 1998) ve Menzies yöntemi (Menzies, Ingvar, Crotty ve McCarthy, 1996) gibi birçok teknik bulunmaktadır. Bu yöntemler içinde en yaygın kabul gören yöntem ABCD kuralıdır. ABCD skorunun tespitinde kritik işlem kitle sınırlarının belirlenmesidir (Stolz ve diğerleri, 1994). Çünkü dermatoskopik cilt lezyonlarında bulunan kıl ve benzeri bölgeler kitlenin görülmesini engellemektedir. Bu nedenle, kitlenin kesin olarak belirlenmesi için, kıl gibi alanların kaldırılması gerekir. Dermatoskopik cilt lezyonlarındaki kitle sınırlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan yöntemler sırasıyla, eşikleme (Garnavi, Aldeen, Celebi, Varigos ve Finch, 2011), bölge genişleme (Erkol, Moss, Stanley, Stoecker ve Hvatum, 2005), kümeleme algoritmaları (Agarwal, Issac, Dutta, Riha ve Uher, 2017), Geodesic Aktif veya Bölge Tabanlı Contour modelleri, GAC (Kasmi, Mokrani, Rader, Cole ve Stoecker, 2016) ve RAC (Chan ve Vese, 2001), İstatistiksel bölge tekniklerini birleştirme (Wong, Scharcanski ve Fieguth, 2011) olarak sıralanabilir. (Garnavi ve diğerleri, 2011) lezyon alanlarını belirlemek için hibrid eşik bazlı sınır saptama yöntemi uygulamıştır. (Erkol ve diğerleri, 2005), gradyan vektör akışı gibi aktif kontur yöntemlerine dayanan bir segmentasyon metodu sunmuşlardır. Daha güncel çalışmalarda (Bi ve diğerleri, 2016), çok ölçekli süper piksellere dayanan otomatik bir hücresel SLS yöntemi önermiştir. (Ahn ve diğerleri, 2017) görsel belirginliğe (saliency) dayalı dermoskopi görüntülerinde arka plan tespiti yaklaşımı ve bir cilt lezyon bölütleme yaklaşımı (Ahn ve diğerleri, 2015) önermiştir. Derin öğrenme mimarisindeki gelişmelere paralel olarak da (Xie ve Bovik, 2013), kendi kendini üreten sinir ağı ve genetik algoritmanın kombinasyonuna dayanan bir yöntem önermişlerdir. (Bi, Kim, Ahn, Feng ve Fulham, 2017) tam evrişimli sinir ağı kullanarak yarı otomatik bir cilt lezyonu bölütlemesi yöntemi önermişlerdir.

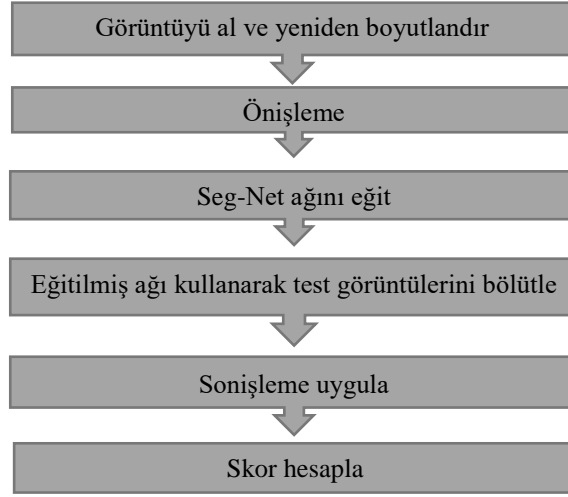
Cilt lezyon segmentasyonu için kullanılan geleneksel yöntemler belirli bir ölçüde başarılı olsalar bile, farklı kontrast değerleri, ve diğer sorunların tamamı ile baş etmekte sıkıntı yaşamaktadırlar. Bu nedenle son yıllarda grafik işlemci birimlerindeki gelişmeler ile derin öğrenme tabanlı yöntemler görüntü segmentasyonunda oldukça yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Peng Tang ve arkadaşları, ayrıştırılabilir evrişimsel bloklardan oluşan bir U-Net modeli önermiştir (Tang ve diğerleri, 2019). Prashant Brahmabhatt vd. ikili cross-entropy yöntemine dayanan bir SegNet modeli önermiştir (Brahmabhatt ve Rajan, 2019).

Bu çalışmada cilt lezyonları üzerinde veri çoklama ve renk tutarlılığı ve kıl silme gibi ön işleme adımlarının bölütleme performansı üzerinde etkileri incelenmiştir. Kıl silme işlemi için DullRazor, renk sabitliği için shades of gray algoritmaları kullanılmıştır. Bu amaçla, öncelikle, RGB görüntü üzerinde hiçbir ön işleme yapılmadan SegNet mimarisi kullanılarak bölütleme başarımları gözlemlenmiştir. Sonrasında, görüntülere yeniden boyutlandırma, kıl silme, ve görüntülerde renk tutarlılığının sağlanabilmesi adına bir dizi ön işleme adımları ve boşluk silme ve küçük alanların silinmesi gibi bir dizi son işleme adımları uygulanmıştır. Sonuçlar ISBI2016 veri kümesi üzerinde farklı bölütleme ölçütleri kullanılarak test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar güncel literatür ile kıyaslanmıştır. Elde edilen sonuçlar veri çoklama ve ön işleme adımlarının bölütleme performansını dikkate değer oranda artırdığını göstermektedir. Ayrıca, veri çoklamanın ezberlemeyi (overfitting) önlediği ve bu nedenle modellerin genelleme yeteneğini artırdığı sonucuna varılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Cilt lezyonları için oluşturulan sınırlı sayıda veri kümesi bulunmaktadır. Ayrıca bu veri setlerinin boyutları genellikle küçük olup bunların bir kısmı halka açık değildir. Cilt lezyon veri setleri olarak yaygın olarak kullanılan PH2, ISBI2016, ISBI2017 veri setleri gösterilebilir. Bu çalışmada ISBI2016 veri kümesi kullanılmıştır. Bu bölümde cilt lezyon bölütlemesi için kullanılan adımlardan bahsedilecektir. Cilt lezyonlarının bölütlenmesi için uygulanan adımlar Şekil 1'de gösterilmiştir.





Şekil 1. Akış Diagramı

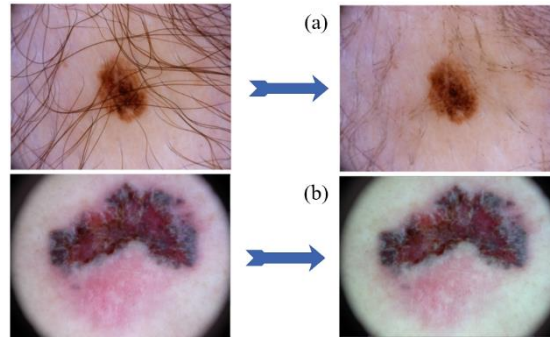
İlk olarak SegNet mimarisi ile bölütleyeceğimiz görüntülerde, derin öğrenme mimarilerinin büyük boyutlu resimleri işlemeleri sırasında yaşanacak işlem hacmindeki aşırı artışı önlemek ve eğitim süresini kısaltmak için, görüntüler 192x256 şeklinde yeniden boyutlandırıldı. Sonrasında, kıl silme ve renk sabitleme (shades of gray) adımları uygulanmıştır. Son olarak boşluk doldurma ve küçük parçacıkların silinmesi adımları uygulanarak lezyonlu bölge belirginleştirilmiştir.



Şekil 2. ISBI 2016 veri kümesine ait (a) Melanom (b) Nevus görüntüleri.

Şekil 2’de iki farklı lezyon görülmektedir. Şekil 2(a)’ da melanom lezyonlar görülmektedir. Şekil 2(b)’ de ise melanom olmayan dermoskopik lezyonlar görülmektedir.

Bu çalışmada kıl silme işlemi için DullRazor yöntemi kullanılmıştır. DullRazor adından da anlaşılacağı üzere, özellikle kalın ve mat kılların silinmesinde oldukça etkili bir yöntem olup yöntemin eksi yanı çok ince kıllarda başarılı olmamasıdır. DullRazor Algoritması genel olarak; kılların konumlarını belirleme, kıl piksellerinin yakınındaki bir alandan saç olmayan piksellerle değiştirilmesi, ve değiştirilen bölgenin yumuşatılması aşamalarından oluşur (Lee, Ng, Gallagher, Coldman ve McLean, 1997).

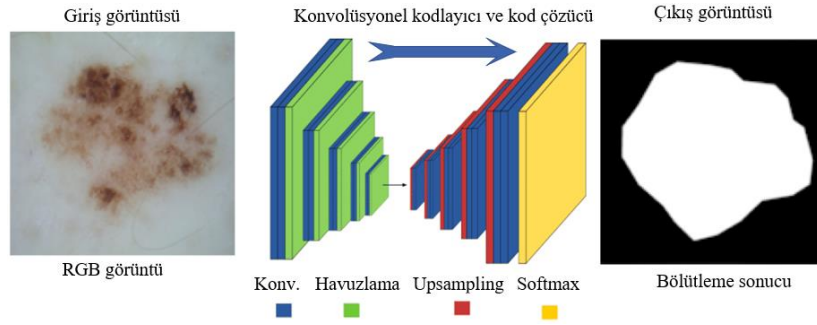


Şekil 3. (a) DullRazor ve (b) Shades of gray algoritmalarının sonuçları

Renk Sabitliği için shades of gray algoritması kullanılmıştır (Barata, Celebi ve Marques, 2015). Amaç, bilinmeyen bir ışık kaynağı kullanılarak edinilen bir görüntünün renklerini, standart bir ışık kaynağı altındaki renklerle aynı görünecek şekilde dönüştürmektir. Bu şekilde daha tutarlı görüntüler elde etmek ve bölütlendirme başarısını arttırmak hedeflenmektedir. Şekil 3(a)’da DullRazor kıl silme Şekil 3(b)’de ise Shades of Gray algoritmasının sonuçları görülmektedir.

SegNet sinir ağı, Cambridge Üniversitesi'nde geliştirilen, anlamsal piksel bilgi etiketleme veya daha genel tabirle anlamsal bölütleme için kullanılan evrişimli bir sinir ağıdır. Anlamsal segmentasyon için kullanılan ağlar RGB görüntüsünü girdi verisi olarak alır ve görüntüdeki n adet nesne için n adet etiket değerlerine sahiptir. Her nesne araba, yol vb. gibi bir etikete karşılık gelmektedir. Belirli bir nesnedeki her piksel, o pikselin o nesneye karşılık gelen etikete ait olup olmamasına bağlı olarak 1 veya 0 olacaktır (Badrinarayanan, Kendall ve Cipolla, 2017).

SegNet, kodlayıcı ve kod çözücü olarak adlandırılan katmanlardan oluşur. Her kodlayıcı, bir adet evrişim bir adet BN(batch normalization-Topluluk Normalizasyonu) ve RELU adımlarını içerir. Kodlayıcı adımlarından çıkan değerler ardından bir maksimum havuzlama katmanında işlenir. Kod çözücüler temel olarak kodlayıcılara benzer. Farkları Doğrusal olmaları ve kodlama aşamasından saklanan endeksleri kullanarak girdilerini örneklendirmeleridir. Son kod çözücülerden alınan çıktı daha sonra bir SoftMax sınıflandırıcısına verilerek bölütleme işlemi gerçekleştirilir. Seg-Net mimarisi Şekil 4'te gösterilmiştir. Çalışmada kodlayıcı derinliği 4 (dört) olarak belirlenmiştir. Ağın öğrenme aşamasında öğrenme algoritması olarak adam optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Bölütleme katmanında çarpaz entropi yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 4. SegNet mimarisi.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde önerilen yöntem, 900 görüntüden oluşan ISBI2016 veri kümesine uygulanarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Eğitim setinde yer alan 900 görüntüden 630'u eğitim 270'i test amaçlı kullanılmıştır. İlk deneyde veri çoklama ve önileme adımları kullanılmadan SegNet mimarisinin performansı değerlendirildi. İkinci adımda eğitim seti üzerinde veri çoklama uygulanarak sonuçlar değerlendirildi. Son adımda ise eğitim seti üzerinde veri çoklama ve tüm görüntüler üzerinde kıl silme ve renk sabitleme önileme adımları uygulanarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

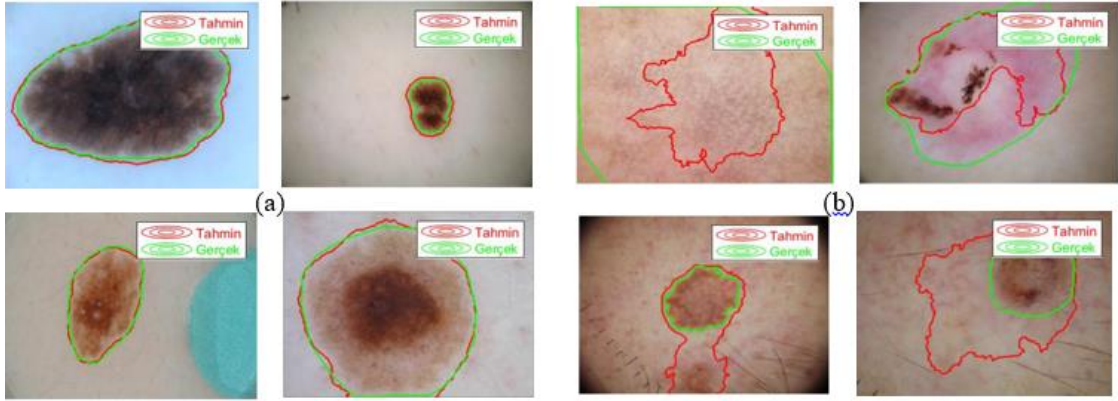
Eğitim örneklerimizden en iyi şekilde yararlanmak ve modelin doğruluğunu artırmak için, veriler bir dizi rasgele dönüşümle çoklanmıştır. Veri çoklama aşamasında resimler  $\pm 10^0$  döndürme, yatay ve dikey ekseninde kaydırma ve aynalama işlemlerine tabi tutuldu. Ayrıca, veri çoklama kullanarak ezberlemeyi (overfitting) önlemek ve bu nedenle modellerin genelleme yeteneğini geliştirmek amaçlandı. Doğru öğrenme, yetersiz öğrenme ve aşırı öğrenme durumları Şekil 5'te gösterilmiştir.

Tablo 1. Bölütleme için performans kriterleri hesaplanması

Doğruluk (Accuracy): $AC = \frac{DP + DN}{DP + YP + DN + YN}$	Hassasiyet (Sensitivity): $SE = \frac{DP}{DP + YN}$
Özgüllük (Specificity): $SP = \frac{DN}{DN + YP}$	Dice katsayısı: $DI = \frac{2 * DP}{2 * DP + YP + YN}$
Jaccard katsayısı: $JA = \frac{DP}{DP + YP + YN}$	

Bölütleme performans değerlendirmesi için Tablo 1'de görülen ölçütler kullanılmıştır. Bu ölçütler piksel seviyesinde hesaplanmıştır. Burada, DP, gerçekte lezyon olan ve lezyon olarak belirlenen piksel sayısını; YN, gerçekte lezyon olan hatalı şekilde lezyon olmayan olarak belirlenen piksel sayısını; YP, gerçekte lezyon olmayan ve hatalı şekilde lezyon olarak belirlenen piksel sayısını; DN, gerçekte lezyon olmayan ve lezyon olmayan olarak belirlenen piksel sayısını ifade etmektedir. Doğruluk, doğru bir şekilde tahmin edilmiş örneklerin toplam örnek sayısına oranıdır. Özgüllük, doğru tahmin edilen negatiflerin toplam negatiflere

oranıdır. Hassasiyet, doğru tahmin edilen pozitiflerin, toplam pozitif tahminlere oranıdır. Diğer iki ölçüt ise gerçek yara bölgesi ile tahmin edilen bölge arasındaki örtüşmeyi ölçen Dice katsayısı ve gerçek yara bölgesi ile tahmin edilen bölgelerin birleşimlerinin kesişimlerini ölçen Jaccard indeksidir.



Şekil 5: (a) Doğru öğrenme, (b) yetersiz veya aşırı öğrenme durumları.

Tablo 2’de elde edilen sonuçların kesinlik, doğruluk, hassasiyet, Dice ve Jaccard skorları verilmiştir. Tablo 2 de bulunan VB, veri çoklama ve OnIs, önışlemeyi ifade etmektedir. Tablo 2’de birinci satır; eğitim görüntüleri üzerinde veri çoklama ve önışleme adımları uygulanmadan sadece eğitim görüntüleri ile eğitilmiş SegNet ağı ile elde edilen başarımlarını, ikinci satır ve üçüncü satırlar sırası ile sadece veri çoklama uygulanmış bir eğitim seti ile eğitilmiş SegNet ağı ile veri çoklama ve önışleme adımları uygulanmış eğitim görüntüleri ile eğitilmiş SegNet ağı ile elde edilen başarımlarını ifade etmektedir.

Tablo 2. ISBI2016 veri kümesi için bölütleme sonuçları

	Doğruluk	Hassasiyet	Dice	Jaccard	Özgüllük
SegNet	0,907	0,846	0,823	0,732	0,911
VB+SegNet	0,930	<b>0,900</b>	0,871	0,792	0,915
VB+OnIs+ SegNet	<b>0,935</b>	0,879	<b>0,884</b>	<b>0,806</b>	<b>0,932</b>

Karşılaştırma için ISBI2016 veri kümesi kullanılmıştır. Yöntemimizin diğer yöntemlerle kıyasla performans sonuçları Tablo 3’te gösterilmiştir.

Tablo 3. ISBI2016 veri kümesinde elde edilen sonuçların literatürle kıyaslanması.

Yöntem	Jaccard	Dice	Hassasiyet	Özgüllük	Doğruluk
MSCA [15]	66.19	75.88	78.30	91.31	85.68
SSLS [23]	57.20	69.97	70.04	97.31	84.67
GC [24]	35.71	50.65	70.50	75.72	71.61
RW [24]	42.81	57.52	72.31	77.07	74.28
Önerilen Y.	<b>80.59</b>	<b>88.43</b>	<b>87.88</b>	<b>93.22</b>	<b>93.46</b>

#### 4. Sonuç

Son zamanlarda, özellikle beyaz ırkta melanom tipi cilt kanserinde dikkate değer oranda artış görülmektedir. Bu nedenle melanom kaynaklı ölümleri en aza indirmek için melanomun erken tanısı oldukça önemlidir. Bu çalışmada cilt lezyonlarının bölütlenmesi için derin SegNet mimarisine dayanan bir sistem geliştirilmiştir. Klasik SegNet mimarisi girişine verilen görüntüleri veri çoklama ve renk tutarlılığı ve kıl silme gibi önışleme adımları uygulanarak ağı bölütleme performansı gözlemlenmiştir. Uygulanan önışleme adımları ve veri çoklama adımlarının dikkate değer oranda artırdığı gözlemlenmiştir. Bununla beraber güncel bir çalışma olan SegNet ağı ile elde edilen sonuçların güncel literatür ile yakın performans gösterdiği görülmüştür. Veri çoklama adımının derin öğrenme mimarisine dayalı SegNet’in bol miktarda veriye duyduğu ihtiyacı gidermeye yardımcı olduğu ve yetersiz öğrenme ve aşırı öğrenme gibi sorunlarla başa çıkmada önemli olduğu sonucuna varılmıştır. Gelecek çalışmalarda kodlayıcı derinliği ve farklı renk kanallarının SegNet ağına bölütleme performansı üzerindeki etkilerinin incelenmesi düşünülmektedir.

## Kaynakça

- Agarwal, A., Issac, A., Dutta, M. K., Riha, K. ve Uher, V. (2017). Automated skin lesion segmentation using k-Means clustering from digital dermoscopic images. 2017 40th International Conference on Telecommunications and Signal Processing, TSP 2017 içinde (C. 2017-January, ss. 743–748). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. doi:10.1109/TSP.2017.8076087
- Ahn, E., Bi, L., Jung, Y. H., Kim, J., Li, C., Fulham, M. ve Feng, D. D. (2015). Automated saliency-based lesion segmentation in dermoscopic images. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBS, 2015-Novem, 3009–3012. doi:10.1109/EMBC.2015.7319025
- Ahn, E., Kim, J., Bi, L., Kumar, A., Li, C., Fulham, M. ve Feng, D. D. (2017). Saliency-Based Lesion Segmentation Via Background Detection in Dermoscopic Images. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 21(6), 1685–1693. doi:10.1109/JBHI.2017.2653179
- Argenziano, G., Fabbrocini, G., Carli, P., De Giorgi, V., Sammarco, E. ve Delfino, M. (1998). Epiluminescence microscopy for the diagnosis of doubtful melanocytic skin lesions: Comparison of the ABCD rule of dermatoscopy and a new 7-point checklist based on pattern analysis. Archives of Dermatology, 134(12), 1563–1570. doi:10.1001/archderm.134.12.1563
- Argenziano, G. ve Soyer, H. P. (2001). Dermoscopy of pigmented skin lesions - a valuable tool for early diagnosis of melanoma. Lancet Oncology, 2(7), 443–449. doi:10.1016/S1470-2045(00)00422-8
- Badrinarayanan, V., Kendall, A. ve Cipolla, R. (2017). SegNet: A Deep Convolutional Encoder-Decoder Architecture for Image Segmentation. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 39(12), 2481–2495. doi:10.1109/TPAMI.2016.2644615
- Barata, C., Celebi, M. E. ve Marques, J. S. (2015). Improving dermoscopy image classification using color constancy. IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, 19(3), 1146–1152. doi:10.1109/JBHI.2014.2336473
- Bi, L., Kim, J., Ahn, E., Feng, D. ve Fulham, M. (2017). Semi-automatic skin lesion segmentation via fully convolutional networks. Proceedings - International Symposium on Biomedical Imaging, 561–564. doi:10.1109/ISBI.2017.7950583
- Bi, L., Kim, J., Ahn, E., Feng, D., Fulham, M., Medicine, N., ... Hospital, A. (2016). Automated Skin Lesion Segmentation via Image-wise Supervised Learning and Multi-Scale Superpixel Based Cellular Automata School of Information Technologies , University of Sydney , Australia Sydney Medical School , University of Sydney , Australia Med-X R, 1059–1062.
- Brahmbhatt, P. ve Rajan, S. N. (2019). Skin Lesion Segmentation using SegNet with Binary Cross- Entropy, 14–15.
- Burg, G. (1993). Das Melanom (Serie Gesundheit) . Piper/VCH.
- Chan, T. F. ve Vese, L. A. (2001). Active contours without edges. IEEE Transactions on Image Processing, 10(2), 266–277. doi:10.1109/83.902291
- Erkol, B., Moss, R. H., Stanley, R. J., Stoecker, W. V ve Hvatum, E. (2005). Images Using Gradient Vector Flow Snakes. Skin Research and Technology, 17–26.
- Garnavi, R., Aldeen, M., Celebi, M. E., Varigos, G. ve Finch, S. (2011). Border detection in dermoscopy images using hybrid thresholding on optimized color channels. Computerized Medical Imaging and Graphics, 35(2), 105–115. doi:10.1016/j.compmedimag.2010.08.001
- Kasmi, R., Mokrani, K., Rader, R. K., Cole, J. G. ve Stoecker, W. V. (2016). Biologically inspired skin lesion segmentation using a geodesic active contour technique. Skin Research and Technology, 22(2), 208–222. doi:10.1111/srt.12252
- L.A.G. Ries, D. M. et al. (2008). SEER Cancer Statistics Review 1975-2005 . Bethesda, MD, National Cancer Institute. 13 Mart 2020 tarihinde [https://seer.cancer.gov/archive/csr/1975\\_2005/](https://seer.cancer.gov/archive/csr/1975_2005/) adresinden erişildi.
- Lee, T., Ng, V., Gallagher, R., Coldman, A. ve McLean, D. (1997). Dullrazor®: A software approach to hair removal from images. Computers in Biology and Medicine, 27(6), 533–543. doi:10.1016/S0010-4825(97)00020-6
- Menzies, S. W., Ingvar, C., Crotty, K. A. ve McCarthy, W. H. (1996). Frequency and morphologic characteristics of invasive melanomas lacking specific surface microscopic features. Archives of Dermatology, 132(10), 1178–1182. doi:10.1001/archderm.132.10.1178
- Romero Lopez, A., Giro-I-Nieto, X., Burdick, J. ve Marques, O. (2017). Skin lesion classification from dermoscopic images using deep learning techniques. Proceedings of the 13th IASTED International Conference on Biomedical Engineering, BioMed 2017, 49–54. doi:10.2316/P.2017.852-053
- Schmid-Saugeon, P., Guillod, J. ve Thiran, J. P. (2003). Towards a computer-aided diagnosis system for pigmented skin lesions. Computerized Medical Imaging and Graphics, 27(1), 65–78. doi:10.1016/S0895-6111(02)00048-4
- Stolz, W., Reimann, A. ve Cagnetta, A. B. (1994). ABCD rule of dermatoscopy: a new practical method for early recognition of malignant melanoma.
- Tang, P., Liang, Q., Yan, X., Xiang, S., Sun, W., Zhang, D. ve Coppola, G. (2019). Efficient skin lesion segmentation using separable-Unet with stochastic weight averaging. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 178, 289–301. doi:10.1016/j.cmpb.2019.07.005
- Wong, A., Scharcanski, J. ve Fieguth, P. (2011). Automatic skin lesion segmentation via iterative stochastic region merging. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, 15(6), 929–936. doi:10.1109/TITB.2011.2157829
- Xie, F. ve Bovik, A. C. (2013). Automatic segmentation of dermoscopy images using self-generating neural networks seeded by genetic algorithm. Pattern Recognition, 46(3), 1012–1019. doi:10.1016/j.patcog.2012.08.012





# Binaların Güçlendirme/Yıkım Kararı Sürecindeki Ekonomik Değerlendirme İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi: Eğitim Yapıları Örneği\*\*

A. Hakan Mutlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığı / Millî Eğitim Bakanlığı / Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5750-3958)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf7)

**ATIF/REFERENCE:** Mutlu, A. H. (2020). Binaların Güçlendirme/Yıkım Kararı Sürecindeki Ekonomik Değerlendirme İçin Yeni Bir Yöntem Önerisi: Eğitim Yapıları Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 46-56.

## Öz

Yürürlükteki yönetmelik hükümleri doğrultusunda deprem güvenliği çalışmaları yapılan bir binanın güçlendirilmesine ya da yıkılmasına karar verilmesi aşamasında her bina için güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranında sabit %40 eşik değerinin kullanıldığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, deprem güvenliği irdelenmiş bir binanın güçlendirilmesi veya yıkılarak yerine yenisinin yapılması hakkında karar verilirken, ilk aşamada, yalnızca sabit %40 değeri yerine binaların yapım yıllarına göre farklı eşik değerler belirlenmiştir. İkinci aşamada ise, güncel standartlar ve yönetmelikler gereği yapılması zorunlu imalatlar da ekonomik değerlendirme hesaplarına dâhil edilmiştir. Bu iki aşama, tüm binalar için geçerli olmaktadır.

İlk iki aşamadan sonra, deprem güvenliği incelemesi tamamlanmış eğitim yapısı için derslik başına düşen öğrenci sayısına göre ek derslik ihtiyacı olup olmadığı, aynı hizmet bölgesinde yeni yapılacak yatırımlar ve diğer karşılaşılabilecek durumlar değerlendirmeye alınmıştır.

Yukarıda aşamaları özetlenen yeni ekonomik değerlendirme yönteminde, Taşınmaz Değerleme Yöntemi tanımlamaları ile Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (Federal Emergency Management Agency – FEMA) tarafından uygulanan %50 Kuralı prensiplerinden yararlanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Güçlendirme, yıkım, deprem güvenliği, ekonomik değerlendirme.

## Proposal of a New Method for Economic Assessment in the Process of Retrofit / Demolition of Buildings: Example of Educational Structures

### Abstract

In accordance with the provisions of the current regulation, it is known that a fixed 40% threshold is used for each building in the ratio of the retrofit cost to the reconstruction cost during the decision to retrofit or demolish a building undergoing earthquake safety studies.

In this study, when it is decided to retrofit or demolish a building which has been examined for earthquake safety, in the first stage, different thresholds are determined according to the construction years of buildings instead of only fixed 40%. In the second stage, the compulsory productions that have to be made in accordance with current standards and regulations are included in the economic evaluation calculations. These two phases apply to all buildings. After these two stages, whether the need for additional classrooms

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.



according to the number of students per classroom for the education structure whose earthquake safety survey was completed, new investments to be made in the same service area and other possible situations were evaluated.

In the new economic evaluation method, the stages of which are summarized above, the Real Estate Appraisal Method definitions and the 50% Rule principles applied by the Federal Emergency Management Agency (FEMA) were utilized.

**Keywords:** Reinforcement, demolition, earthquake safety, economic evaluation.

## 1. Giriş

Temelde değerlendirme (veya değer biçme, kıymet takdiri, değer takdiri); taşınmaz ve taşınır mal, gelir ve haklara bilimsel yöntemlere göre değer belirleme veya tahmini tekniğini öğreten bir bilim dalıdır [1]. Değerleme; taşınmaz ve taşınır mallar, taşınmaz projesi, sınırlı aynı haklar, gayri maddi ve kişisel mülklerin değerleri konusunda sağlıklı yargı veya kanaat oluşturmak için yapılan ve sistematik biçimde tamamlanan tespit, sınıflama, analiz ve yorumlama çalışmalarının bütünü olarak da tanımlanabilir. Gayrimenkul değerlemesi ise; taşınmazın belli bir tarihteki imar durumu, konumu zemin ve inşaat yapısı, elde edilen gelir, ulaşım imkânı, altyapı durumu, parselin şekli (boyutu, genişliği ve eğimi gibi), değerini etkileyen bütün unsurlarının dikkate alınarak kıymetinin para cinsinden ifade edilmesi işi olarak tanımlanmaktadır [2].

Genel olarak değerlendirme uzmanları tarafından incelenen gayrimenkullerin türleri; konut, ticari gayrimenkul, endüstriyel gayrimenkul, tarımsal gayrimenkul ve özel amaçlı gayrimenkul olarak sınıflandırılabilir [3]. Çalışmanın örnek konusu olan eğitim yapıları (okullar), golf alanları ve ibadet alanları ile birlikte “özel amaçlı gayrimenkuller” kapsamında değerlendirilmektedir.

Taşınmaz değerlerini saptamak için pek çok yöntem kullanılsa da temelde üç yöntem vardır. Bunlar: karşılaştırma, gelir ve maliyet yöntemleridir

Değerleme için seçilecek yöntem, değeri saptanacak taşınmazın konumuna ve taşınmaz piyasasının egemen alışkanlıklarına göre belirlenir. Üzerinde yapı bulunan ya da bulunmayan imar parselleri için en açık ve inandırıcı değer saptama, sürüm değerleri yardımı ile olur. Bu nedenle, elde yeter derecede emsal değer bulunduğu karşılaştırma yöntemi en elverişli yöntemdir.

Taşınmazların değeri, yalnızca ileride getirecekleri gelirlere göre saptanabiliyorsa -örneğin kiralık konut ya da iş yerlerinde- sürüm bedellerinin bulunması için gelir yönteminin uygulanması yerinde olur.

Fabrika, iş hamı gibi üzerinde yapı bulunan ve kira gelirleri bilinmeyen taşınmazlar için sürüm değeri, kural olarak maliyet yöntemine göre bulunur [4].

Yukarıda özetlenen yöntemlerden görüleceği üzere eğitim yapısının değerlemesinin yapılabilmesi için maliyet yönteminin uygulanmasının gerektiği anlaşılmaktadır. Bu nedenle, taşınmaz değerlerini belirlemek için kullanılan karşılaştırma ve gelir yöntemleri çalışmanın dışında tutulmuştur.

Maliyet; yeniden üretme maliyeti ve yerine koyma maliyeti olmak üzere kavramsal açıdan iki farklı şekilde düşünülebilir. Yapı ve eklentilerinin maliyet bedellerinin belirlenmesi ile uygun yıpranma oranının seçiminde bu kavramların bilincinde olunmalıdır. Yeniden üretme maliyeti; aynı inşaat malzemeleri, aynı tasarım ve işçilik kalitesi ile orijinal yapının tamamen aynısının üretilmesinde karşılaşılabilecek maliyettir. Yerine koyma maliyetine ise yapının; modern inşaat malzemeleri, tasarım teknikleri ve işçilik kullanılarak yeniden üretilmesinde karşılaşılabılır. Yerine koyma kavramında, artık kullanılmayan modası geçmiş inşaat malzemelerinin, tasarım ve işçilik tekniklerinin kullanılması elimine edilerek fonksiyonel eskimenin birçok şekli ortadan kaldırılmaktadır [4].

Amortisman kavramı, maliyet yöntemi kapsamında, gayrimenkulün maruz kaldığı herhangi bir yıpranma etkisini yansıtmak amacıyla, aynı faydaya sahip bir gayrimenkul oluşturmak için katlanılacak tahmini maliyette yapılan düzeltmeleri ifade eder [5].

Amortismanın hesaplanması “Maliyet Yöntemi” içinde önemli bir yere sahiptir. Amortisman hesabı bazı durumlarda kendi içinde birden çok kaleme ayrılabilir; dolayısıyla, hesaplanması karmaşık olabilmektedir.

Amortismanın kelime anlamı yavaş yavaş öldürmektir. Admortir kelimesinden türemiştir. Mortir ölmek veya öldürmek anlamına gelir. Ad ise önüne geldiği kelimenin anlamını yavaşlatan bir ön ektir. Öz olarak sabit kıymetlerin hizmet süresi içinde yok edilmesi fikri, amortisman fikridir [6].

Vergi Usul Kanunu’na göre; amortisman, bir işletmede bir yıldan fazla kullanılan ve yıpranmaya, aşınmaya veya kıymetten düşmeye konu olan varlıkların yok edilmesidir. Kullanmayı, yıpranmayı, aşınmayı ve değerden düşmeyi telafi edebilmek için her hesap döneminde gayrimenkuller, gayrimenkul gibi değerlendirilen iktisadi kıymetler, alet, edevat, mefruşat, demirbaş ve sinema filmlerinin değerinin bir bölümü amortisman olarak ayrılmakta ve işletmenin kârından düşürülmektedir. Kanuni ölçülere göre her hesap döneminin sonunda ilgili mevcutların değerinin bir kısmı indirilerek gider yazılmakta ve amortisman süresinin sonunda değer tamamen itfa edilmiş olmaktadır [7].

Yapıların değerlendirme günündeki maliyet bedelleri hesaplandıktan sonra yıpranma (amortisman) oranlarının kestirimi gereklidir. Yapıda meydana gelmiş yıpranma, yapının değerlendirme günündeki maliyet değerinden düşüklüğü ifade eder. Yapının değerlendirme günündeki maliyet bedeli ise saptanacak değer üst sınırınıdır.

Amortisman tutarının hesabına dair iki farklı yaklaşım bulunmaktadır. Bunlar; doğrusal amortisman ve gözlemlenen durum yöntemleridir.

Bu çalışmada uygulanan Doğrusal Amortisman Yöntemi, yeniden inşa etme maliyetinin ve binanın kalan ekonomik ömrünün bilindiği, değer düşüşünün her yıl sabit bir yüzdeyle ifade edildiği varsayımlarına dayanır.

Doğrusal amortisman örnekler ülkemizdeki 333, 339 ve 365 sıra No.lu Vergi Usul Kanunu genel tebliğlerinde mevcuttur. 1.1.2004 tarihinden itibaren “amortisman tabi iktisadi kıymetlerin, Maliye Bakanlığı tarafından faydalı ömürleri dikkate alınarak belirlenecek oranlar üzerinden amortisman yolu ile itfa edilmesi uygulaması”na başlanmasından beri Maliye Bakanlığı kendisine verilen yetkiyi kullanarak bugüne dek yayınladığı;

- 333 Sıra No.lu Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği,
- 339 Sıra No.lu Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği,
- 365 Sıra No.lu Vergi Usul Kanunu Genel Tebliği,

eklerindeki listelerde amortisman tabi iktisadi kıymetlerin faydalı ömürleri ile amortisman oranlarını belirlemiştir.

Amortisman tabi iktisadi kıymetler listesinin binalar ile ilgili kısmında yer alan; ticari, sınai, zirai ve mesleki işletmelerin idare binaları ile bunların sağlık ve sosyal hizmetlerinde kullandıkları binalar, ticarethane, muayenehane, yazıhane, banka, sigorta, pansiyon, otel, okul, hamam, banyo binaları, tiyatro ve benzeri eğlence yerleri, depo, ardiye, kapalı spor sahaları binaları, spor sahalarındaki tribünler ve benzeri hizmetlere tahsis olunan sair binalar, ikamete mahsus ev, apartman ve emsali binalar için belirtilen faydalı ömürler ve amortisman oranları aşağıda belirtilmiştir. Buna göre:

- Beton, kâgir, demir, çelik binaların faydalı ömrü 50 yıl olmakla beraber, normal amortisman oranı %2'dir.
- Yarı kâgir, yarı ahşap (Ahşap yapılar üzerine beton ve emsali püskürtmek suretiyle yapılmış binalar dahil.) binaların faydalı ömrü 33 yıl olmakla beraber, normal amortisman oranı %3,03'tür.
- Ahşap, kerpiç binaların faydalı ömrü 20 yıl olmakla beraber, normal amortisman oranı %5'tir.

Bu çalışmada, ayrıca, herhangi bir eğitim yapısının güçlendirilmesi veya yıkılması hakkında karar verilmesi aşamasında oluşturulan yeni yöntemde, Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (Federal Emergency Management Agency – FEMA) tarafından uygulanan %50 Kuralı prensiplerinden yararlanılmıştır.

Amerika Birleşik Devletleri genelindeki yardım çalışmalarını koordine etme sorumluluğu 1979 yılında kanunla verilmiş olan Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (Federal Emergency Management Agency – FEMA) Yönetmeliklerinde afetten zarar görmüş herhangi bir tesisin onarılması veya yenilenmesi için %50 kuralının uygulanması öngörülmüştür.

FEMA tarafından uygulanan ve yönetmeliklerinde geçen %50 Kuralının koşulları ve bu koşullara uygun maliyet seçimleri aşağıda özetlenmiştir:

1. Onarım maliyeti, yenileme maliyetinin %50'sini geçmiyor, aynı zamanda yapıda yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların yapılması gerekmiyorsa, yalnızca oluşan hasar onarılır.

2. Onarım maliyeti, yenileme maliyetinin %50'sini geçmiyor, ancak yapıda yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların yapılması gerekiyorsa ve toplam maliyet yenileme maliyetinin %50'si ile %100'ü arasında kalıyorsa, hasar onarılır ve yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılır.

3. Onarım maliyeti, yenileme maliyetinin %50'sini geçmiyor, ancak yapıda yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların yapılması gerekiyorsa ve toplam maliyet yenileme maliyetinin %100'ünden fazla ise, 2. Maddede belirtilen durum veya yapının yenilenmesi seçilebilir, hangisi seçilirse seçilsin maliyetler yenileme maliyeti ile sınırlı olduğundan uygun maliyet yenileme maliyeti kadar olacaktır.

4. Onarım maliyeti, yenileme maliyetinin %50'sini aşıyorsa, yapı yenilenebilir, başvuru sahibi 2. Maddede belirtilen durumu da seçebilir, bu durumda yenileme veya onarım maliyetlerinden hangisi düşükse, o uygun maliyet olarak belirlenir.

Her kuralda olduğu gibi %50 Kuralında da bazı kısıtlamalar ve kabuller bulunmaktadır.

1. Kuralın uygulanması, tesisin nasıl inşa edildiğine bağlıdır. Örneğin bir okul kampüsünde her bina için ayrı ayrı uygulanır.
2. Kural uygulanırken, yapının her elemanı ayrı tutulmalıdır. Örneğin afetten zarar görmüş bir binada pencereleri ayırmak mümkün değildir ve pencerelerin %51'i tahrip olmuşsa tüm pencerelerin değiştirilmesinin gerekli olduğu sonucuna varılır.
3. Kolayca ayrılabilen birden fazla bileşenden oluşan bir sistem varsa, %50 Kuralının sistemin bütününe değil tek tek bileşenlerine uygulanması daha pratiktir. Örneğin kanalizasyon sisteminin bir bileşeni kuyudan kuyuya kadar olan bir bölümü olabilir.
4. Hesaplamalarda, kesrin payı, afet sonucu oluşan onarım maliyeti ve zarar görmüş bina elemanları için geçerli olan yönetmelik ve standartlar gereği yapılması zorunlu imalatları kapsamaktadır.
5. Hasar görmeyen elemanlar için geçerli olan yönetmelik ve standartlar gereği yapılması zorunlu imalatlar, tasarım güncellemeleri, saha çalışması, proje yönetimi maliyeti ve tehlike azaltma maliyeti kesrin pay kısmında yer alamaz.

6. Kesrin paydası ise yeniden yapım maliyetini içermektedir. Yeniden yapım maliyeti ise yapının afet öncesi duruma getirilmesi esasında mevcut yönetmelik ve standartlara uygun olarak yapıyı değiştirme maliyeti şeklinde tanımlanmaktadır. Mevcut yönetmelik, sismik direnç, mekanik veya elektriksel sistemler gibi yapısal elemanlar veya bir yapının büyüklüğü ile ilgili olabilir. Örneğin mevcut yönetmelik, bir okulda öğrenci başına daha fazla miktarda alan veya herhangi bir köprüdeki yolların daha geniş şeritleri gerektirebilir. Boyutla ilgili bir yönetmeliğin kullanılması, yenilenen yapının mevcut yapı ile aynı kapasiteye sahip olması ile sınırlıdır. Okul öğrenci kapasitesinin artırılması paydaya dâhil edilemez.

7. Ulusal Tarihi Yerler Sicilinde listelenen yapılar için %50 Kuralı uygulanmaz. Mevcut yönetmelik veya standartlar tarihi yapının belirli bir şekilde restore edilmesini gerektiriyorsa ve diğer seçeneklere izin vermiyorsa, restorasyon (yenileme) maliyeti yeniden yapım maliyetini aşabilir [8].

Bu kural, FEMA tarafından, yalnızca, afet sonrası zararları karşılama kapsamında uygulandığı anlaşılmaktadır. Ancak prensipler incelendiğinde, %50 Kuralının, güçlendirme maliyeti / yeniden yapım maliyetinin hesaplandığı afet öncesi çalışmalarına da uyarlanabilir olduğu görülecektir.

Bununla birlikte ülkemizde Zorunlu Deprem Sigortası edindirme, uygulama ve yönetimi faaliyetlerinden sorumlu tüzel kimlikli bir kamu kuruluşu olan Doğal Afet Sigortaları Kurumu (DASK) ise 2000 yılında kurulmuştur. DASK, Zorunlu Deprem Sigortası ile depremin ve deprem sonucu meydana gelen yangın, infilak, tsunami ve yer kaymasının doğrudan neden olacağı maddi zararları, polisede belirtilmiş limitler dâhilinde nakit olarak karşılamaktadır [9].

Enkaz kaldırma masrafları, kâr kaybı, iş durması, kira mahrumiyeti, alternatif ikametgâh ve işyeri masrafları, mali sorumluluklar ve benzeri başkaca ileri sürülebilecek diğer bütün dolaylı zararlar, her türlü taşınır mal, eşya ve benzerleri, tüm bedeni zararlar ve vefat, manevi tazminat talepleri, deprem ve deprem sonucu oluşan yangın, infilak, tsunami veya yer kaymasının dışında kalan hasarlar ve depremden bağımsız olarak, binanın kendi kusurlu yapısı nedeniyle zamanla oluşmuş zararlar teminat kapsamı dışında kalmaktadır.

Her yıl inşaat maliyetlerindeki artışa göre belirlenen teminat tutarı 7 Eylül 2019 tarihinden itibaren tüm yapı tipleri için 215.000.-TL olarak tespit edilmiştir. Azami teminat tutarı tespit edilirken, yıkılan meskenin yeniden inşa edilmesinin maliyeti (arsa değeri hariç) dikkate alınır. Sigortalının teminat tutarı (sigorta bedeli) -azami teminat tutarını geçmemesi koşuluyla- meskenlerinin büyüklüğüne ve yapı tarzına göre belirlenmektedir. Eğer meskenin değeri DASK tarafından verilen azami teminat tutarını aşılırsa, sigortalı isteğe bağlı olarak, aşan kısım için sigorta şirketlerinden ek teminat alınabilir. Bunun için özel sigorta şirketlerinden konut sigortasının olması gereklidir.

DASK kapsamına belediye sınırları içinde kalan meskenler girmektedir.

6305 sayılı Afet Sigortaları Kanunu gereğince, aşağıda tanımlanmış binalar güvence altına alınır:

- Tapuya kayıtlı ve özel mülkiyete tabi taşınmazlar üzerinde mesken olarak inşa edilmiş binalar,
- 634 sayılı Kat Mülkiyeti Kanunu kapsamındaki bağımsız bölümler,
- Bu binaların içinde yer alan ve ticarethane, büro ve benzeri amaçlarla kullanılan bağımsız bölümler,
- Doğal afetler nedeniyle devlet tarafından yaptırılan veya verilen kredi ile yapılan meskenler.

Zorunlu Deprem Sigortası ayrıca yukarıdaki koşullara uyan;

- Kat irtifakı tesis edilmiş binalar,
- Tapuda henüz cins tashihi yapılmamış ve tapu kütüğünde vasfı "arsa vs." olarak görünen binalar,
- Tapu tahsisi henüz yapılmamış kooperatif evleri,

için de geçerlidir.

Zorunlu Deprem Sigortası kapsamı dışında kalan bina türleri ise aşağıda sıralanmıştır:

- 9.11.1983 tarihli ve 2946 sayılı Kamu Konutları Kanununa tâbi olan veya kamu hizmet binası olarak kullanılan binalar ve bağımsız bölümler,
- Köy nüfusuna kayıtlı ve köyde sürekli oturanlarca köy yerleşik alanları ve civarında ve mezralarda yapılan binalar,
- Tamamı ticari veya sınai amaçla kullanılan binalar,
- Projesi bulunmayan ve mühendislik hizmeti görmemiş binalar,
- Taşıyıcı sistemi olumsuz yönde etkileyecek şekilde tadil edildiği veya zayıflatıldığı tespit edilen binalar,
- Taşıyıcı sistemi olumsuz yönde etkileyecek şekilde ilgili mevzuata ve projeye aykırı olarak inşa edilen binalar,
- Yetkili kamu kurumları tarafından yıkılmasına karar verilen binalar ile mesken olarak kullanıma uygun olmayan, bakımsız, harap veya metruk binalar."

Yukarıda da açıklandığı üzere eğitim yapıları kamu hizmet binası statüsünde yer aldığından deprem sigortası kapsamında yer almamaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Mevcut bir binanın yürürlükteki yönetmelik hükümleri çerçevesinde deprem güvenliğinin belirlenmesi aşamasında yapı güvenliği ile ilgili bir görüş ve karar oluşturulması gerekmektedir. Karar aşağıda verilen seçeneklerden biri olabilir:

- Yeterli yapı güvenliği vardır, onarım ve/veya güçlendirmeye gerek yoktur.

- Yapı, kullanım sınırlanarak, hiçbir müdahale yapılmadan kullanılabilir.
- Onarım/güçlendirme ile bina gereken yapı güvenliğine kavuşturulabilir.
- Onarım/güçlendirme ekonomik ve pratik açıdan geçerli bir çözüm değildir, yapının tümü veya bir bölümü yıkılmalıdır [10].

Çalışmanın konusu olan son iki seçenekte belirtilen onarım/güçlendirme veya yıkım kararı için yukarıda tanımı verilen yeniden yapım maliyeti göz önüne alınmaktadır. Hesaplamalarda genellikle hazırlanan güçlendirme projesi kapsamında belirlenen maliyetin söz konusu binanın yeniden yapım maliyetine oranlanması sonucu ortaya çıkan değer 0,40'tan (%40) düşük veya yüksek çıkmasına göre değerlendirme yapılmaktadır [11]. Belirtilen %40 değerinin genel bir teamül olarak kullanıldığı ve güçlendirme ya da yıkım kararını etkileyen diğer faktörlerin neler olabileceği Mutlu A.H. (2015) tarafından yapılan çalışmada açıklanmaktadır.

Arıkan, M. ve arkadaşları (2005) tarafından yapılan çalışmada ise 40 yaşında ve 10 yaşındaki binalar için kritik maliyet oranı sırasıyla % 25 ve % 67 olarak hesaplanmıştır. Yani 40 yaşında bir bina için yeniden yapım maliyetinin % 25'inden fazla güçlendirme harcaması yapılmaması önerilirken, 10 yaşındaki bir bina için de yeniden yapım maliyetinin % 67'sine kadar güçlendirme harcaması yapılabileceği belirtilmiştir [12].

Bu çalışmada ise; teknik açıdan güçlendirilmeye uygun bulunan bina hakkında karar oluşturabilmek için sınırlı bir ekonomik değerlendirme olarak görülen %40'lık teamül değerinin kullanılmasının yerine; yapıya özel, güncel yönetmelik ve standartlar kapsamında değerlendirilebilen -eğitim yapıları için yatırım planlamalarını da kapsayan- yeni bir ekonomik değerlendirme yöntemi oluşturulmuştur.

Yöntem için; Gayrimenkul Değerlemede kullanılan yapının yeniden yapım maliyeti ve yerine koyma maliyeti tanımlarından, Vergi Usul Kanununa göre hesaplanan amortisman (yıpranma) oranlarından ve Federal Acil Durum Yönetimi Ajansı (Federal Emergency Management Agency – FEMA) tarafından uygulanan %50 Kuralı genel prensiplerinden yararlanılmıştır.

Mutlu A.H. (2015) tarafından yapılan çalışmada; güçlendirme veya yıkım kararı için onarım/güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranının bina yaşı ile bağlantı kurularak değerlendirildiği bir yaklaşım ele alınmıştır:

$$C_R \leq 0,80 \cdot C_N [(L_D - L_P) / L_D] \quad (1)$$

Burada:

$C_R$ : Güçlendirme maliyeti, (GM)

$C_N$ : Yeniden yapım maliyeti, (YYM)

$L_D$ : Mevcut yapı için tasarlanan yapı ömrü (YÖ),

$L_P$ : Mevcut yapının yaşı (MYM).

Menşesine ulaşamayan Eşitlik (1)'e göre; ekonomik ömrü 50 yıl olarak kabul edilen ve yarı ömrünü tamamlamış 25 yıllık bir binanın güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranının % 40 olarak hesaplandığı belirlenmiştir. Yine aynı eşitliğe göre; örneğin 10 yaşında bir binanın maliyet oranının % 45 olarak hesaplanması durumunda ekonomik açıdan yıkılmaması gerektiği, 40 yaşında bir binanın ise maliyet oranının % 25 olarak hesaplanması durumunda dahi ekonomik açıdan yıkılabilir olduğu vurgulanmaktadır.

Eşitlik (1)'de  $\{C_N \cdot [(L_D - L_P) / L_D]\}$  ifadesi, binanın yıpranma payı dikkate alınarak hesaplanan yapının güncel değeri (YGD) olarak ortaya çıkacaktır. Çalışmanın geri kalan kısmında simgelerde birliğin sağlanması açısından binanın onarım güçlendirme maliyeti ( $C_R$ ) yerine (GM), binanın yeniden yapım maliyeti ( $C_N$ ) yerine (YYM), mevcut yapı için tasarlanan yapı ömrü ( $L_D$ ) yerine (YÖ) ve mevcut yapının yaşı ( $L_P$ ) ise (MYM) simgesi ile gösterilecektir. Buna göre:

$$YGD = [(YÖ - MYM) / YÖ] \times YYM \quad (2)$$

Burada:

YGD : Yapının güncel değeri,

YYM : Yeniden yapım maliyeti.

Ülkemizde yapım yılı, kullanım amacı, standartlar ve yönetmelikler gereği yapılması zorunlu imalatlarının olup olmadığı dikkate alınmadan uygulanan % 40 teamülü yerine öncelikle yapının yaşına göre yıpranma payı düşülen yapının güncel değeri üzerinden bir oran bulunması gerektiği tartışılmaya değer bulunmaktadır. Bu oran aşağıdaki eşitlikte verilmiştir:

$$AGD = 1 - (YYM - YGD) / YYM \quad (3)$$

Burada:

AGD : Güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranını aşmaması gereken değer,

YYM : Yeniden yapım maliyeti.

YGD : Yapının güncel değeri.

Eşitlik (3)'te hesaplanan "Aşılmaması Gereken Değer (AGD)" mevcut yapının yaşı (MY) ve tasarlanan yapı ömrü (YÖ) değişkenleri kullanılarak hesaplanabilir ya da yapının güncel değerinin yüzdesi olarak alınabilir (Eşitlik 4) ve (Eşitlik 5).

$$AGD = (YÖ - MY) / YÖ \quad (4)$$

$$AGD = YGD / 100 \quad (5)$$

Eşitlik (3,4,5)'te hesaplanan değer, hâlihazırda teamül olarak kullanılan % 40 sabit oran yerine geçecek ve binanın yapım yılına göre değişen eşik değer olacaktır. Buna göre ilk aşamada;

- $(GM / YYM) \leq AGD$  ise yapı güçlendirilebilir,
- $(GM / YYM) > AGD$  ise yapı hakkında yıkım kararı alınabilir şeklinde yorumlanabilmektedir.

FEMA tarafından uygulanan "%50 Kuralı" prensipleri ile benzer biçimde; ilk aşamada güçlendirme kararı çıkan binalar için yöntemin ikinci aşama hesaplamalarına geçilirken, yıkım kararı kesin sonuç niteliği taşımaktadır.

Yeni yöntem önerisinin ilk aşamasında yapılan hesaplamalarda  $(GM / YYM) \leq AGD$  sonucuna ulaşılan binalar için, ikinci aşamada, binanın güncel yönetmelik ve standartlara uygun olmayan, eksik, zorunlu imalatlarının maliyetine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum FEMA tarafından uygulanan %50 Kuralı şartlarının ikinci maddesinde de yer almaktadır. Söz konusu maddede; onarım maliyetinin yenileme maliyetinin %50'sini geçmemesi şartıyla, onarım maliyeti ile yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların maliyetleri (ZİM) toplamının, yeniden yapım maliyetinin %50'si ile %100'ü arasında olması durumunda afet kaynaklı onarımın yapılabilir olduğundan bahsetmektedir. FEMA tarafından konulan bu prensibin oluşturulan yöntemde uyarlanabildiği belirlenmiştir. Örneğin 2 Mayıs 2007 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Enerji Verimliliği Kanunundan önce yapılmış bir eğitim yapısının (veya herhangi bir resmi kurum binasının) kanun hükümleri doğrultusunda eksik imalatlara ihtiyacı olduğu -örneğin uygun dış cephe ısı yalıtımı- karşılaşılan bir durumdur. Diğer yandan binanın yapım tarihinden sonra yürürlükteki kanunlar, yönetmelikler güncellenmiş olabileceğinden yapının -örneğin erişilebilirlik ile ilgili düzenlemelerden dolayı engelli asansörü, engelli rampası, engelli WC gibi- imalatlara ihtiyacı olabilmektedir. Örnek olarak eğitim yapılarını konu alan bu çalışmada FEMA tarafından uygulanan %50 oranı yerine, alt limit olarak, güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranını aşmaması gereken değer (AGD) esas alınmış, üst limit ise %100 olarak aynı kalmıştır. Buna göre;

- $AGD \leq (GM + ZİM) / YYM \leq \% 100$  ise yapı güçlendirilebilir, aynı zamanda yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılabilir,
- $(GM + ZİM) / YYM > \% 100$  ise yapı hakkında yıkım kararı alınabilir şeklinde yorumlanabilir.

Yukarıda açıklanan iki aşama bina türünde olan her yapı için uygulanabilir niteliktedir.

Millî Eğitim Bakanlığı Strateji Geliştirme Başkanlığı'nın 2018-2019 verilerine göre [13], özel okullar ve açık öğretim okulları hariç olmak üzere, ülkemizde 18.108.860 öğrencinin eğitim-öğretim gördüğü, 1.077.307 öğretmenin hizmet verdiği, toplam 706.015 derslik (66.849 okul) bulunmaktadır. Eğitim ortamlarının kalitesinin artırılması, günümüz teknolojisine uygun eğitim yapılarının ihtiyacı, derslik başına düşen öğrenci sayısının düşürülmesi ve her geçen gün artan nüfus nedeniyle Bakanlıkça her yıl binlerce yeni derslik yapımı gerçekleştirilmektedir. Yeni yapılan dersliklerin yanında, ayrıca, deprem güvenliği belirlenen okulların bir kısmının güçlendirilmesi veya bir kısmının da yıkılıp yerine yenisinin yapılması gerekmektedir. Bu aşamada planlamanın doğru ve zamanında yapılması büyük önem arz etmektedir.

Derslik ihtiyacı doğrultusunda yeni okul yapımı ile deprem güvenliği belirlenen okulların güçlendirilmesi veya yıkılıp yerine yenisinin yapılması işlerinin birbirinden bağımsız olarak planlanması mümkün değildir. Her yıl yüzlerce okulun eğitim öğretim hizmetine sunulmasının maddi zorluğunun yanında, ayrıca, özellikle büyük şehirlerdeki arsa problemleri planlamayı daha da zor hale getirmektedir. Bu nedenle, deprem güvenliği belirlenen eğitim yapılarının güçlendirme veya yıkılıp yerine yenisinin yapılması kararının verilmesinde ekonomik değerlendirmenin sadece %40'lık teamül değerinin kullanılarak uygulanmasının yeterli olamayacağı, kararın aynı zamanda eğitim kurumu yatırımları planlanmasının içinde değerlendirilmesinin gerektiği açıktır.

Deprem güvenliği belirlenen bir eğitim yapısının güçlendirilmesi veya yıkılmasına karar verilebilmesi için aşağıdaki soruların yanıtlanması gerekmektedir:

1. Eğitim yapısı teknik açıdan güçlendirilmeye uygun mu?
2. Teknik açıdan güçlendirilmeye uygun yapının yıpranma (amortisman) bedeli düşüldüğünde güncel değeri ne kadardır?
3. Deprem güvenliği belirlenen eğitim yapısının güncel yönetmelik ve standartlara göre yapılması zorunlu imalatlara gereksinimi var mı? (Örneğin; enerji verimliliği kapsamında dış cephe yalıtımı, engelli asansörü ya da rampası, engelli WC, yangın merdiveni vs.)
4. Eğitim yapısının mevcut haliyle ve/veya yakın gelecekte derslik ihtiyacı var mı?
5. Eğitim yapısının bulunduğu arsa yeni ek derslik yapılması için yeterli büyüklükte mi?



6. Eğitim yapısının hizmet alanı içinde yeni yatırım planlaması mevcut mu?

Yukarıdaki soruların yanıtlarının arandığı yalnızca eğitim yapılarının irdelendiği üçüncü aşamada: mevcut okulun derslik ihtiyacı ile aynı hizmet bölgesinde aynı tür -ilkokul, ortaokul, lise, vb.- yatırımların planlanması, güçlendirme veya yıkım kararı ile birlikte değerlendirilmektedir. FEMA tarafından uygulanan %50 Kuralında her ne kadar öğrenci sayısının artması ve benzeri nedenlerle kapasite artırımına gidilmesi hesapların dışında tutulmuşsa da, ülkemizde her yıl derslik ihtiyacının artması ve çağın gereksinimlerine uygun okul binası gereksinimi nedeniyle ek derslik bina maliyetinin de karara etki eden önemli bir parametre olduğu düşünülmektedir.

Yukarıda da belirtildiği üzere güçlendirme veya yeniden yapım karar sürecinin yeni yatırımlarla ilişkilendirilmesi -bir başka söylemle yeni yatırımlarla bütünleşik olması- Millî Eğitim Bakanlığı'nın yatırım ödeneklerinin verimli, etkin ve planlı harcanmasına katkı sağlayacaktır. Bu aşamada, güçlendirme maliyetine, güncel yönetmelik ve standartlara uygun olmayan eksik zorunlu imalatların maliyeti ile birlikte genel tabiri ile ek derslik maliyeti (EDM) eklenmiştir.

Derslik başına düşen öğrenci sayısını azaltmak ya da artan öğrenci sayısı ile birlikte derslik ihtiyacını karşılamak amacıyla, mevcut okulun bahçesine Ek Derslik Binası yapılmaktadır. Bina yapımının mümkün olmadığı durumlarda da aynı hizmet bölgesinde yeni bir arsaya ek derslik ihtiyacının da karşılandığı yeni bir okul yatırımı planlanmaktadır. Ancak, mevcut okul bahçesinde ek derslik binası için yeterli alanın bulunmaması ve/veya -özellikle büyükşehirlerde- yeni yatırım planlaması için gereken arsanın temin edilememesi ya da yüksek kamulaştırma bedelleri ödenmesi zorunda kalınması durumunda ise konunun farklı değerlendirilmesi gerekmektedir.

Mevcut bir okulun bahçesine ek derslik binası yapılması yerine, mevcut binanın yıkılarak, ek derslik ihtiyacının da karşılandığı, güncel standartlar ve yönetmeliklere uygun yeni bir okul binası yapılması gerekebilir. Ancak, sadece güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranı %40'ı geçmediği için bunu uygulamak zorlaşmaktadır. Burada amaç, güçlendirilebilen binayı yıkarak yerine yenisinin yapılmasını kolaylaştırmak değildir ve olmamalıdır. Asıl amaç, güncel deprem yönetmeliği şartlarını taşımayan - teknik olarak güçlendirilebilen- bir binanın depreme karşı güvenli hale getirilmesi için yüzeysel olarak yapılan ekonomik değerlendirmenin daha geniş kapsama kavuşturulmasının sağlanmasıdır.

Bu aşamada, yukarıda tanımı verilen Yerine Koyma Maliyetinin (YKM); güçlendirme maliyeti, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların maliyeti ve ek derslik maliyetinin toplamı ile karşılaştırılması gerekmektedir:

•  $(GM + ZİM + EDM) / YKM \leq \%100$  ise mevcut binanın güçlendirilmesi, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatların yapılması ve arsa büyüklüğü uygunsa derslik ihtiyacı kadar ek derslik yapılması daha uygun olacaktır. Mevcut binanın bulunduğu arsa büyüklüğü ek derslik yapımına uygun değilse aynı hizmet bölgesinde yeni yatırım planlanması gerekecektir.

•  $(GM + ZİM + EDM) / YKM > \%100$  ise eğitim yapısının yıkılıp yerine yenisinin yapılması daha uygun olacaktır. Ancak bu durum tek başına değerlendirilmemelidir. Deprem güvenliği belirlenen eğitim yapısı ile aynı hizmet bölgesinde mevcut veya kısa vadede planlanacak yeni yatırımlarla birlikte incelenmeli, tüm maliyetler hesaplandıktan sonra kesin karara ulaşılmalıdır. Aşağıda olası maliyet seçenekleri gösterilmiştir.

1. Mevcut okul güçlendirilebilir, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılabilir, ihtiyaç varsa ek derslik binası inşa edilebilir ve aynı hizmet bölgesinde aynı türde yeni okul binası ( $YO_1$ ) yapılabilir. Bu durumda toplam maliyet ( $\Sigma M_1$ );

$$\Sigma M_1 = GM + ZİM + EDM + YO_1M \text{ olacaktır.}$$

2. Mevcut okul güçlendirilebilir, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılabilir, aynı hizmet bölgesinde aynı türde yeni okul mevcut okul binası için ihtiyaç duyulan ek derslik sayısı eklenerek yeni okul binası ( $YO_2$ ) yapılabilir. Bu durumda toplam maliyet ( $\Sigma M_2$ );

$$\Sigma M_2 = GM + ZİM + YO_2M \text{ olacaktır.}$$

3. Mevcut okul yıkılabilir, ek derslik ihtiyacının da karşılandığı yeni okul (yerine koyma maliyeti  $YKM_1$ ) yapılabilir, aynı hizmet bölgesinde aynı türde yeni okul binası ( $YO_1$ ) inşa edilebilir. Bu durumda toplam maliyet ( $\Sigma M_3$ );

$$\Sigma M_3 = YKM_1 + YO_1M \text{ olacaktır.}$$

4. Mevcut okul yıkılabilir, mevcut arsa ile yeni yatırım alınacak arsalarından hangisi uygun ise onun üzerine tüm ihtiyacı karşılayacak tek bir okul ( $YKM_2$ ) yapılabilir. Bu durumda toplam maliyet ( $\Sigma M_4$ );

$$\Sigma M_4 = YKM_2 \text{ olacaktır.}$$

Yalnızca maliyet değerlendirmesine ihtiyaç duyulduğunda, yukarıda belirlenen toplam maliyetler karşılaştırılarak mevcut okul binası ve yeni yatırımla ilgili uygun karar alınabilecektir.

Bu çalışmada, oluşabilecek tüm olasılıklar örneklendirilmemiş, uygulanması önerilen yeni yöntemin prensipleri vurgulanmıştır. Örneğin deprem güvenliği belirlenen birden fazla okul binasının aynı hizmet bölgesinde planlanan bir veya daha fazla yatırımla birlikte değerlendirilmesi gerektiğinde yöntemin prensiplerinin karara yol göstereceği düşünülmüştür.

Bu yöntemde eğitim yapısının bulunduğu arsalar, genellikle Hazine arazileri olarak kabul edilerek arsa değeri matematiksel hesaplamalara dâhil edilmemiştir. Ancak, mevcut eğitim yapısının güçlendirilmesi yerine yıkılarak -ihtiyaç varsa- yerine derslik sayısı artırılmış yeni bir eğitim yapısı inşa edilmesi durumunda, aynı hizmet bölgesindeki bir arsaya aynı türde yeni bir okul yapımından

vazgeçilebilecek ya da farklı türde bir okul ihtiyacı karşılanabilecek olduğundan kamuya ait olan Hazine arazileri de bu yöntem sayesinde etkin, verimli ve ihtiyaca yönelik olarak kullanılmış olacaktır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu bölümde, deprem güvenliği belirlendiği varsayılan dört okul binası örnek olarak alınacak ve yukarıda detayları açıklanan yeni yöntem önerisine göre irdelenecek ve sonuçları tartışmaya sunulacaktır.

Yeni önerilen yöntemin prensiplerinin örneklendirilmesi amaçlandığından maddi değerler yerine birim değerlerden ve oranlardan yararlanılmıştır.

24.08.2016 tarihinde Millî Eğitim Bakanlığı İnşaat ve Emlak Dairesi Başkanlığının sitesinde yayınlanan “Bakanlığımıza Ait Yeni Projeler” [14] başlıklı bölümdeki 8, 12, 16, 24 ve 32 derslikli lise projelerinin: proje numaraları, derslik sayıları, öğrenci kapasiteleri ve toplam inşaat alanları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. MEB Lise Tip Projeleri (2014 yılında yayınlanan)

Proje Numarası	Derslik Sayısı	Öğrenci Kapasitesi	Toplam İnşaat Alanı (m <sup>2</sup> )
MEB.2014.08.Lİ	8	240	3.544
MEB.2014.12.Lİ	12	360	3.901
MEB.2014.16.Lİ	16	480	5.372
MEB.2014.24.Lİ	24	720	6.059
MEB.2014.32.Lİ	32	960	7.759

Bakanlık tarafından ihtiyaç programlarına göre hazırlanan/hazırlatılan tip projelerin -kullanılan malzemeler, yapım yöntemleri ve inşaat kaliteleri aynı olması kabulü ile toplam inşaat alanları aynı birim maliyetle çarpılacağından- toplam inşaat alanları esas alınarak birbirlerine göre yaklaşık olarak hesaplanan maliyet oranları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Toplam inşaat alanlarına göre maliyet oranları

Derslik Sayısı	8 Derslik	12 Derslik	16 Derslik	24 Derslik	32 Derslik
8 Derslik	1,00	0,91	0,66	0,58	0,46
12 Derslik	1,10	1,00	0,73	0,64	0,50
16 Derslik	1,52	1,38	1,00	0,89	0,69
24 Derslik	1,71	1,55	1,13	1,00	0,78
32 Derslik	2,19	1,99	1,44	1,28	1,28

Tablo 2’den de görüleceği üzere; örneğin 24 derslikli bir okulun yapım maliyeti 100 birim kabul edildiğinde, 32 derslikli bir okul yapımı 128 birim maliyete, 12 derslikli okul yapımı ise 64 birim maliyete eşit olacaktır.

Tablo 3. Örnek Olarak Seçilen Okullar Hakkında %40 Teamülüne Göre Son Karar Tablosu

Okulun Özellikleri	A	B	C	D
Okul Türü	Lise	Lise	Lise	Lise
Derslik Sayısı	16	16	16	16
Öğrenci Kapasitesi	480	480	480	480
Toplam İnşaat Alanı (m <sup>2</sup> )	5.372	5.372	5.372	5.372
Güçlendirme Maliyeti (birim)	41	48	38	27
Yeniden Yapım Maliyeti (YYM)	100	100	100	100
Güçlendirme Maliyeti / Yeniden Yapım Maliyeti	%41	%48	%38	%27
<b>SON KARAR</b>	*	*	**	**

\* Binanın yıkımına karar verilebilir.

\*\* Binanın güçlendirilmesine karar verilebilir.

Tablo 3’te: okul türü, derslik sayısı, öğrenci kapasitesi, toplam inşaat alanı ve yıkılması durumunda yeniden yapım maliyeti aynı olan, ancak güçlendirme maliyetlerinin yeniden yapım maliyetine oranları sırasıyla %41, %48, %38 ve %27 olarak belirlenen A, B, C ve D okulları görülmektedir.

Teamül olarak kullanılan -her bina için sabit- %40 eşik değerine göre; A ve B okulların yıkılması, C ve D okullarının ise güçlendirilmesine karar verilmesi gerekmektedir.

Tablo 4. Örnek Olarak Seçilen Okullar Hakkında Yeni Yöntem Önerisine Göre İlk Aşama Karar Tablosu

Okulun Özellikleri	A	B	C	D
Bina Yaşı	20	25	33	38
Mevcut Yapı İçin Tasarlanan Yapı Ömrü (YÖ)	50	50	50	50
Güçlendirme Maliyeti (GM) (birim)	41	48	38	27
Yeniden Yapım Maliyeti (YYM) (birim)	100	100	100	100
Yapının Güncel Değeri (YGD) (birim)	60	50	34	24
Güçlendirme Maliyetinin Yeniden Yapım Maliyetine Oranında Aşılmaması Gereken Değer (AGD)	0,60 (%60)	0,50 (%50)	0,34 (%34)	0,24 (%24)
Güçlendirme Maliyeti / Yeniden Yapım Maliyeti	%41	%48	%38	%27
<b>İLK AŞAMA KARAR</b>	<b>**</b>	<b>**</b>	<b>*</b>	<b>*</b>

\* Binanın yıkımına karar verilebilir.

\*\* Binanın güçlendirilmesine karar verilebilir.

Tablo 4'te ise yeni yöntem önerisine göre, sırasıyla 20, 25, 33 ve 38 yaşındaki binalar için, "ilk aşamada" A ve B okullarının güçlendirilmesi, C ve D okullarının ise yıkılmasına karar verilmesi gerektiği görülmektedir.

Güçlendirme maliyetinin yeniden yapım maliyetine oranı sırasıyla %41 ve %48 olarak hesaplanan 20 ve 25 yaşlarındaki A ve B okul binalarının %40 teamül değerinin üzerinde olmasına karşın yeni yöntemin ilk aşama kararına göre güçlendirilmesi gerektiği, maliyet oranları %38 ve %27 olarak hesaplanan 33 ve 38 yaşlarındaki C ve D okul binalarının %40 teamül değerinin altında olmasına karşın yeni yöntemle göre yıkılması gerektiği kararına ulaşılmaması bu durum için çarpıcı bir örnek oluşturmaktadır.

Yukarıda da belirtildiği üzere ilk aşamada yıkım kararı verilen C ve D okulları için ikinci aşama hesaplamaları yapılmayacak, A ve B okulları ile diğer aşamalara devam edilecektir.

Tablo 5. Örnek Olarak Seçilen Okullar Hakkında Yeni Yöntem Önerisine Göre İkinci Aşama Karar Tablosu

Okulun Özellikleri	A	B
Güçlendirme Maliyeti (GM) (birim)	41	48
Toplam Zorunlu İmalat Maliyeti (ZİM) (birim)	30	40
GM + ZİM	71	88
Yeniden Yapım Maliyeti (YYM) (birim)	100	100
(GM + ZİM) / YYM	%71	%88
<b>İKİNCİ AŞAMA KARAR</b>	<b>***</b>	<b>***</b>

\*\*\* Bina güçlendirilebilir, aynı zamanda yönetmelik ve standartlar gereği yapılması gereken zorunlu imalatlar yapılabilir.

Tablo 5'te yönetmelik ve standartlar gereği toplam zorunlu imalat maliyetleri sırasıyla 30 ve 40 birim olan A ve B okulları gösterilmektedir. Her iki okul için; güçlendirme maliyeti ile zorunlu imalat maliyeti toplamının yeniden yapım maliyetine oranı %71 ve %88 hesaplanmıştır. Söz konusu oranlar, kuralda geçen %100'den küçük olduğu için A ve B okullarının güçlendirilmelerinin ve zorunlu imalatların yapımının ikinci aşama için onaylanabilir sonucunu ortaya çıkarmaktadır.

Tablo 6. Örnek Olarak Seçilen Okullar Hakkında Yeni Yöntem Önerisine Göre Üçüncü Aşama Karar Tablosu

Okulun Özellikleri	A	B
Derslik Sayısı	16	16
Öğrenci Kapasitesi	480	480
Mevcut/Yakın Gelecekteki Öğrenci Sayısı	718	450
Derslik İhtiyacı	8	Yok
Ek Derslik Maliyeti (EDM)	66	0
Güçlendirme Maliyeti (GM) (birim)	41	48
Toplam Zorunlu İmalat Maliyeti (ZİM) (birim)	30	40
GM + ZİM + EDM	137	88
(GM + ZİM) / YYM	%71	%88
Ek Derslik İhtiyacının Karşılandığı Yeni Okul Yapımı (Yerine Koyma Maliyeti (YKM))	113	88
(GM + ZİM + EDM) / YKM	<b>%121</b>	<b>---</b>
<b>ÜÇÜNCÜ AŞAMA KARAR</b>	<b>****</b>	<b>***</b>

\*\*\*\* Bina hakkında karar verilebilmesi için aynı hizmet bölgesindeki yeni yatırımlar incelenmeli.

İkinci aşama sonucunda güçlendirilmesine ve yönetmelik/standartlar gereği zorunlu imalatların yapılmasına karar verilen A ve B okullarının ek derslik ihtiyacının incelendiği üçüncü aşama Tablo 6'da gösterilmiştir. B okulunun 480 öğrencilik (30 öğrenci x 16) kapasitesi mevcut/yakın gelecekteki öğrenci sayısı (450) için yeterli olduğundan ek derslik binasına ihtiyacı olmadığına karar verilmiştir.

A okulunda ise kapasitesine göre öğrenci sayısının (718) fazla olmasından dolayı 8 ek derslikli bir ek binaya ihtiyacı olduğu açıktır. Toplam inşaat alanı 3.544 m<sup>2</sup> olan 8 derslikli bir okulun yapımı Tablo 2'deki maliyet oranlarına göre 66 birim olacaktır. 16

derslikli A okulunun yıkılarak ek derslik ihtiyacının da karşılandığı 24 derslikli yeni bir okul 113 birim maliyete (YKM) yapılacaktır. A okulunun güçlendirme maliyeti, zorunlu imalatların maliyeti ve ek derslik binasının maliyeti 24 derslikli yeni okul yapım maliyetine oranlandığında % 121 olarak hesaplanmıştır. Bu durumda A okulunun da yıkılarak yeni bir okul yapılmasının uygun olacağı düşünülmektedir. Ancak, yıkım için kesin karar alınmadan önce aynı hizmet bölgesinde yeni bir eğitim yatırım planı olup olmadığı incelenmelidir.

Örneğin aynı hizmet bölgesinde yakın gelecekte nüfus artışı, göç vb. nedenlerle 24 derslikli E Okulu planlaması olduğunu varsayalım. Tablo 2'ye göre: 16 derslikli okul maliyeti 100 birim kabul edildiğinde, 24 derslikli okul maliyeti 113 birim, 32 derslikli okul maliyeti ise 144 birim olacaktır. Yukarıda oluşabilecek olası toplam maliyet seçenekleri verilmişti. Buna göre:

1. A Okulu güçlendirilebilir, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılabilir, 8 derslikli ek bina inşa edilebilir ve aynı hizmet bölgesinde 24 derslikli yeni okul binası (YO<sub>1</sub> – 113 birim maliyet) yapılabilir. Bu durumda toplam maliyet (ΣM<sub>1</sub>);

$$\Sigma M_1 = GM + ZİM + EDM + YO_1M$$

$$\Sigma M_1 = 41 + 30 + 66 + 113$$

$$\Sigma M_1 = 250 \text{ birim maliyet olacaktır.}$$

2. A Okulu güçlendirilebilir, yönetmelik ve standartlarda belirtilen zorunlu imalatlar yapılabilir, aynı hizmet bölgesinde yapılması planlanan 24 derslikli okul binası için ihtiyaç duyulan ek derslik sayısı eklenerek yeni okul binası (32 derslik) (YO<sub>2</sub>-144 birim maliyet) yapılabilir. Bu durumda toplam maliyet (ΣM<sub>2</sub>);

$$\Sigma M_2 = GM + ZİM + YO_2M$$

$$\Sigma M_2 = 41 + 30 + 144$$

$$\Sigma M_2 = 215 \text{ birim maliyet olacaktır.}$$

3. A Okulu yıkılabilir, ek derslik ihtiyacının da karşılandığı 24 derslikli yeni okul (yerine koyma maliyeti YKM<sub>1</sub>) yapılabilir, aynı hizmet bölgesinde planlanan 24 derslikli yeni okul binası (YO<sub>1</sub>) inşa edilebilir. Bu durumda toplam maliyet (ΣM<sub>3</sub>);

$$\Sigma M_3 = YKM_1 + YO_1M$$

$$\Sigma M_3 = 113 + 113$$

$$\Sigma M_3 = 226 \text{ birim maliyet olacaktır.}$$

4. A Okulu yıkılabilir, A Okulunun bulunduğu arsa ile yeni yatırım planlanan arsalarından hangisi uygun ise onun üzerine tüm ihtiyacı karşılayacak tek bir okul (48 derslikli) (YKM<sub>2</sub>) yapılabilir. (Millî Eğitim Bakanlığı'nın tip proje listelerinde 48 derslikli okul bulunmadığından iki adet 24 derslikli okul maliyeti alınmıştır. Ayrıca, bodrum + zemin + 3 normal kattan fazla okul yapımının özellikle öğrenci güvenliği açısından uygun olmamasından dolayı 48 derslikli bir okul yapımı geniş araziler gerektirdiğinden, özellikle arsa temininin zor olduğu büyükşehirlerde, bu olasılığın uygulanması mümkün görülememektedir.) Bu durumda toplam maliyet (ΣM<sub>4</sub>);

$$\Sigma M_4 = YKM_2$$

$$\Sigma M_4 = 226 \text{ birim maliyet olacaktır.}$$

Yukarıda yapılan hesaplamalar doğrultusunda A Okulu için, ikinci olasılıkta toplam maliyeti 215 birim olarak hesaplanan en düşük maliyetli koşulların yerine getirilebileceğine karar verilebilir.

Yeni yöntem önerisine göre yapılan incelemeler tümüyle ekonomik değerlendirme niteliği taşımaktadır. Karar vericilerin yukarıda detayları verilen ve örneklendirilen ekonomik değerlendirme sonuçları dışında Mutlu A.H. (2015) tarafından yapılan çalışmada belirtilen diğer etkenleri de dikkate alması gerekmektedir.

Bu çalışmada, güçlendirme/yıkım karar sürecindeki her bina için sınırlı ve bazı durumlarda hatalı bir ekonomik değerlendirme aracı olarak görülen %40'lık teamül değerinin yerine; yapının yaşı ile bağlantılı yıpranma payına göre belirlenen ekonomik değerini göz önüne alan, güncel yönetmelik ve standartlar kapsamında yapılması gereken zorunlu imalatları da değerlendirilebilen yeni bir yöntem oluşturulmuştur. Yeni yöntemin ilk iki aşamasının bina türündeki tüm yapılara uygulanabilir olması yöntemin kapsamını genişletmektedir. Ayrıca, yeni ekonomik değerlendirme yönteminin, çalışmada örnek olarak seçilen eğitim yapılarının yanında taşınmaz değerlendirme kapsamındaki diğer özel veya kamu kurumu binaları için uygulamaya açık olması tartışılmaya değer bulunmaktadır.

## 4. Sonuç

Yeryüzünün en yüksek deprem riskine sahip bölgelerinden birinde olan ülkemizde, telafisi maalesef mümkün olmayan can kayıplarının yanında, önlenebilir maddi kayıpların yaşandığı çok sayıda depremin meydana geldiği bilinmektedir. Bu nedenle deprem sonrası oluşabilecek can ve mal kayıplarının azaltılması için yapılan mevcut binaların güçlendirilmesi veya yıkılarak yerine yenisinin yapılması büyük önem taşımaktadır.

Deprem güvenliği belirlenmiş bir binanın güçlendirilmesine veya yıkılmasına karar verirken yapılan ekonomik değerlendirme de deprem öncesi yaşanabilecek maddi kayıpları azaltmak açısından önemli görülmektedir.

Bu çalışmada ortaya konan yeni ekonomik değerlendirme yöntemiyle, deprem güvenliği belirlenmiş ve teknik açıdan güçlendirilmesinde sakınca görülmeyen herhangi bir yapının güçlendirilmesi ya da yıkılması hakkındaki ekonomik karar sürecine yeni bir bakış açısı getirilmeye çalışılmıştır.

Oluşturulan yeni yöntemin getirdiği avantajlar aşağıda sıralanmıştır.

- Sınırlı ve hatalı ekonomik değerlendirmeye neden olan her yaştaki bina için sabit %40 eşik değeri yerine, binanın güncel değeri üzerinden ekonomik değerlendirme yapılmıştır. Örnekte de görüldüğü üzere geleneksel yöntemle göre yıkım ve güçlendirme kararı çıkan okullar yeni yöntemle değerlendirildiğinde tam tersi sonuçlarla karşılaşmıştır.

- Güncel yönetmelik ve standartlar gereği yapılması gereken imalatlar göz önüne alınmadan %40 teamül değeri kullanılarak güçlendirilmesine karar verilen bir binada sonradan ekstra maliyetle karşılaşma riski bu yöntemle birlikte ortadan kalkmış olacaktır.

- Yöntemin ilk iki aşaması bina türü tüm yapılar için geçerli olduğundan yöntemin uygulanabilirlik kapsamı genişlemiştir.

- Yöntemin, çalışmada örnek olarak seçilen eğitim yapılarının yanında taşınmaz değerlendirme yapılabilen diğer özel veya kamu kurumu binaları için de geliştirilebilir olduğu belirlenmiştir.

- Yöntemde karmaşık matematiksel işlemler olmadığından ekonomik değerlendirmeye eklenmek istenen arsa değeri, kamulaştırma bedeli yıkım maliyeti gibi diğer bedellerin hesaplamaya dâhil edilmesi kolay olacaktır.

- Resmi verilere göre binlerce okul binası bulunan ve her geçen yıl buna yenileri eklenen eğitim yapıları yatırım planlarının da yeni yöntem kapsamında değerlendirilmesi, güçlendirme ve yıkım kararları ile eşgüdümlü olarak irdelenmesi, yatırım ödeneklerinin daha etkin, verimli ve ihtiyaca dönük kullanılmasını sağlayacaktır.

## Kaynakça

- [1] Z.G.Mülayim, Tarımsal Değer Biçme ve Bilirkişilik, Yetkin Yayınları, 2001, Ankara, s.5-12.
- [2] H. Tanrıvermiş, Gayrimenkul Değerleme Esasları, Ders Kodu: 1014, Ankara, 2017.
- [3] A. Üreten, Gayrimenkul Değerleme Yöntemleri ve Gayrimenkul Yatırım Ortaklıklarında Değer Tespiti, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2007, Ankara, s.25-26.
- [4] A. Açlar ve V. Çağdaş, Taşınmaz (Gayrimenkul) Değerlemesi, İkinci Baskı, Ankara, Nisan 2008.
- [5] Uluslararası Değerleme Standartları Konseyi, Uluslararası Değerleme Standartları, IVSC, 2017: UDS 105 Değerleme Yaklaşımları ve Yöntemleri 80.1.
- [6] E. S. Ünal vd., Genel Muhasebe, TDK Basımevi, Ankara, 1988.
- [7] 213 Sayılı Vergi Usul Kanunu.
- [8] FEMA, 9524.4 Repair vs. Replacement of a Facility Under 44 CFR §206.226(f) (The 50% Rule), 2009.
- [9] <http://www.dask.gov.tr>
- [10] Tankut, T., Ersoy, E., Özcebe, G. ve Canbay, E., Betonarme Yapıların Onarımı ve Güçlendirilmesi İçin Kullanılan Yöntemler (Kitapta Bölüm), Bizim Büro Basımevi, Ankara, 2008.
- [11] A. H. Mutlu, Mevcut Yapıların Güçlendirilmesi ya da Yıkılmasına Karar Verilmesi Aşamasında Göz Önüne Alınması Gereken Kriterler, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, 2015.
- [12] M. Arıkan, H. Sucuoğlu, ve G. Macit, Economic assesment of these is mic-retrofitting of low-cost apartment buildings, Journal of Earthquake Engineering 9:4, 577-584, 2005.
- [13] <http://sgb.meb.gov.tr/www/resmi-istatistikler/icerik/64>
- [14] <http://iedb.meb.gov.tr/www/bakanligimiza-ait-yeni-projeler/icerik/331>





# Spelling Correction with the Dictionary Method for the Turkish Language Using Word Embeddings\*

Murat Aydoğan<sup>1\*\*</sup>, Ali Karcı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Bingol University, Genc Vocational School, Department of Computer Technologies, Bingol, Turkey (ORCID: 0000-0002-6876-6454)

<sup>2</sup> Inonu University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, Malatya, Turkey (ORCID: 0000-0002-8489-8617)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf8)

**ATIF/REFERENCE:** Aydoğan, M. & Karcı, A. (2020). Spelling Correction with the Dictionary Method for the Turkish Language Using Word Embeddings. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 57-63.

## Abstract

Today, a massive amount of data is being produced, which is referred to as “big data.” A significant part of big data is composed of text data, which has made text processing all the more important. However, when text processing studies are examined, it can be seen that while there are many world language-oriented studies, especially the English language, there has been an insufficient level of studies published specific to the Turkish language. Therefore, Turkish was chosen as the target language for the study. A Turkish corpus of approximately 10.5 billion words was created, consisting of unlabeled data containing no spelling errors. Word vectors were trained using the Word2Vec method on this corpus. Based on this corpus, a new method was proposed called the “dictionary method,” with a dictionary created covering almost all known Turkish words. Then, text classification was applied to a multi-class Turkish dataset. This dataset contains 10 classes and approximately 1.5 million samples. Vector values of the token words in this dataset were transferred from the dictionary by transfer learning. However, words not found in the created dictionary were considered as incorrect; then, using LSTM (Long Short-Term Memory), which is a deep neural network (DNN) architecture, the proposed method attempts to predict correct or similar words as replacement words. Following this process, it was seen that the accuracy rate improved by 8.68%. Turkish dataset that is created, corpus and dictionary will be shared with researchers in order to contribute to Turkish text processing studies.

**Keywords:** Word Embedding, Turkish Text Processing, LSTM, Dictionary Method

## Kelime Gömmelerini Kullanarak Türkçe Dili İçin Sözlük Metodu ile Yazım Düzeltme

### Öz

Günümüzde oldukça büyük miktarda veri üretilmektedir. Üretilen bu büyük verinin çok önemli bir kısmı ise text verilerinden oluşmaktadır. Bu durum, text processing çalışmalarının daha da önem kazanmasını sağlamıştır. Ancak yapılan çalışmalar incelendiğinde başta İngilizce olmak üzere birçok dünya dili odaklı çalışmalar yapılırken Türkçe diline özgü çalışmaların yeterli sayıda olmadığı görülmüştür. Bu nedenle bu çalışmada hedef dil olarak Türkçe seçilmiştir. Etiketsiz verilerden oluşan ve yazım yanlışları bulunmayan yaklaşık 10.5 milyar kelimededen oluşan etiketsiz ve büyük Türkçe bir derlem üretilmiştir. Word2Vec metodu kullanılarak bu derlem üzerinde kelime vektörleri eğitilmiştir. Bu derlemi temel alarak “Sözlük Metodu” adı verilen yeni bir yöntem önerilmiştir, üretilen derlem içindeki kelimeler ile hemen hemen tüm Türkçe kelimeleri kapsayan bir sözlük oluşturulmuştur. Daha sonra çok sınıflı Türkçe bir dataset üzerinde metin sınıflandırma işlemi uygulanmıştır. Bu veriseti içerisindeki token kelimelerin vektörel değerleri sözlükten transfer öğrenme ile aktarılmıştır. Ancak sözlükte bulunmayan kelimelerin hatalı kelimeler olduğu düşünülerek bir derin sinir ağı mimarisi olan LSTM (Uzun Kısa Süreli Bellek) yöntemi ile bu kelimelerin yerine doğru veya yakın anlamlı kelimeler tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu işlemin ardından metin sınıflandırma uygulamasının doğruluk oranında %8.68

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\*Corresponding Author: Bingol University, Genc Vocational School, Department of Computer Technologies, Bingol, Turkey, ORCID: 0000-0002-6876-6454, [maydogan@bingol.edu.tr](mailto:maydogan@bingol.edu.tr)

oranında gelişme olduğu görülmüştür. Üretilen Türkçe veriseti, derlem ve sözlük Türkçe metin işleme çalışmalarına katkı sağlamak amacıyla araştırmacılarla paylaşılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kelime Gömme, Türkçe Metin İşleme, LSTM, Sözlük Metodu

## 1. Introduction

Today, due largely to the widespread use of the Internet, the amount of data being produced each day has increased rapidly. According to IBM, about 2.5 billion data items are produced in a single day in large datasets known as “Big Data.” The majority of this data (90-%95) is composed of text data. According to Forbes, the amount of text data produced within just the next 2 years will reach 40 zettabytes. In addition, Google processes more than 40,000 search results every second, which corresponds to approximately 3.5 billion searches per day [1]. In the literature, text classification problems are one of the most studied natural language processing problems.

While conducting various text analyses in many global languages, primarily English, the number of studies based on the Turkish language have been at an inadequate level. Kılınc et al. created a Turkish dataset called TTC-3600, comprising of six categories with data collected from various news sites. They also applied a text classification process to the dataset using different machine-learning algorithms [2]. The convolutional neural network architecture is a method of deep learning recommended for multidimensional inputs, and particularly for two-dimensional visual data. However, successful results have also been seen within studies in the field of natural language processing [3].

Another important development in the field of natural language processing has been the development of artificial neural network-based word embedding methods. The most popular method in this field is Word2Vec, as developed by Mikolov et al. [4], [5]. There are two different approaches for the Word2Vec method, which are the CBOW and Skip-gram algorithms. Another important word embedding method is the Glove method, which was developed by Stanford University [6].

The organization of this paper is as follows. In the next chapter, the methodology will be introduced and the datasets used in this study will be explained. The proposed method and experimental results will be explained in chapter 3. The study will be concluded in chapter 4.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Deep Neural Networks

Deep learning is a special state of the topic of machine learning, and therefore falls under the concept of artificial intelligence. When reviewing the literature, the first neural network is the perceptron algorithm [7]. This network was formed from an input and output layer. With the addition of more than one level to these neural networks, the goal was to determine more complex connections [8]. This newly created architecture was called a deep neural network. It can also be known as the multilayered or multi-neuron state of classic artificial neural networks for deep neural networks. In recent years, along with the use of graphic processing units that can process faster and more powerfully, the cost of fast processing has fallen considerably. This development made deep neural networks that much more popular [9].

#### 2.1.1. Long Short-Term Memory (LSTM)

The LSTM method brings solutions to the exploding and vanishing gradients problems faced by the simple RNN architecture, and is also an approach preferred in recent years as it generally provides better results than the basic RNN architecture. The Fig. 1 illustrates the internal structure of the LSTM cell [10].

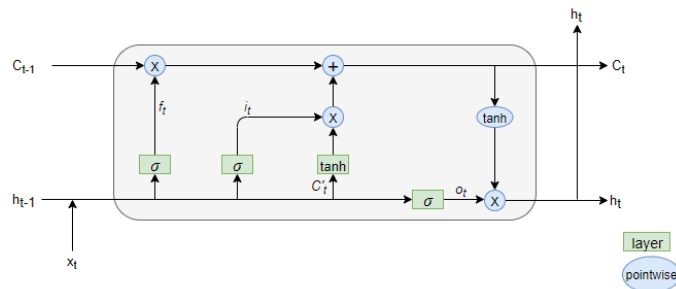


Fig. 1 LSTM architecture

**$C_t$  (Cell State):** This is the channel to which information flows uninterruptedly from one cell to another. If considered that the LSTM cells are sequenced successively, the flow of information between the cells is ensured through these means [11]:

$$C'_t = \tanh(W_c \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (1)$$

$$C_t = f_t * c_{t-1} + i_t * C'_t \quad (2)$$

**$f_t$  (Forget Gate):** LSTM decides which information will be forgotten and therefore unable to be transferred to the other cells with the cell states of this gate. The information to be forgotten is decided based on implementing the Sigmoid process for the input information and the information coming from previous states [12].

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (3)$$

**$i_t$  (Input Gate):** This gate decides which information will be stored with the cell states and transferred to the other cells. The cell states are also updated after the processes in this step are completed, and are then prepared for transfer to a subsequent cell [13].

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (4)$$

**$o_t$  (Output Gate):** This gate decides the output value. However, the entire value coming from the cell state is not provided as the output. For this, a filter is implemented, being passed through a cell state  $\tanh$  process [14].

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(C_t) \quad (6)$$

### 2.1.2. Word Embedding

How the texts within a corpus are embedded is one of the most critical points for text-processing studies and the most important input for a network. The conversion of text into numerical data is called, in its simplest definition, word embedding. The same text can be converted to different numerical values in different manners [15]. It is a Word2Vec model essentially based on the principle of learning through artificial neural networks and words that was developed in 2013 by Mikolov et al. from the estimation-based word embedding method. The model is based on the principle of estimating the target word with reference to words taken as input.

Words not at the core of the window size in the CBOW (Continuous Bag of Words) model are taken as input, and the words in the core are attempted to be estimated as the output. This process continues until the sentence ends (see the Fig. 2). The value shown as  $w(t)$  is the output value to be estimated and is located at the center of the sentence, while the values shown as  $w(t-2)$ . . . . $w(t+2)$  are the output values not at the center (window-size), based on the preferred dimension of the window [16], [17].

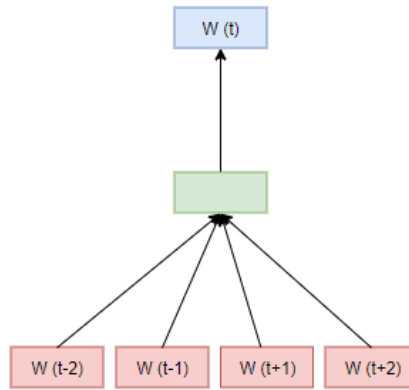


Fig. 2 CBOW method

## 2.2. Dataset

Two Turkish language datasets were created in the scope of the current study. The first dataset is a large corpus created from unlabeled Turkish texts, named as the Dictionary, and was used to train word vectors. The second dataset was created for the purposes of classification, and used together with the acquired word vectors in deep neural networks.

### 2.2.1. Dictionary

A large corpus was created from Wikipedia articles, and which required a storage capacity of about 60 GB. The reason for this corpus being generated was to create a kind of vocabulary dictionary. The corpus produced for this dictionary covers almost all known Turkish words, with Wikipedia used as its source in order to avoid word errors. The words in the corpus were then converted to vector form using the Word2Vec method. The resulting corpus contains 10.5 billion token words and 850,000 unique words. In addition, it is the largest Turkish dataset ever created, based on a review of the literature by the researchers, and includes approximately 22 million lines and 528 million sentences. The reason behind creating such a large dataset was to cover almost all known words of the Turkish language. Considering that there are approximately 115,000 words held in the Turkish Language Institution's dictionary, the produced dataset is considered to be comprehensive and therefore fit for purpose.

2.2.2. Dictionary Method

The word vectors were then transferred by transfer learning, and then text classification was applied on dataset. With this method, the accuracy value was improved [18]. In the study, a real dataset was used for the text classification created by the records kept by the call center employees and the messages sent by the users using the web page. Since the generated dataset is a real dataset, there are many spelling errors. Therefore, it has a negative effect on the performance of the model. The purpose of this method is to detect words that do not exist within a vocabulary. As mentioned in the Materials section, Dataset1 (for word embedding training) is the largest corpus ever created in Turkish language studies, and was also found to contain no spellchecking errors. Therefore, it is accepted that the words excluded from the vocabulary were either incorrect or misspelled. For the detection of out-of-vocabulary words, the following method was proposed. After the words are converted to tokens on the dataset where the classification process will be made, the numerical values of the words in the form of vectors were taken from the vocabulary and transferred by transfer learning method. The critical point at this stage is that the values in the vectors are initially set to 0 (zero). Therefore, the words in the vocabulary are replaced with vectors defined as 0 by changing their values and the words that are not in the vocabulary will remain as zero (0). In other words, when the process of converting words into vectors is complete, the vectors that are made up of zeros (representation of words) denote words that are considered out-of-vocabulary. The Fig 3 illustrates the general architecture of the dictionary method.

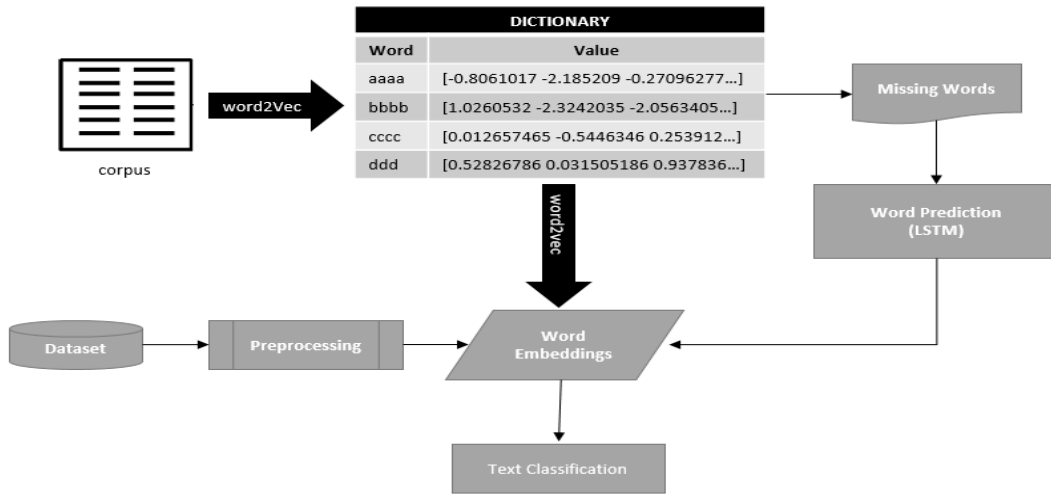


Fig. 3 Overview of our proposed method

3. Results and Discussion

When Table 1 is examined, it can be seen that a total of 197,288 words were taken from the dataset, but that only 142,047 words were found in the dictionary, representing 28% of unique words in the dataset that could not be taken from the dictionary and were therefore considered misspelt. The classification was applied on the dataset using the LSTM network, one of the deep neural network models.

Table 1. Results without using the dictionary method

Word Vectors in Dictionary	847766
Word Vectors in Dataset	197288
Read Word Vectors From Dictionary	142047
Missing Words	55241
Read Rate From Dictionary	%72

As an example, the sentence “Ben üniversite de öğrenciyim” was examined. The English equivalent of this sentence is “I am a student at university.” However, in this sentence, the word “university” which has the Turkish equivalent of “üniversite,” was misspelled as “üniverste.” The sentence was converted into tokens and the vector equivalent of each word was taken from the dictionary by transfer learning method. Therefore, the values defined as zero at first were then taken from the dictionary. When Figure 4 is examined, it shows that the word “üniverste” was not found in the dictionary because it was a misspelled word, and that the word’s vector remained as zero.



Fig. 4 Using of dictionary with transfer learning.

However, for each of the other words, a match was found in the dictionary and therefore the corresponding vectors were taken from the dictionary. This same process was applied for all sentences in the dataset. Any misspelled words were found when the vectors remained as zero after the conversion of the words into vectors. Then, instead of these words, words that are correct or considered to be closest to the correct word were attempted to be predicted by way of the LSTM method.

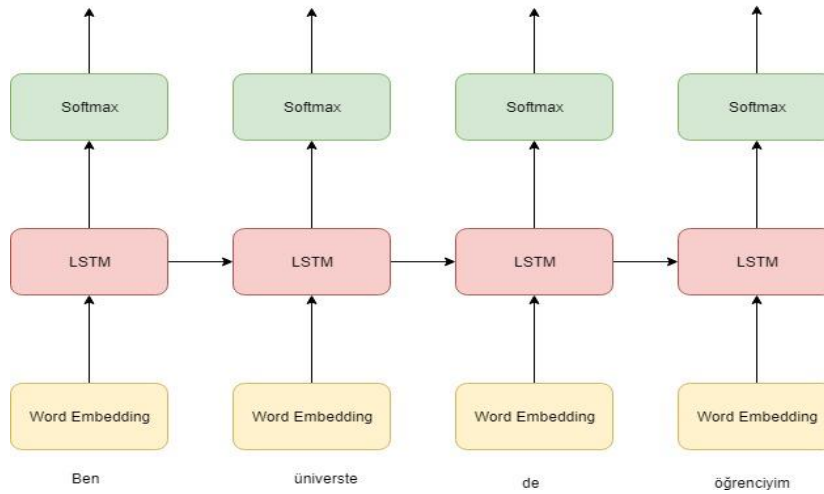


Fig. 5 Using of dictionary with transfer learning.

The structure of the LSTM model used in the current study was developed as shown in Figure 5. The number of neurons used in the developed model was 256. Dropout was added after the LSTM layer in order to prevent overfitting [14]. The added dropout value was implemented as 0.2, and the softmax function was used in the calculation of the output value.

model.similar_by word("üniverste")	
[('üniversite', 0.6658480167388916), ( 'fakülte', 0.621586263179779), ( 'okul', 0.6204925179481506), ( 'konservatuar', 0.6177264451980591), ( 'ilahiyat', 0.6013895869255066)]	[('university'), ( 'faculty'), ( 'school'), ( 'conservatory'), ( 'theology')]

Fig. 6 List of similarity words

As shown in the Fig 6, the misspelled word “universte” was detected and prediction of words that could replace it was attempted based on the LSTM method. The purpose of this step is to replace a misspelled word with the correct word or one of the nearest synonymous words to the correct word. Figure 8 shows the words predicted as an alternative to the word “universte” and the English meanings of these words in the right column. With the proposed method, the word üniversite (university), which is the correct spelling of this word, was first guessed. In the words that came after that, it can be seen that they had similar meanings to this word. So, the model has shown a successful performance in this case. This method, called the dictionary method, was applied to 55,241 words from the dataset where the word could not be taken from the dictionary due to spelling errors. Instead of the misspelt words, correct or near-synonymous words were attempted to be predicted. The results of this process are shown in Table 2.



Table 2 Results with using the dictionary method

Accuracy without Dictionary Method	% 77.12
Replacing Words Using Dictionary Method	55241
Accuracy with Dictionary Method	% 85.80
<b>Performance Improvement</b>	<b>% 8.68</b>

When Table 2 was examined, LSTM was applied without the dictionary method and a 77% accuracy rate was obtained. Then, the 55,241 words that could not be matched were processed using the proposed dictionary method, resulting in an improved accuracy rate of 85% after obtaining vector equivalents. Thus, the performance of the proposed model was shown to improve at a significant rate of 8.68%.

## 4. Conclusions and Recommendations

The process of converting words into numerical form is one of the most critical points of text processing. A word embedding method proposed by Mikolov et al., known as Word2Vec, is still popular today. In the literature, word embedding is frequently mentioned as a very important input for neural networks. In the current study, a method based on word embedding was proposed, named the dictionary method.

Data collected from real environments is often found to be unclean. These impurities are often noted as spelling errors in text processing studies, and is a situation that significantly reduces the accuracy rate of proposed methods detailed in such studies. As a solution developed to this problem, an application named the dictionary method was developed in the current study and applied to an unclean dataset that contained numerous spelling errors.

As a result of this application, the accuracy rate was improved by 8.66%. It is thought that this method significantly contributes to the text processing literature, considering that much of today's data is derived from the Internet and therefore may be considered to be unclean data containing spelling errors.

In future studies, the researchers are planning to extend the developed corpus and dictionary. Additionally, they are planning to develop spelling correction using auto encoders.

## References

- [1] Wu, X., Zhu, X., Wu, G. Q., & Ding, W. (2013). Data mining with big data. *IEEE transactions on knowledge and data engineering*, 26(1), 97-107.
- [2] D. Kılınç, A. Özçift, F. Bozyigit, P. Yıldırım, F. Yücalar, E. Borandag, TTC-3600: A new benchmark dataset for Turkish text categorization. *Journal of Information Science*, 43(2), 174-185, (2015).
- [3] Y. Lecun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner, Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278- 2324 (1998).
- [4] T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean, Efficient estimation of word representations in vector space. *Proceedings of Workshop at ICLR*. Scottsdale, (2013).
- [5] Q. Le, T. Mikolov, Distributed representations of sentences and documents. *31st International Conference on Machine Learning*, China, 2014 (2002)
- [6] J. Pennington, R. Socher, C. Manning, Glove: Global vectors for word representation, *Proceedings of the 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, Qatar, 2014.
- [7] F. Rosenblatt, The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. *Psychological Review*, (1958) 65(6), 386.
- [8] Y. Qi, S. G. Das, R. Collobert, J. Weston, Deep learning for characterbased information extrac
- [9] R. Socher, Y. Bengio, C. D. Manning, Deep learning for NLP (without magic), *Tutorial Abstracts of ACL*, (2012) 5.
- [10] M. Tan, C. D. Santos, B. Xiang, B. Zhou, LSTM-based deep learning models for non-factoid answer selection, (2015) arXiv preprint arXiv:1511.04108.
- [11] P. Bojanowski, E. Grave, A. Joulin, T. Mikolov, Enriching word vectors with subword information, (2016) arXiv preprint arXiv:1607.04606.
- [12] M. Sundermeyer, R. Schlüter, H. Ney, LSTM neural networks for language modeling. In *Thirteenth annual conference of the international speech communication association*, (2012).
- [13] Y. Wang, M. Huang, L. Zhao, Attention-based LSTM for aspect-level sentiment classification. In *Proceedings of the 2016 conference on empirical methods in natural language processing*, (2016) (pp. 606-615).
- [14] K. S. Tai, R. Socher, C. D. Manning, Improved semantic representations from tree-structured long short-term memory networks, (2015) arXiv preprint arXiv:1503.00075.
- [15] C. Zhou, C. Sun, Z. Liu, F. Lau, A C-LSTM neural network for text classification, (2015) arXiv Preprint. arXiv1511.08630.

- [15]T. Mikolov, K. Chen, G. Corrado, J. Dean, Efficient estimation of word representations in vector space. Proceedings of Workshop at ICLR. Scottsdale, (2013).
- [16]Q. Le, T. Mikolov, Distributed representations of sentences and documents. 31st International Conference on Machine Learning, China, 2014.
- [17]N. Srivastava, G. Hinton, A. Krizhevsky, I. Sutskever, R. Salakhutdinov, Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting, JMach Learn Res. 2014, (2014) 15(1):1929-1958.
- [18]Aydogan, Murat & Karci, Ali. (2019). Improving the accuracy using pre-trained word embeddings on deep neural networks for Turkish text classification. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 541. 10.1016/j.physa.2019.123288.



# Uçak Kanadının Entegre Güçlendirilmiş Panel Yapıları Kullanılarak Yapısal Tasarımı\*\*

Kazım Tekkanat<sup>1\*</sup>, Ömer Keleş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6346-1611)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3480-3456)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf9)

**ATIF/REFERENCE:** Tekkanat, K., & Keleş, Ö. (2020). Uçak Kanadının Entegre Güçlendirilmiş Panel Yapıları Kullanılarak Yapısal Tasarımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 64-71

## Öz

Günümüzde artan teknoloji ile birlikte hava araçlarında kullanılan malzemeler ve üretim metotları da gelişmektedir. Uçakların üretildiği ilk yıllarda tahta kullanımından başlayan malzemelerin yerini günümüzde entegre yapılar, eklemeli imalat ile üretilen 3D parçalar ve kompozit malzemeler almıştır. Bu yeni nesil malzemeler sayesinde çok daha hafif ve dayanıklı uçaklar yapılabilmekte ve çok daha geniş bir tasarım özgürlüğüne sahip olunmaktadır. Bu çalışmada günümüz yeni nesil üretim teknolojilerinden biri olan entegre güçlendirilmiş panel metoduyla uçak kanat panel tasarımı yapılacaktır. Çalışmanın ana amacı farklı güçlendirme geometri ve panel yapılarının burkulma performanslarını karşılaştırmak ve aynı ağırlıkta en fazla yük taşıma kapasitesine sahip paneli belirlemektir. Havacılık endüstrisi hava araçları yapılarında parça sayısını azaltma yönünde evrilmektedir. Burkulma performansının yanında montaj süresinin kısılması, montajda açılması gereken bağlayıcı sayısının düşmesiyle birlikte yapı üzerindeki pürüzlerin azalması ve potansiyel çatlak oluşumunun önüne geçilmesi, montaj için gerekli erişim ihtiyacının azalması gibi avantajları da entegre yapıların tercih edilme sebepleri arasındadır. Çalışmada dört farklı panel tasarımı yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen veriler, uçak yapılarında basma yüklemesine maruz kalan ve kritik yükleme koşulu burkulma olan panellerde, özellikle kanat üst kabukları, ağırlık, montaj ve maliyet efektif tasarımlara yön verebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Entegre panel yapılar, Burkulma, Uçak kanadı, Uçak yapıları, Yapısal tasarım

## Structural Design of Aircraft Wing by Using Integrally Stiffened Panel

### Abstract

Materials and manufacturing methods that use in aerospace industry improve by recently technological developments. Wood was the material on first years of aircraft manufacturing but nowadays integrally structures, additive manufacturing and composite materials can be used. Through these new generation materials and manufacturing methods more light and strong aircraft structures can be designed and manufactured. In this work, by using integrally stiffened panel method that is one of the new generation manufacturing method aircraft wing panel was designed. The main purpose of this work is to investigate the effect of different stiffener geometry and panel structures in terms of buckling performance. Furthermore buckling performance, aerospace industry evolves in decreasing the number of part number. This method also helps decreasing manufacturing time, the number of fastener and fastener holes, potential crack start and access requirement for assembly process. In this work, four different panel geometry are designed and compared. More weight, assembly and cost effective design shall be done on panels which is under compressive loading especially wing upper panel by using the result of this work.

**Keywords:** Integrally panel structures, Buckling, Aircraft wing, Aircraft structures, Structural design

\* Kazım Tekkanat: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0001-6346-1611, [kazim.tekkanat@gmail.com](mailto:kazim.tekkanat@gmail.com)

\*\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Entegre paneller yüksek dayanımları ve düşük ağırlık çözümleriyle hava aracı yapılarında çoğunlukla öne çıkmaktadır. Montajda gerekli parça ve bağlayıcı sayısını azaltma, montaj süresini kısaltma gibi yan faydalarının yanında basma yükleri altında burkulma performanslarında da iyileşme olmaktadır. Uçak kanatlarında, üzerlerine gelen kaldırma kuvvetinden kaynaklanan eğilme momenti üst kabukta basma, alt kabukta çekme yüklemesine sebep olmaktadır. Bu yüzden genellikle kanat üst kabuk panelleri için en kritik yüklenme burkulma olmaktadır. Quinn ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında entegre güçlendirilmiş panel yapılarını araya yardımcı güçlendirici atarak ve atmazarak karşılaştırmış ve burkulma yükü için %87.2, panel burkulması için %17.7 artış gözlemlemişlerdir [1]. NASA'nın yapmış olduğu çalışmada sonradan birleştirme ile üretilen paneller entegre panel yöntemiyle tekrar tasarlanmış ve üretilmiştir. Çalışma kapsamında 78 parçalık bir kanat montajı ele alınmış ve 7 parçalık bir montaj haline getirilerek toplamda %58'lik bir ağırlık avantajı sağlanmıştır [2]. Murphy ve arkadaşları benzer şekilde entegre güçlendirilmiş panellerin burkulma performanslarını karşılaştıran bir çalışma yapmış ve panele eklenen yardımcı güçlendirici elemanların burkulma performansını %11.1 artırdığını tespit etmişlerdir [3]. Bu çalışmada farklı güçlendirici kesit alanları ve panel yapılarının burkulmaya karşı dayanım performansları karşılaştırılacaktır.

## 2. Materyal ve Metot

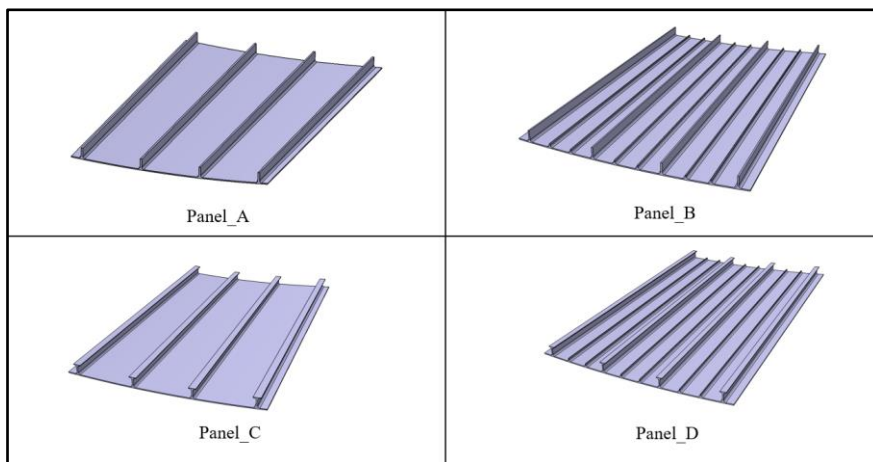
Çalışmada Al-7050 alaşımlı malzemeye sahip aynı ağırlıkta 4 farklı panel kullanılmıştır. Panel boyutları belirlenirken aynı ağırlıkta farklı geometrilerde paneller belirlenmeye çalışıldığı için karşılaştırma yapılabilmesi için kabuk kalınlığı ve panel boyutları sabit tutulmuştur. Eklenen güçlendirici elemanlarının panel burkulma performansları üzerine etkisi incelendiğinden, güçlendirici boyutları her panelde **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** de gösterildiği şekilde farklıdır.

### 2.1. Panel Boyutları

Panel\_A ve Panel\_B ana güçlendirici geometrileri I kesit alanına sahip paneller olup, Panel\_B de ekstra yardımcı güçlendiriciler bulunmaktadır. Panel\_C ve Panel\_D de ana güçlendirici geometrileri T kesit alanına sahip olur, Panel\_D de ana güçlendiriciler arasında yardımcı güçlendirici elemanlar bulunmaktadır (Şekil 1).

Tablo 1. Panel Boyutları

	Panel_A	Panel_B	Panel_C	Panel_D
Boy (mm)	800	800	800	800
Genişlik (mm)	500	500	500	500
Kabuk Kalınlığı (mm)	2,5	2,5	2,5	2,5
Ana Güçlendirici Kalınlığı (mm)	4,4	3	3,2	2,2
Ana Güçlendirici Yükseklik (mm)	28	28	28	28
Yardımcı Güçlendirici Kalınlığı (mm)	-	2	-	1,4
Ana Güçlendirici Kesit	I	I	T	T
Ağırlık ( g +/- 40 g )	4000	4000	4000	4000



Şekil 1. Panel İzometrik Görünüşleri

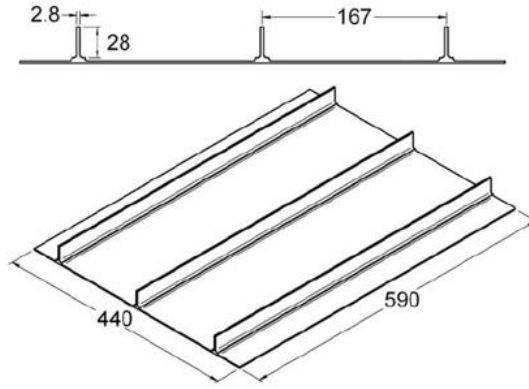
Tablo 2. Al 7050-T7451 Malzeme Özellikleri (A Basis) [6]

Al 7050 –T451		
Elastisite modülü	71016	MPa
Poisson oranı	0,33	-
Ftu	510,21	MPa
Fty	441,26	MPa
e	0,09	-

## 2.2. Sonlu Elemanlar Modeli Doğrulama

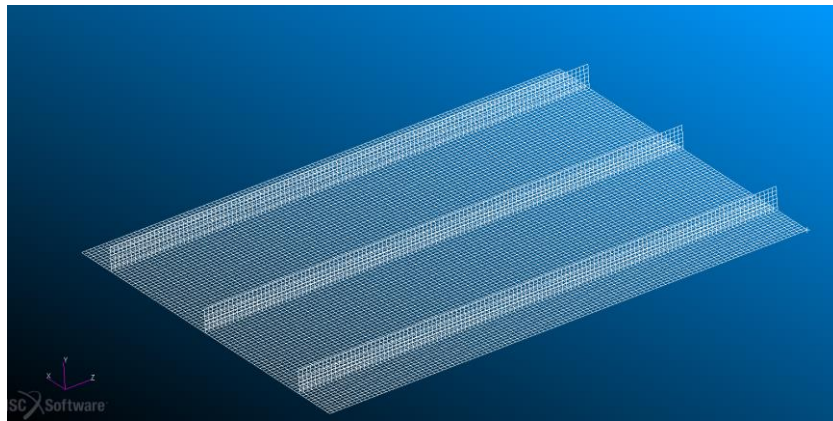
Sonlu elemanlar modelini doğrulama yöntemi olarak literatürde test içeren bir makale kullanılacaktır. MSc.Nastran’da yapılan sonlu elemanlar analizi sonucu, makalede verilen test sonuçları karşılaştırılarak aradaki fark belirlenecektir. Test ve fem sonuçlarının birbirine yeterli seviyede yakın olduğu gösterilmeye çalışılarak, bundan sonraki paneller için sadece fem analizi yapılması yeterli olacaktır. Doğrulamada kullanılacak olan makale, literatür araştırması kısmında detaylıca anlatılan Quinn ve arkadaşlarının [1] makalesi olacaktır.

Şekil 2’de Quinn makalesindeki test numunesi \_A gösterilmiştir. Test numunesi 50 mm kalınlığındaki alüminyum alaşım 2024-T351 plakadan talaşlı imalat olarak işlenmiştir.



Şekil 2. Test numunesi A geometrik modeli [1]

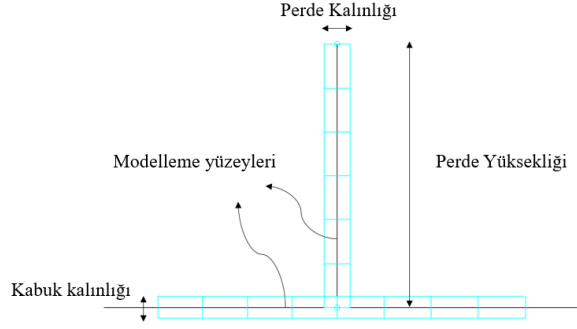
Şekil 3’te gösterilen test numunesi A 5 mm’lik dört düğüm noktası içeren dörtgen CQUAD4 sonlu elemanlar ağı ile örülmüştür. Ağ boyutu burkulma analizi sonuçlarını etkileyeceği için bir yarım burkulma dalgasında en az 10 eleman olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 3. Sonlu elemanlar ağı örülmüş numune \_A modeli

Kabuk ve web yapıları, kalınlıklarının yarısındaki iki boyutlu yüzeylerde idealize edilmiştir. Kabuk ve web arasında oluşan kabuk kalınlığının yarısı kadar olan mesafe ihmal edilmiştir.





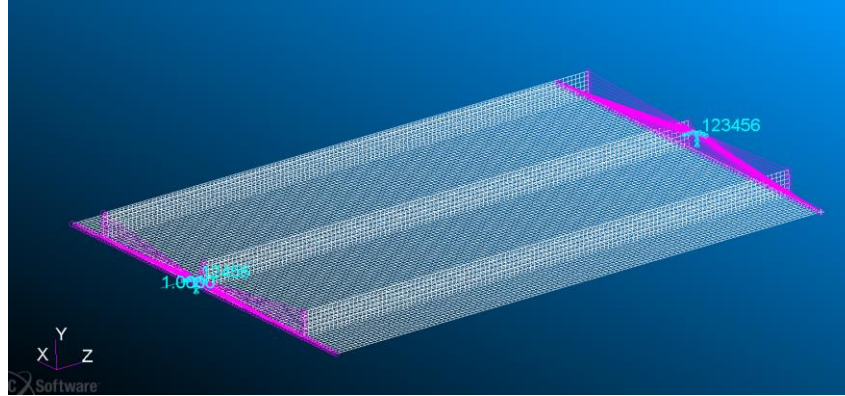
Şekil 4. Sonlu Elemanlar Modelinde Kullanılan Yüzeyler

MMPDS'den [6] alınan Al 2024-T351 malzeme özellikleri aşağıdaki tabloda listelenmiştir. Metalik malzeme özellikleri MAT1 kartını kullanarak tanımlanmıştır. Panel kalınlıkları PSHELL kartı ile tanımlanmıştır.

Tablo 3. Al 2024-T351 Malzeme Özellikleri (A Basis) [6]

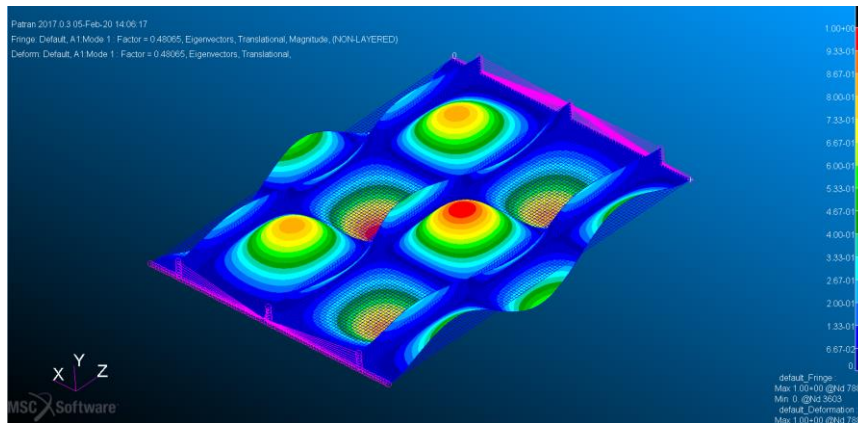
Al 2024 -T351		
Elastisite modülü	73773	MPa
Poisson oranı	0,33	-
Ftu	413,68	MPa
Fty	289,57	MPa
e	0,04	-

Panel test yüklemesini modellemek için z yönündeki kenarlarından sınır koşulları uygulanmıştır. Bir kenarı x,y ve z eksenlerinde tamamiyle sınırlandırılmış olup, diğer kenarı x ve y de sınırlandırılarak z yönünde 1mm basma yönünde yer değiştirme tanımlanmıştır.



Şekil 5. Sonlu Elemanlar Modelindeki Sınır Koşulları

İlk burkulma yükü ve modunu elde etmek için Nastran SOL105 kullanarak doğrusal özdeğer analizi (Linear eigenvalue analysis) gerçekleştirilmiştir. Analiz sonucu elde edilen ilk burkulma modu Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. İlk burkulma modu - FEM sonucu

Yapılan burkulma analizi sonucu  $\lambda = 0,485$  olarak bulunmuştur. Bu değer panelin ilk burkulma modunun toplam yüklemenin ne kadarında gerçekleştiğini gösteren faktör değeridir. Statik analiz sonucunda tepki kuvveti 156000 N olarak bulunmuş olup, ilk burkulma modunun görüleceği kuvvet aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$F_T * \lambda = 156000 * 0,485 = 75,7 \text{ kN}$$

$F_T$ : Tepki kuvveti

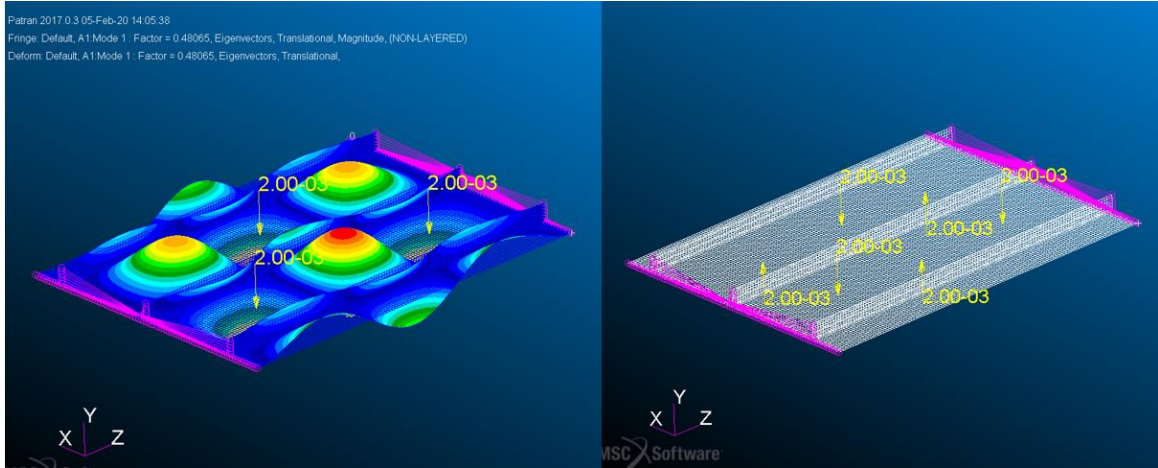
$\lambda$  : Özdeğer (Eigenvalue)

olarak bulunur. Referans alınan makaledeki Quinn [1] in yaptığı test sonucu panel 74,5 kN de ilk burkulma moduna girmektedir. Yapılan patran analizi sonucu test sonucuna;

$$\% \text{ Hata} = \frac{75,7 - 74,5}{74,5} * 100 = \% 1,6$$

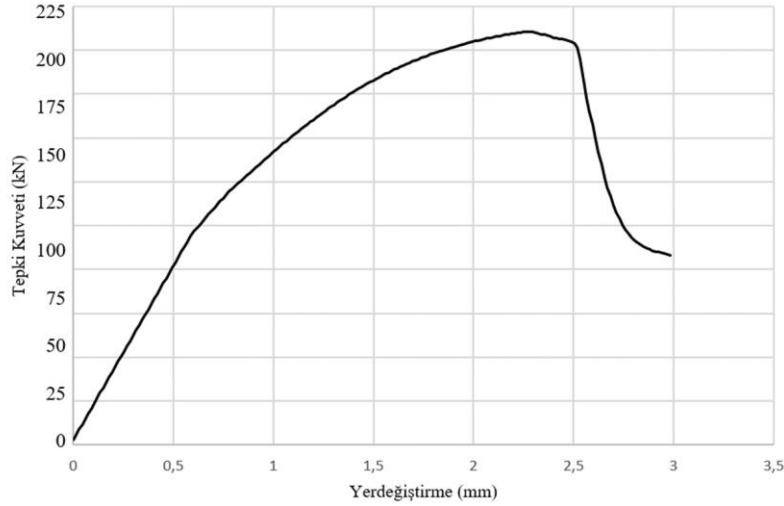
oranında yaklaşmıştır. Bu göz ardı edilebilir hata oranı fem de kullandığımız yöntemin doğru olduğunu göstermekte ve bundan sonra panelleri aynı yöntemle sonlu elemanlar yöntemi kullanarak analiz edebileceğimizi göstermektedir.

Analizin ikinci kısmında burkulma sonrası incelenip yapının taşıyabileceği maksimum yük belirlenecektir. Burkulma sonrası kısımda yapıda doğrusal olmayan geometrik ve malzeme davranışlar oluşacaktır. Panel tamamen çökme aşamasına gelene kadar önce elastik sonra plastik bölgede yüklenecek ve sonunda tamamen çökecektir. Bu sebeple öncelikle doğrusal olmayan bölgedeki malzeme özellikleri tanımlanmalıdır. Doğrusal olmayan malzeme özellikleri Ramberg–Osgood eğrisini[8] kullanarak modellenmiş ve gerilim–gerinim eğrisi Msc. Patran’da MAT1 kartı ile tanımlanmıştır. Ramberg-Osgood metalik malzemeler için gerçek mühendislik gerilim – gerinim eğrisini tanımlayan matematiksel bir yaklaşımdır. Yapı üzerindeki geometrik lineer olmayan davranışı modellemek adına ilk burkulma modunu oluşturacak şekilde 0.02 N’luk kuvvetler ile yapıda panelin düzlem dışı yönünde bükülme oluşturmaya çalışılmıştır.



Şekil 7. Sonlu Elemanlar Modeline Girilen Yüklemeler

Panel burkulma çökme yüklemesini belirlemek için MSc Nastran SOL600 kullanılarak doğrusal olmayan analiz yapılarak sonuç kuvvet-yer değiştirme eğrisi olarak çizdirilir. Bu eğrinin kuvvet bölümündeki en yüksek değer, panelin çökme yüküne karşılık gelmektedir. Görüldüğü gibi bu değerden sonra panelin yük taşıma kapasitesi hızla düşmektedir. Grafikten bu değer 220,3 kN olarak belirlenmiştir.



Şekil 8. Nonlinear Analiz için Kuvvet-Yer Değişirme Grafiği

$$\% Hata = \frac{216,6 - 220,3}{216,6} * 100 = \% 1,7$$

Yapılan sonlu elemanlar modeli sonucunda Tablo 4’te özetlendiği gibi %1,6 ve %1,7 hata oranları ile test sonuçları yakalanmıştır. Bu sonuçlar yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan analizler için ayrı ayrı kabul edilebilir mertebelere sahiptir. Referans alınan makalede de benzer şekilde test sonuçlarına %1.9 ve %12,6 lık hata oranları ile yaklaşılmıştır.

Tablo 4. Test ve Sonlu Elemanlar Sonuçları Karşılaştırma Tablosu.

	İlk Burkulma Yüğü (kN)	Nihai panel çökme yüğü (kN)
Numune_A Test Sonuçları	74,5 [1]	216,6 [1]
Numune_A Fem Sonuçları	75,7	220,3
%Hata	1,6	1,7

FEM ve test sonuçları arasındaki farklar kabul edilebilir seviyededir. Bir sonraki kısımda aynı modelleme metodu kullanılarak paneller analiz edilip değerlendirilecektir.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular ve Tartışma

Dört panel için yapılan sonlu elemanlar analizleri sonucu Bölüm II’de anlatılan sınır koşulları için

Tablo 5’de gösterilmiştir. I kesit alanlı panel için burkulma yüğü 180 kN olup aynı ağırlıkta, ana güçlendirici elemanlar arasına atılan yardımcı güçlendirici elemanlarla burkulma yüğü 222.7 kN a yükselmiştir. T kesit alanlı güçlendirici içeren paneller için de sonuç benzer olmaktadır. Aralara yardımcı güçlendirici elemanların eklendiği durumda panel burkulma yüğü 172.6 kN dan 202.9 kN a yükselmektedir.

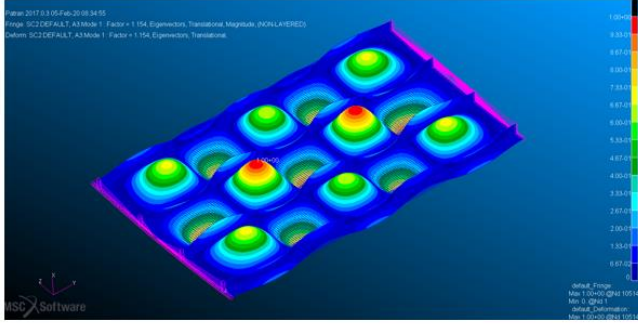
I kesit alanlı panelde aralara eklenen yardımcı güçlendiriciler burkulma yükünün yanında panel çökme yükünü de artırmıştır. Ancak T kesit alanlı panelde araya eklenen yardımcı elemanlara rağmen panel çökme yüğü 331.4 kN dan 295.3 kN a düşmektedir.

T kesit alanına sahip güçlendiriciler aynı ağırlık sağlanması için kalınlıkları azaltılarak üst kısımlarına malzeme eklenerek oluşturulmuşlardır. Bu kalınlık azalışı güçlendirici elemanları paneli destekleme açısından zayıflatmaktadır. Bu da Panel\_C nin Panel\_A dan daha düşük burkulma yüküne dayanmasının nedenidir. Ancak T kesit alanı I kesit alanına göre kendi içlerinde farklı sınır koşullarına sahiptir. I kesit alanının üst kısmı boş uç davranışı sergilerken, T için uç kısma eklenen malzeme bu güçlendirici elemanın sınır koşulunu değiştirerek panel çökme yükünde meydana gelen 220.8 kN dan 331.4 e büyük artışına sebep olmuştur.

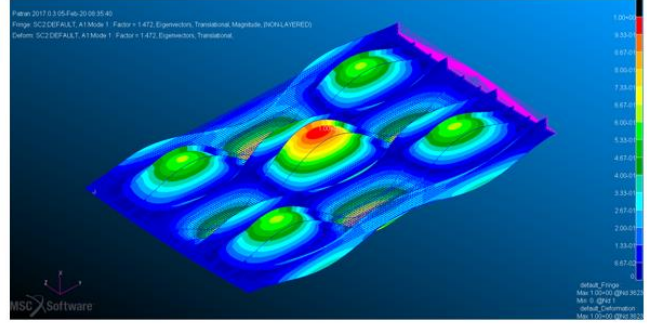
Tablo 5. Panellerin Burkulma ve Çökme Yüğüleri

	Burkulma Yüğü (kN)	Panel Çökme Yüğü (kN)	%BY Farkı	%PÇY Farkı
Panel_A	180	220,8	0%	0%
Panel_B	222,7	237	+23,7	+7,3
Panel_C	172,6	331,4	-4,1	+50,1
Panel_D	202,9	295,3	+12,7	+33,7

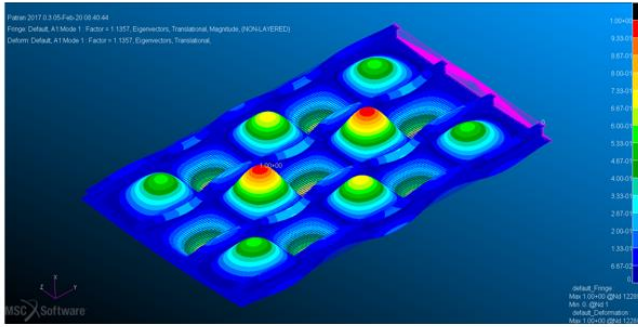
Araya eklenen yardımcı güçlendirici elemanların her iki kesit alanlı konfigürasyon için de burkulma yükünü artırdığı gözlenmiştir.



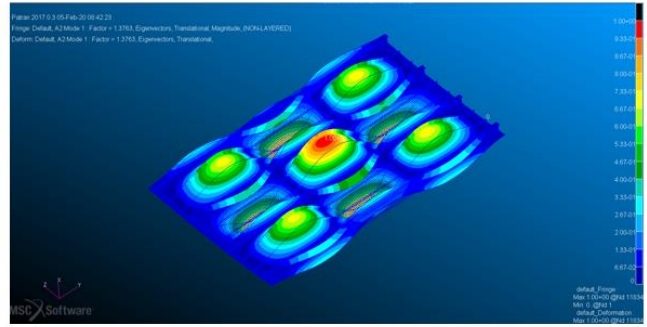
Panel\_A



Panel\_B

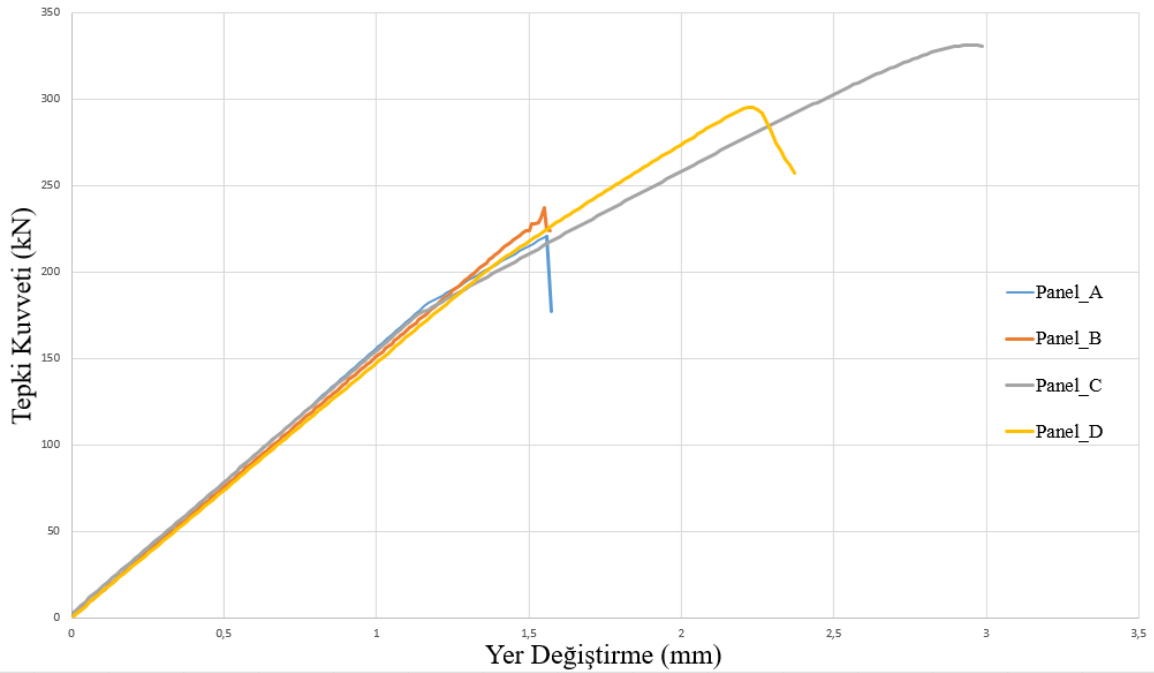


Panel\_C



Panel\_D

Şekil 9. Dört Panelin İlk Burkulma Sonlu Elemanlar Model Sonuçları



Şekil 10. Panellerin Nonlinear Analiz için Kuvvet-Yer Değiştirme Grafiği

Basma yüklemesine maruz kalan panellerin farklı tasarım seçenekleri bulunmaktadır. Bazı tasarımlar panellerin burkulmasına izin verip boyutlandırmayı panel çökme yüküne göre yapmaktayken bazı tasarımlar panellerin burkulmasına izin vermeyip boyutlandırma için bu yük değerini kullanmaktadır. Elde edilen bulgular sonucu tasarım kriterlerine göre farklı panel seçilmesi sonucu çıkmaktadır. Kriter olarak panel burkulma yükü dikkate alınacak tasarımlar için ana güçlendirici elemanların arasına eklenen yardımcı güçlendirici elemanlar burkulma yüklemesini %23,7 ye kadar artırdığı için tercih edilebilir. Panellerin burkulmasına izin verilen ve panel çökme yüklemesi için yapılan tasarımlar için ana güçlendirici elemanlar daha önemli paya sahip olup T kesit alanlı güçlendirici kullanmak yük taşıma kapasitesini %50.1 oranında artırmaktadır.

## 4. Sonuç

Ana güçlendirici elemanlar arasına yardımcı güçlendirici elemanlar eklemek panel burkulma performansını sırasıyla I ve T kesit alanlı ana güçlendirici eleman kesit alanlı paneller için %23,7 ve %17,6 artırmaktadır.

Panel çökme yükü için daha önemli paya sahip olan tasarım parametresi ana güçlendirici eleman kesit alanıdır. T kesit alanına sahip güçlendirici eleman kullanmak aynı ağırlıkta panel için I kesit alanlı panele göre %50,1 daha fazla yük taşıyabilmektedir.

Yardımcı güçlendirici elemanlar burkulma yükünü artırdığı için panel burkulması ve çökme yükü arasında daha az fark olmaktadır. Panel tasarımlarında bu elemanları eklemek, tasarım kriteri olarak panel burkulması seçilmiş durumlarda daha hafif tasarımlara imkân verecektir.

## Kaynakça

- [1] D.Quinn, A. Murphy, W. McEwan, F. Lemaitre, “Stiffened panel stability behaviour and performance gains with plate prismatic sub-stiffening”, Thin-Walled Structures, July 2009
- [2] J. Munroe, K. Wilkins, and M. Gruber, “ Integral Airframe Structures (IAS)-Validated Feasibility Study of Integrally Stiffened Metallic Fuselage Panels for Reducing Manufacturign Costs”,s. 29, 2000
- [3] A. Murphy, D. Quinn, P. Mawhinney,M. Özakça, Van Der Ven S., “Tailoring Static Strength Performance of Metallic Stiffened Panels by Selective Local Sub-Stiffening”, 47 th AIAA/ASME/ASCE/ASH/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Confere, 2006
- [4] Bushnell D, Rankin C.,” Optimum design of stiffened panels with sub-stiffeners.” In: Proceedings of the forty sixth AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics & materials conference. Austin, Texas: 18–21 April 2005, AIAA 2005-1932.
- [5] Watson A, Featherston CA, Kennedy D. “Optimization of post-buckled stiffened panels with multiple stiffener sizes.” In: Proceedings of the forty eighth AIAA/ ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics, and materials confer- ence. Honolulu, Hawaii: 23–26 April 2007, AIAA 2007-2207.
- [6] MMPDS-11: Metallic Materials properties Development and Standardization. Federal Aviation Administration; Battelle Memorial Institute [distributor],2016.
- [7] K. L. Tran, Cyril Douthe, Karam Sab, J. Dallot, L. Davaine. “Buckling of stiffened curved panels under uniform axial compression.” Journal of Constructional Steel Research, Elsevier, 2014, 103, pp 140-147.
- [8] W. Ramberg, W. R. Osgood, “Description of Stree-Strain Curves by Three Parameters”, National Advisory Committe for Aeronautics,1943





# Akıllı Durak Sistemindeki Araç Seyahat Sürelerinin Birleşik Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmini\*

Murat Taşyürek<sup>1,2\*\*</sup>, Mete Çelik<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kayseri Büyükşehir Belediyesi, Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Yazılım Şube Müdürlüğü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5623-8577)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1488-1502)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf10)

**ATIF/REFERENCE:** Taşyürek, M. & Çelik, M. (2020). Akıllı Durak Sistemindeki Araç Seyahat Sürelerinin Birleşik Yapay Sinir Ağları Kullanarak Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 72-79.

## Öz

Toplu taşımacılık özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde günlük yaşamda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Toplu taşıma araçlarını kullanan birçok insan duraklarda beklemelerinden dolayı zaman kaybı yaşamaktadırlar. Bu nedenle toplu taşıma araçlarının duraklara geliş süresinin doğru şekilde hesaplanması veya tahmin edilmesi ve yolculara bildirilmesi önem arz etmektedir. Gerçek zamanlı trafik koşullarının ve trafik olaylarının karmaşıklığı ve çeşitliliği nedeniyle otobüslerin, duraklara geliş zamanlarını doğru bir şekilde tahmin etmek zor bir problemdir. Literatürde otobüs varış sürelerinin tahmin edilmesi için çeşitli teknikler ve parametreler kullanılmıştır. Bu çalışmada, toplu taşıma araçlarının duraklara varış zamanını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için birleşik yapay sinir ağları (YSA) algoritması tabanlı bir sistem önerilmiştir. Birleşik YSA modeli birden fazla yapay sinir ağı modelinin çıktılarının ortaklaşa değerlendirilmesi ile YSA modellerinin performansını arttırabilmekte ve dolayısı ile daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle birleşik YSA modelleri çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Önerilen birleşik YSA algoritması gerçek veriler üzerinde çalıştırılmıştır. Çalışmada Kayseri Büyükşehir Belediyesi akıllı otobüs durak verileri ve 800 adet farklı otobüs hattının GPS verisi kullanılmıştır. Önerilen sistemde akıllı duraklarda bulunan kare kodlar (QR) okutularak veya paylaşılan yolcu GPS (Küresel Konumlama Sistemi) verisini kullanarak seçilen duraktan hangi otobüsün ne zaman geçeceği birleşik YSA modeli ile tahmin edilebilmekte ve yolculara bildirilmektedir. Çalışmada kullanılan YSA algoritmasının sonuçları lineer regresyon yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar önerilen birleşik YSA yaklaşımının lineer regresyon yaklaşımına göre daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir. Çalışmada ayrıca geliştirilen birleşik YSA modelini kullanan mobil ve web uygulaması geliştirilmiştir. Geliştirilen uygulama ile yolcular akıllı duraklardaki kare kodları kullanarak sisteme bağlanmakta ve tahmini otobüs geliş sürelerini takip edebilmektedirler.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı duraklar, Yapay sinir ağları, Araç seyahat süreleri.

## Prediction of Vehicle Arrival Times in the Smart Bus Stop System Using Ensemble Artificial Neural Networks

### Abstract

Public transportation is used extensively in daily life, especially in cities where the population density is high. Many people who use public transportation experience time loss due to waiting at the stops. For this reason, it is important to accurately calculate or estimate

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-5623-8577, [m.tasyurek@hotmail.com](mailto:m.tasyurek@hotmail.com)

the arrival time of public transport to the stops and inform the passengers. Due to the complexity and diversity of real-time traffic conditions and traffic events, it is a difficult problem to accurately predict the arrival times of buses to the stops. Various techniques and parameters have been used in the literature to estimate bus arrival times. In this study, a system based on ensemble artificial neural networks (ANN) algorithm has been proposed in order to accurately predict the arrival time of public transport to the stops. The ensemble ANN model can increase the performance of ANN models and thus provide more accurate results by jointly evaluating the outputs of more than one neural network model. Therefore, ensemble ANN models are used in various applications. The proposed ensemble ANN algorithm was run on real data. In this study, Kayseri Metropolitan Municipality smart bus stop data and GPS data of 800 different bus lines were used. The proposed system predicts the arrival time of the public transportation vehicle when the QR codes of smart bus stops and or the shared GPS (Global Positioning System) of passengers were used. The experimental results show that the proposed ensemble ANN approach gives more accurate results than the LR approach. In the study, a mobile and web application using the combined ANN model was developed. With the developed application, passengers can connect to the system using square codes in smart stops and follow the estimated bus arrival times.

**Keywords:** Smart bus stops, Artificial neural networks, Prediction bus arrival time.

## 1. Giriş

Toplu taşımacılık özellikle nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde günlük yaşamda yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Toplu taşıma araçlarını kullanan birçok insan duraklarda beklemelerinden dolayı zaman kaybı yaşamaktadırlar. Bu nedenle toplu taşıma araçlarının duraklara geliş süresinin doğru şekilde hesaplanması ve yolculara bildirilmesi önem arz etmektedir. Akıllı şehir teknolojilerinin giderek yaygınlaşması ile birlikte akıllı çözümlerde giderek yaygınlaşmaktadır. Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS) bu çözümlerden bir tanesidir. Bu sistemler sağladıkları faydalarla, ulaşımı daha güvenli, etkili, güvenilir ve çevre dostu hale getirmektedirler (Tufan ve ark., 2014). Günümüzde kullanılmakta olan AUS türlerinden gerçek zamanlı yolcu bilgilendirme sistemleri yolculara yolculuk öncesinde ve yolculuk sırasında bilgi sağlamaktadır. AUS, otobüsün konumunu belirlemek ve otobüs varış süresini tahmin etmek için genellikle Küresel Konumlama Servis (GPS) verisini kullanır (Gökrem ve ark., 2016). Ülkemizde toplu taşımacılık hizmeti genellikle belediyeler tarafından yürütüldüğü için belediyeler AUS'nin sahadaki en önemli göstergesi olan akıllı durak sistemleri ile ilgili girişimlerde bulunmaktadır. Özellikle İstanbul, Ankara, İzmir, Konya ve Kocaeli belediyeleri akıllı durak sistemlerinde Türkiye'ye öncülük etmektedirler. Bu çalışmada ise Kayseri Büyükşehir Belediyesi (KBB) (Kayseri Büyükşehir Belediyesi., 2020) akıllı durak sisteminde "otobüs ne zaman gelecek" sorusunun cevabı birleşik yapay sinir ağları (YSA) yöntemi ile tahmin edilmiştir. Çalışmada KBB'ye ait 180 milyon gerçek zamanlı otobüs GPS verisi kullanılmıştır. Otobüslerin geçmiş GPS verileri kullanılarak birleşik YSA modeli ile otobüsün duraklara varış zamanı tahmin edilmiştir. Önerilen yöntemin sonuçları lineer regresyon (LR) yaklaşımının sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

Gerçek zamanlı trafik koşullarının ve trafik olaylarının karmaşıklığı ve çeşitliliği nedeniyle otobüslerin duraklara geliş zamanlarını tahmin etmek zor bir problemdir. Otobüs seyahat süreleri tahmininde doğru bir model oluşturmak için kalkış zamanı, mevcut otobüs konumu, trafik durumu, bekleme süresi ve durak bazlı yolcu talebi verilerinin kombinasyonları kullanılmalıdır (Li ve ark., 2011). Seyahat süreleri tahmin eden çalışmalar incelendiğinde, GPS teknolojisi kullanılarak otobüs varış zamanı tahmini alanında araştırmalar yapılmıştır. Gurmu ve arkadaşları otobüs yolculuk sürelerini sadece otobüs GPS verilerini kullanarak başarılı bir şekilde modellemiştir (Gurmu ve ark., 2014). Amita ve arkadaşları GPS verileri ile elde edilen varış zamanı, bekleme süreleri ve ortalama hız verilerini kullanarak seyahat süresi tahmin modeli geliştirmişlerdir (Amita ve ark., 2016). Her iki çalışma GPS verilerinin güvenilir tahmin modelleri için tek veri kaynağı olarak kullanılması için yeterli olduğunu göstermektedir.

Seyahat süreleri tahmin modellerinde genellikle klasik yaklaşımlar, makine öğrenme algoritmaları ve evrimsel algoritmalar kullanılmaktadır (Amita ve ark., 2016; Jiang ve ark., 2014; Jiang ve ark., 2014; Liu ve ark., 2019; Yaghini ve ark., 2013). YSA ve LR yöntemleri tahmin sürelerinde yaygın olarak kullanılan yaklaşımlardır (Prasad ve ark., 2014; Yu ve ark., 2013; Dietterich ve ark., 2000; Kee ve ark., 2017). Bu çalışmada birleşik YSA ve LR yaklaşımları çalıştırılmış ve her iki yaklaşımın sonucu hata karelerinin ortalamalarının kareköküne göre (RMSE-root mean square error) karşılaştırılmıştır.

Bu makalenin bundan sonraki bölümlerinde yapay sinir ağları modeli tanıtılmış, seyahat sürelerinin YSA ile hesaplanması tartışılmış ve sonuçlar bölümünde ise yapılan deney sonuçları ve uygulama paylaşılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada YSA algoritması otobüs sürelerini tahmin etmek için kullanılmıştır. Bu nedenle öncelikle birleşik YSA algoritması tanıtılacaktır ve daha sonra ise seyahat süresinin hesaplanması tartışılacaktır.

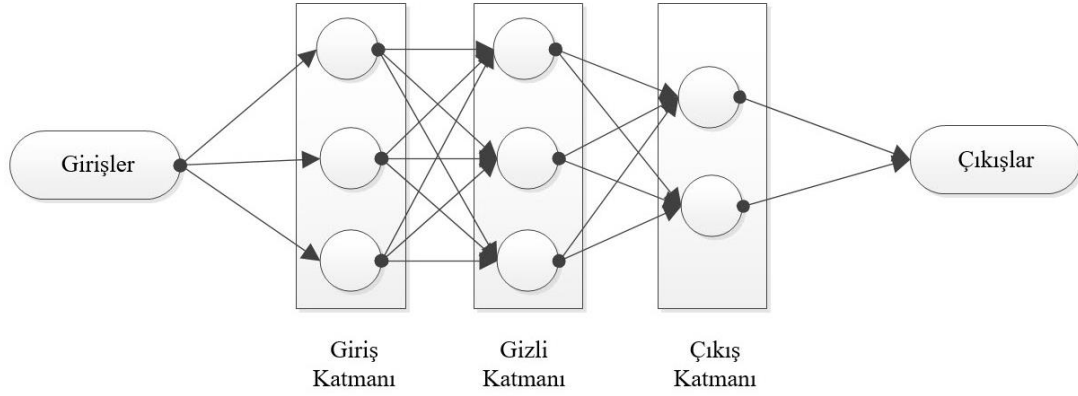
### 2.1. Birleşik Yapay Sinir Ağları

Seyahat süreleri genellikle otobüsün mevcut konumu ve hedef konum arasındaki güzergâh mesafesini kullanıp trafik koşulları ve yolcu alışkanlıklarına göre tahmin edilir (Jeong ve ark., 2004; Pan ve ark., 2012). YSA yöntemi seyahat süreleri tahminlerinde kullanılan yaygın bir yöntemdir (Dietterich ve ark., 2000).

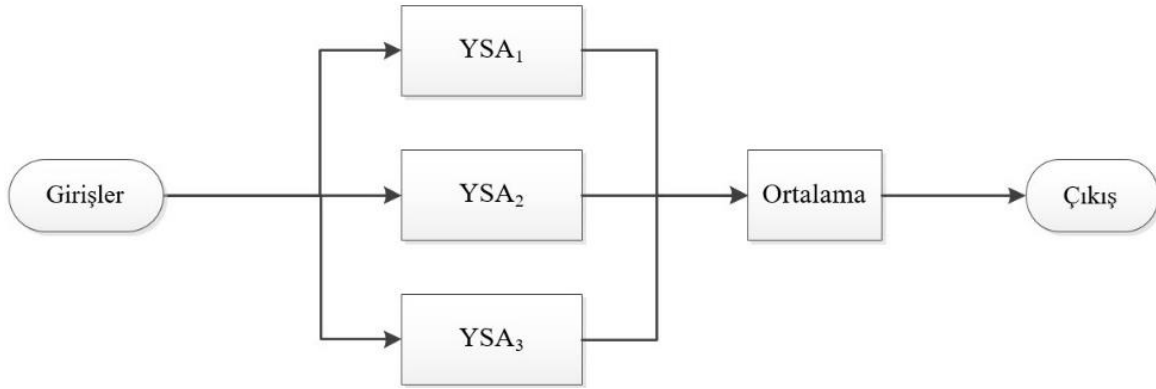
Yapay sinir ağları insan beyninin çalışma mekanizmasını taklit ederek beynin öğrenme, hatırlama ve genelleme yapma yolu ile yeni bilgiler türetebilme gibi temel işlevlerini gerçekleştirmek üzere geliştirilen mantıksal yazılımlardır (Dadaser-Celik ve ark., 2013). YSA biyolojik sinir ağlarını taklit eden sentetik yapılardır (Kesikoglu ve ark., 2019). Şekil 1'de yapay sinir ağlarının genel yapısı gösterilmiştir.

YSA'ya verilen girişler ağırlıklar ile çarpılarak toplanır ve aktivasyon fonksiyonlarından geçirilir. YSA'nın birden fazla ara katmanı olabilir. YSA modelleri, her biri büyük bir problemin bir parçası ile ilgilenen çok sayıda basit işlemci elemanlardan oluşmaları ve bağlantı ağırlıklarının ayarlanabilmesi gibi özelliklerinden dolayı önemli derecede esnek bir yapıya sahiptirler. Bu esnek yapı sayesinde ağırlık bir kısmının zarar görmesi modelde sadece performans düşüklüğü oluşabilmekte, problemin çözümünde büyük bir soruna yol açmamakta ve modelin işlevini tamamen yitirmesi söz konusu olmamaktadır. Bu nedenle, geleneksel yöntemlere göre hatayı tolere etme yetenekleri yüksektir.

Makine öğrenme yöntemlerinde birleşik (veya topluluk) çözümlerinin daha iyi tahminler ürettiği kanıtlanmıştır (Dietterich ve ark., 2000). Bu çalışmada birleşik YSA yaklaşımı kullanılmıştır. Birleşik çözümlerinin temel amacı, daha önceden farklı sınıflandırıcılar tarafından elde edilen değerlerin bir araya getirilmesi ile bir sonuç üretilmesidir. Birleşik YSA modeli, bir problemi çözmek için birçok sinir ağının birlikte kullanıldığı bir öğrenme paradigmasıdır. Birleşik YSA modelinin en büyük avantajı ise diğer yöntemlerin verilerini bir arada kullanabilmesinden dolayı daha iyi değerler elde edilebilmesidir ve bu özelliğinden dolayı bu çalışmada birleşik YSA yaklaşımı kullanılmıştır. Birleşik YSA modelini, aynı YSA modelinin farklı rastgele ağırlıklar ile birden çok (sayı eğitim veri kümesine göre değişmektedir) kopyası oluşturulmaktadır. Her bir YSA modeli standart YSA eğitim modeli ile eğitilmektedir. Sonuç olarak YSA modellerinin ürettiği sonuçların ortalaması alınarak sonuç elde edilmektedir. Bu çalışmada kullanılan birleşik YSA modeli Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Yapay Sinir Ağı Modeli



Şekil 2 Birleşik YSA Modeli

## 2.2. Seyahat Sürelerinin Hesaplanması

### 2.2.1. Birleşik YSA Modeli

Bu çalışmanın amacı araç seyahat sürelerinin birleşik YSA modeli ile tahmin etmektedir. Birleşik YSA yönteminde sonuçları elde etmek için girdinin ve çıktının net olarak belirlenmesi gerekmektedir. Araç seyahat sürelerinde seyahat süresi trafik koşullarına ve yolcu alışkanlıklarına bağlı olarak değişebilmektedir. Bu alışkanlıklar ve koşullar modele girdi olarak ne kadar fazla yansıtılırsa sonuçta o kadar doğru olacaktır. Trafik yoğunluğunun yüksek (peak) olduğu zamanlar bulunmaktadır ve bu durum bütün sonuçları etkilemektedir. Otobüs hatları için her hattın yoğun olduğu saatler kullanıcı alışkanlıklarına göre değişebilmektedir. Bütün bu etmenler göz önüne alındığında birleşik YSA ve LR yaklaşımları için kullanılan parametreler Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Seyahat süresi için kullanılan parametreler

Parametre Adı	Parametre Değeri
X <sub>1</sub>	Hat numarası
X <sub>2</sub>	Hat yönü
X <sub>3</sub>	Araç konum bilgilerinin alındığı haftanın günü (Pazartesi, Salı, ...)
X <sub>4</sub>	Araç konum bilgisinin alındığı tarih ile YSA'nın eğitim anındaki zaman farkı (gün sayısı)
X <sub>5</sub>	Araç ana durak hareket zamanı ile bulunduğu konumdaki zaman farkı (saat ve dakikanın toplam saniye cinsinden değeri)
X <sub>6</sub>	Araçın bulunduğu konumun hattın başlangıcına olan hat mesafesi (lineer referans sistemi mesafesi)
X <sub>7</sub>	Seyahat süresi tahmin edilecek durağın hattın başlangıcına mesafesi (lineer referans sistemi mesafesi)
Y <sub>1</sub>	Araçın durağa geliş süresi

Kullanılan verilerde gidiş ve dönüş hatları ayrı güzergâhı kullanan ve trafik koşulları ve yolcu alışkanlıkları farklı olan hatlardır. Bu yüzden hat numarasını gösteren X<sub>1</sub> ve hat yönünü gösteren X<sub>2</sub> parametreleri ayrı ayrı tanımlanmıştır ve bu parametreler sisteme giriş parametresi olarak verilmemektedir, sadece sistem tarafından oluşturulan sonuçların ayrı ayrı tutulması için tanımlanmıştır. X<sub>6</sub> ve X<sub>7</sub> parametreleri hat üzerindeki konumun hattın başlangıcına olan mesafeyi göstermektedir. Bu mesafe öklid mesafesi ya da en kısa yol mesafesi değildir. Hattın güzergâhı Oracle Standart sürüm veritabanında mekânsal (spatial) olarak tutulmaktadır. Bu mesafelerin hesaplanması için geometrik veriler LRS (Lineer Referans Sistemi) geometrisine çevrilerek hesaplanmıştır.

### 2.2.2. LR Modeli

Lineer regresyon bir veya daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi modellemeye yönelik yaygın olarak kullanılan doğrusal bir yaklaşımdır. Araç seyahat süresi modelleme için kullanılan LR yaklaşımı aşağıdaki formül ile ifade edilir. Eşitlikteki x bağımsız değişkeni, y bağımlı değişkeni ve b ise bağımsız değişkenlerin katsayısını göstermektedir. b katsayı değerleri en küçük kareler yöntemi ile bulunur.

$$y = b_0 + b_3x_3 + b_4x_4 + b_5x_5 + b_6x_6 + b_7x_7$$

### 2.2.3. Model Uygunluğu

Bu çalışmada önerilen modellerin uygunluğu RMSE değerlerine göre karşılaştırılmıştır. Hata karelerinin ortalamalarının karekökü (RMSE) model tarafından tahmin edilen değer ( $\hat{y}_i$ ) ile gerçekte ölçülen değer ( $y_i$ ) arasındaki farkı ifade eden ve önerilen yaklaşımın kalitesini gösteren bir parametredir. n kullanılan örnek sayısını göstermektedir. RMSE aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada KBB'ye ait gerçek otobüs GPS verisi kullanılmıştır. KBB ulaşım otobüs araçlarında bulunan cihaz tarafından gönderilen veriler araç Id, aracın enlemi, aracın boylamı ve aracın o an için çalıştığı hat numarası bilgisini göndermektedir. KBB veri setinde otobüs seferlerinin gidiş ve dönüş hatları aynı hat numarasına sahiptir fakat hatların güzergâhları ve seyahat süreleri birbirinden farklıdır. Araçta bulunan cihaz tarafından gönderilen veriler aracın yön bilgisini içermemektedir. Bu yüzden Oracle spatial veritabanında mekânsal sorgular çalıştırılarak aracın gidiş veya dönüş yönüne ait olduğu bulunmaktadır. Bina yoğunluğunun fazla olduğu yerlerde GPS sinyalleri kayma gösterebilmektedir. Bu yüzden aracın göndermiş olduğu son 5 konum dikkate alınarak aracın yön bilgisi hesaplanmaktadır. Sorguların hızlı çalışması için Şekil 3'te görüldüğü gibi veriler Oracle veritabanında mekânsal veriler SDO\_GEOMETRY tipinde tutulmakta ve mekânsal indeks oluşturulmaktadır. Araç içerisinde bulunan cihazlar yaklaşık olarak 2 saniye zaman diliminde konum göndermektedir.



ARAC_ID	HAT_NUMARASI	ENLEM	BOYLAM	GEOM	TARİH	HAT_ID	ACIKLAMA	HAT1_MESAFE	HAT2_MESAFE
13	530	38.755205	35.379045	MDSYS.SDO_GEOMETRY					
1078	641	38.705445	35.52339	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1072	641	38.704973	35.514593	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1069	606	38.632038	35.189423	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1065	408	38.714575	35.489658	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1042	827	38.651147	35.784293	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1034	594	38.788293	35.599628	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1032	292	38.714287	35.489358	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1031	785	38.847452	35.66147	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1017	392	38.738285	35.554443	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1016	563	38.698622	35.565768	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1011	901	38.729798	35.518163	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
1001	608	38.777447	35.580662	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
997	589	38.762482	35.564465	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
984	3	38.73778	35.388505	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]					
948	144	38.723942	35.48106	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	202	Eski Hat_CBNO:202 Yeni Hat CBNO:202 Hata Sayisi :0	3030	13359
935	181	38.715392	35.495108	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	-1	Konum 10 metreden fazla değişmedi.	0	0
930	643	38.729585	35.483243	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	2074	Eski Hat_CBNO:2074 Yeni Hat CBNO:2074 Hata Sayisi :5	19454	2788
903	60	38.707643	35.441958	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	378	Eski Hat_CBNO:378 Yeni Hat CBNO:378 Hata Sayisi :0	8524	0
871	517	38.739662	35.389112	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	2081	Eski Hat_CBNO:2081 Yeni Hat CBNO:2081 Hata Sayisi :0	255	26502
848	770	38.949078	36.037913	[MDSYS.SDO_GEOMETRY]	13/03/2020	-1	Konum 10 metreden fazla değişmedi.	91026	0

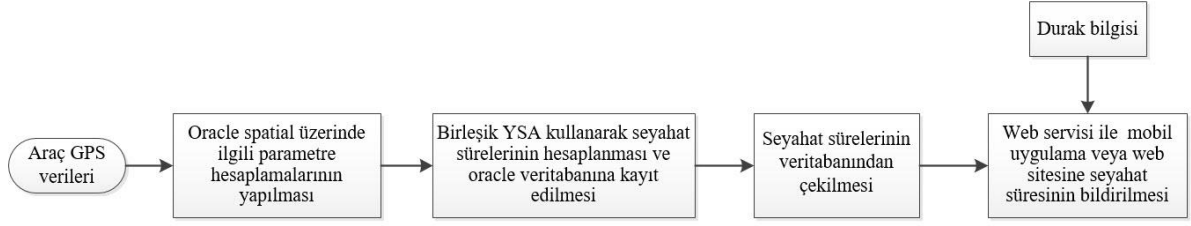
Şekil 3 Oracle Veritabanı Araç Konumları

Şekil 4’de bir aracın GPS konum geçmişi gösterilmiştir. Kırmızı etiketler aracın konumunu, sarı çizgi otobüs hat güzergâhını, sarı çizgi üzerinde bulunan ok işaretleri güzergâhın yönünü ve mavi etiketler ise hattın o güzergâhta duracağı otobüs duraklarını göstermektedir. Önerilen çalışmada öncelikle gelen GPS verileri Oracle veritabanına aktarılmakta ve sonra veritabanı üzerinde Tablo 1’de gösterilen X parametrelerinin değerleri hesaplanmaktadır. Otobüs güzergâhı araçlardan gelen konumlara göre segmentlere bölünmektedir. Hatta bulunan aracın bulunduğu zaman diliminde o segmenti ne kadar sürede geçeceği birleşik YSA modeli kullanılarak eğitilmekte ve veritabanına kaydedilmektedir. Bu işlem ile her hangi bir aracın hattın segmentlerini ne kadar sürede geçeceği birleşik YSA modeli ile tahmin edilmiş ve veritabanı kaydedilmiş olmaktadır. Bundan sonraki işlem ise hesaplanan verilerden bir durağa otobüsün ne kadar süre sonra geleceğini göstermektir. Bu işlemde otobüsün hatta bulunduğu konum ile durağın bulunduğu konum arasındaki segmentler bulunarak aracın bu segmentleri ne kadar sürede geçeceği hesaplanır. Hesaplanan bu süre web servisi yolu ile mobil uygulama veya web sitesine servis edilir. Önerilen sistem mimarisi Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 4 Araç GPS konum bilgileri





Şekil 5 Sistem Mimarisi

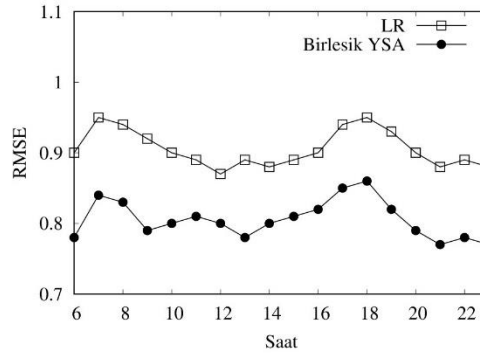
Önerilen sistemin doğrulunu göstermek için KBB'nin gerçek GPS verileri üzerinde deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş, birleşik YSA ve LR sonuçları karşılaştırılmıştır. Birleşik YSA yaklaşımında kullanılan YSA modeli ileri beslemeli bir yapıdadır. Kullanılan YSA yapısı 10 nöron, 1 gizli katmanı ve 1 adet çıkış katmanından oluşmaktadır.

Bu çalışmada yapılan deneyler Intel Xenon Gold 5118 CPU 2.30 GHz (4 Çekirdek) 16 GB Ram 600 GB SSD disk özellikleri ve Windows Server 2012 işletim sistemine sahip sunucu üzerinde yapılmıştır.

### 3.1. Deneysel Sonuçlar

Otobüs seyahat süresi tahmini için kullanılan birleşik YSA ve LR modellerinin doğruluklarının karşılaştırılması için hata karelerinin ortalamalarının karekökü (RMSE - root mean square error) kullanılmıştır. Şekil 6'da birleşik YSA ve LR yaklaşımları hatların aktif olarak kullanıldığı 06-23 saat aralığı için seyahat süreleri tahminlerine göre RMSE değerleri gösterilmiştir. KBB'ye ait 800 adet farklı otobüs hattının GPS verileri kullanılmıştır. Bu verilerden her bir hat için o hatta ait verilerin %80 eğitim verisi %20'de test verisi olarak kullanılmıştır.

Şekil 6'da görüldüğü gibi birleşik YSA yaklaşımı LR yaklaşımından çok daha iyi sonuçlar üretmiştir. Sabah 6-8 ve akşam 17-19 saatleri arası işe gidiş-geliş saatleri olduğundan toplu taşıma araçları ve trafik durumları o saatlerde değişiklik göstermekte ve her iki yaklaşımın da RMSE değerleri o saatlerde pik değere ulaşmaktadır.



Şekil 6 Algoritmaların RMSE Değerleri

### 3.2. Seyahat Süresi Bildirim Uygulaması

Önerilen birleşik YSA yaklaşımı KBB'nin Akıllı Şehir Kayseri mobil uygulamasının ulaşım bölümünde entegre olarak çalışmaktadır. KBB'nin kurumsal mobil uygulaması Şekil 7(a)'de gösterilmiştir. Uygulama kapsamında KBB bütün otobüs duraklarına Şekil 7(b)'de görüldüğü gibi Kare Kod montajı yapmıştır.

KBB'nin mobil uygulamasında ulaşım menüsünde Şekil 7(c)'de görünen ekran açılmaktadır. Bu ekranda en yakın duraklar sekmesinin altında kullanıcının GPS konumu kullanılarak kendisine en yakın olan otobüs durakları otomatik olarak gelmektedir. Kullanıcı isterse en yakın duraklardan birini seçebilir, durak numarası kutusuna durak numarası yazabilir ya da durakta bulunan kare kodu okutarak duraktan geçecek otobüslerin listesini görebilir.



a) Giriş ekranı



b) Durak kare kodu



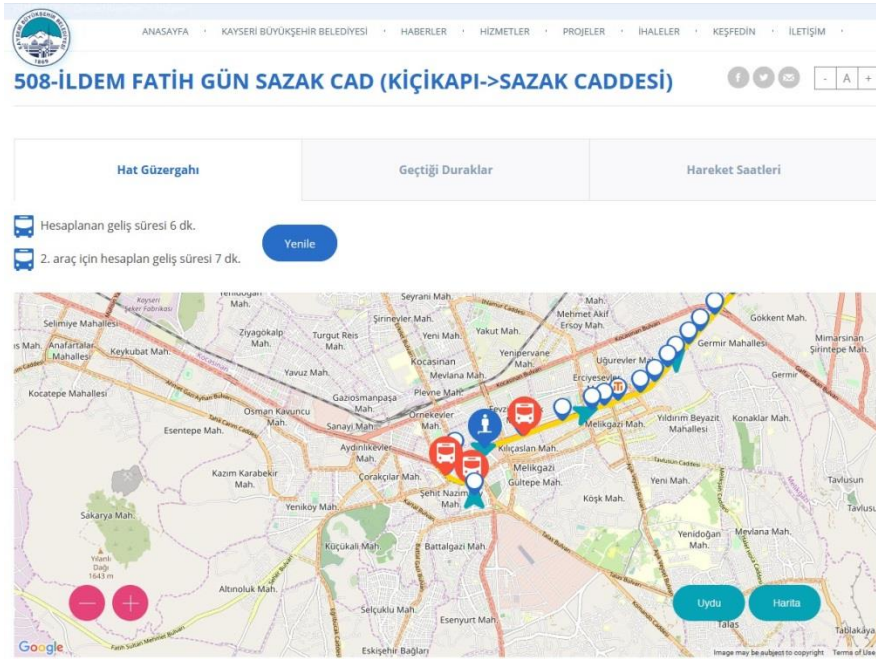
c) Ulaşım ekranı



d) Tahmin edilen seyahat süresi

Şekil 7 Mobil uygulama ekranları ile ilgili ekranlar

Hat seçildikten sonra açılan menü içerisinde hattın harita üzerinde yön bilgisi ile birlikte güzergâhı, hatta bulunan araçların konumları, kullanıcının konumu, hattın geçtiği duraklar ve hareket saati bilgileri gözükmektedir. Kullanıcılar mobil uygulamadan yapmış olduğu bütün işleri KBB'nin kurumsal web sitesinde başka hiçbir sayfaya yönlendirilmeden yapabilmektedir. Açılan bu detay sayfası Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8 Web Sitesi Detay Ekranı

Birleşik YSA yaklaşımı sayesinde bir otobüsün bir noktadan bir noktaya ne kadar sürede geleceği çok doğru şekilde tahmin edilmektedir. Toplu taşıma araçlarını yoğun şekilde kullanan kullanıcılar durak bazlı hareket saatlerine ihtiyaç duymaktadır. YSA ile bütün duraklar için ana durak hareket saatleri baz alınarak durak bazlı hareket saatleri hesaplanmıştır. Fakat hesaplanan bu veriler anlık değildir ve ana duraktan otobüsün geç ya da erken hareket etme durumuna göre kullanıcılara mağduriyetler yaratmaktadır. Bunun önüne geçmek için ise duraklarda otobüsün ne kadar erken ya da geç geldiğinin ortalanması alınmış ve bu değer yaklaşık bir değer olarak sunulmuştur. Bu sayede durak bazlı hareket saatini kullanan kullanıcılar henüz otobüs ana duraktan hareket etmeden bile otobüsün o durağa yaklaşık olarak hangi dakikada geldiğini göre bilmekte ve planlarını ona göre yapabilmektedir. Yapılan bu çalışma Şekil 9'da gösterilmiştir.

Durak Seçiniz

32 - SIVAS BUL.B.KAYSERİ FORM 4

"32 - SIVAS BUL.B.KAYSERİ FORM 4" Durağı Hareket Saatleri

Haftaiçi	Cumartesi	Pazar
09:09 (±2dk.)	09:09 (±2dk.)	09:09 (±2dk.)
11:09 (±2dk.)	11:09 (±2dk.)	11:09 (±2dk.)
13:10 (±3dk.)	13:10 (±3dk.)	13:10 (±3dk.)
15:11 (±3dk.)	15:11 (±3dk.)	15:11 (±3dk.)
17:12 (±3dk.)	17:12 (±3dk.)	17:12 (±3dk.)
20:09 (±2dk.)	20:09 (±2dk.)	20:09 (±2dk.)

Şekil 9 Durak Bazlı Hareket Saat Bilgileri

## 4. Sonuç

Toplu taşıma araçlarını kullanan birçok yolcu, duraklarda beklemelelerinden dolayı zaman kaybı yaşamaktadır. Gerçek zamanlı trafik koşullarının ve trafik olaylarının karmaşıklığı ve çeşitliliği nedeniyle otobüslerin, duraklara geliş zamanlarını tahmin etmek zor bir problemdir. Zaman kaybının en aza indirilmesi için toplu taşıma araçlarının duraklara geliş süresinin doğru şekilde hesaplanması ve yolculara bildirilmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, toplu taşıma araçlarının duraklara varış zamanını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için birleşik yapay sinir ağları (YSA) algoritması tabanlı bir sistem önerilmiştir. Çalışmada geliştirilen birleşik YSA algoritmasının sonuçları lineer regresyon yöntem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları önerilen birleşik YSA yaklaşımının lineer regresyon yaklaşımına göre daha doğru sonuçlar verdiğini göstermiştir.

## Kaynakça

- Amita, J., Jain, S. S., & Garg, P. K. (2016). Prediction of bus travel time using ANN: a case study in Delhi. *Transportation Research Procedia*, 17, 263-272.
- Dadaser-Celik, F., & Cengiz, E., (2013). A neural network model for simulation of water levels at the Sultan Marshes wetland in Turkey. *WETLANDS ECOLOGY AND MANAGEMENT*, vol.21, 297-306.
- Dietterich, T. G. (2000, June). Ensemble methods in machine learning. In *International workshop on multiple classifier systems* (pp. 1-15). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gökrem, L., & Bozuklu, M. (2016). Nesnelerin interneti: Yapılan çalışmalar ve ülkemizdeki mevcut durum. *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi*, (13), 47-68.
- Gurmu, Z. K., & Fan, W. D. (2014). Artificial neural network travel time prediction model for buses using only GPS data. *Journal of Public Transportation*, 17(2), 3.
- Jeong, R., & Rilett, R. (2004, October). Bus arrival time prediction using artificial neural network model. In *Proceedings. The 7th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (IEEE Cat. No. 04TH8749)* (pp. 988-993).
- Jiang, R., Qu, M., & Chung, E. (2014). Traffic incident clearance time and arrival time prediction based on hazard models. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
- Kayseri Büyükşehir Belediyesi. (2020, March 10). Retrieved from <https://www.kayseri.bel.tr>.
- Kee, C. Y., Wong, L. P., Khader, A. T., & Hassan, F. H. (2017, September). Multi-label classification of estimated time of arrival with ensemble neural networks in bus transportation network. In *2017 2nd IEEE International Conference on Intelligent Transportation Engineering (ICITE)* (pp. 150-154).
- Kesikoglu, M. H., ATASEVER, Ü. H., Dadaser-Celik, F., & ÖZKAN, C., (2019). Performance of ANN, SVM and MLH techniques for land use/cover change detection at Sultan Marshes wetland, Turkey. *WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY*, vol.80, 466-477.
- Li, F., Yu, Y., Lin, H., & Min, W. (2011, July). Public bus arrival time prediction based on traffic information management system. In *Proceedings of 2011 IEEE International Conference on Service Operations, Logistics and Informatics* (pp. 336-341).
- Liu, J., & Xiao, G. (2019, May). Efficient Bus Arrival Time Prediction Based on Spark Streaming Platform. In *2019 IEEE 23rd International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)* (pp. 416-421).
- Pan, J., Dai, X., Xu, X., & Li, Y. (2012, October). A self-learning algorithm for predicting bus arrival time based on historical data model. In *2012 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems* (Vol. 3, pp. 1112-1116).
- Prasad, K. S. N., & Ramakrishna, S. (2014). An efficient traffic forecasting system based on spatial data and decision trees. *Int. Arab J. Inf. Technol.*, 11(2), 186-194.
- Tufan, H. (2014). Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Türkiye için bir AUS Mimarisi Önerisi. *Ulaştırma ve Haberleşme Uzmanlığı Tezi, TC Ulaştırma Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı*.
- Yaghini, M., Khoshraftar, M. M., & Seyedabadi, M. (2013). Railway passenger train delay prediction via neural network model. *Journal of advanced transportation*, 47(3), 355-368.
- Yu, H., Xiao, R., Du, Y., & He, Z. (2013, December). A bus-arrival time prediction model based on historical traffic patterns. In *2013 International Conference on Computer Sciences and Applications* (pp. 345-349).



# Uluslararası Turist Gelişlerinin Kaba Küme Temelli Yaklaşımla Tahmin Edilmesi\*

Mihrimah Özmen<sup>1\*\*</sup>

<sup>1</sup> Endüstri Mühendisliği Bölümü / Erciyes Üniversitesi, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2648-5865)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf11)

**ATIF/REFERENCE:** Özmen, M. (2020). Uluslararası Turist Gelişlerinin Kaba Küme Temelli Yaklaşımla Tahmin Edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 80-87.

## Öz

Turizm, uluslararası ticaretin önemli oyuncularından biri haline gelmektedir ve aynı zamanda birçok gelişmekte olan ülke için ana gelir kaynaklarından birini temsil etmektedir. Son yıllarda dünyanın en hızlı büyüyen ekonomik sektörlerinden biri olan turizm sektörü küresel gayri safi yurtiçi hasılaya yüzde 10' dan fazla katkı sağlayarak 10 işten 1'ini oluşturmuştur. Sanayileşmiş ve gelişmiş ülkelerde turizmin küresel olarak yaygınlaşması, inşaattan tarıma, telekomünikasyona kadar ilgili birçok sektörde ekonomik ve istihdam katkı sağlamaktadır. Turizm sektörü büyümeyi ve kalkınmayı teşvik ederek, istihdam yaratarak, yoksulluğu azaltarak milyonlarca insanın hayatında fark yaratmaktadır. Böylelikle ekonomik büyümenin önemli güçlerinden biri olduğu kanıtlanmış ve ekonomik büyümeye önemli ölçüde katkı sağlamıştır. Turizmin ekonomik gelişmeye katkısı, sunulan hizmetinin kalitesine ve gelirine bağlıdır. Dünya Turizm Örgütü özellikle gelişmekte olan ülkelerin daha da karmaşık hale gelen ulusal ve uluslararası pazarlarda turizm sektörünün sürdürülebilir hale getirmenin önemini vurgulamaktadır. Emek yoğun bir sektör olan turizm sektöründe yer alan işletmeler ve bunların tedarikçileri turizm talebinin tahmin bilgisine ihtiyaç duymaktadır. Turizm talebinin doğru tahmin edilmesi, turizm işletmelerinin başarısı için son derece önemlidir. Literatürde, kaba küme teorisi, bilgi veri tabanının karmaşıklığını azaltmak için yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, Dünya Ekonomik Forumu "Seyahat ve Turizm Rekabet Edebilirlik Endeksi" verilerinden uluslararası turist gelişleri kaba küme teorisine dayanan kural türetme algoritmasıyla tahmin edilmiştir. Çalışmada ülkeler 88 nitelik için aldığı değer bilgisi ışığında değerlendirilmiştir. Ülkelerin turist sayıları tahmininde kaba küme temelli kural türetme algoritması olan LEM2 algoritması uygulanmıştır. Uygulama sonucunda uluslararası turist gelişlerinin yüksek başarıyla öngörebilen kurallar elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kaba küme teorisine dayanan kural türetme algoritmaları uluslararası turist gelişlerinin ve davranış biçimlerinin öngörülmesini sağlayabilecek uygun bir yöntemdir.

**Anahtar Kelimeler:** Turizm, Uluslararası Turist Gelişleri, Kaba Küme Teorisi, Kural Çıkarımı, Veri Madenciliği.

## Rough Sets-Based Prediction Model For International Tourist Arrivals

### Abstract

Tourism is becoming one of the major players in international trade and also represents one of the main sources of income for many developing countries. Globalization of tourism in industrialized and developed countries contributes economically and employment in many related sectors from construction to agriculture to telecommunications. The tourism sector makes a difference in the lives of millions of people by promoting growth and development, creating jobs, reducing poverty. Thus, it has been proven to be one of the important powers of economic growth and has contributed significantly to economic growth. The contribution of tourism to economic development depends on the quality and income of the service. The World Tourism Organization emphasizes the importance of making the tourism sector sustainable, especially in national and international markets, which are becoming more complex in developing countries. Accurate prediction of tourism demand is of utmost relevance for the success of tourism businesses. In

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Endüstri Mühendisliği Bölümü / Erciyes Üniversitesi, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2648-5865, [mihrimah@erciyes.edu.tr](mailto:mihrimah@erciyes.edu.tr)



literature, the rough set theory has been widely used approach to reduce the complexity of the knowledge database. In this study, it is aimed to predict international tourist arrivals with rule extraction algorithm based on rough set theory. "Travel and Tourism Competitiveness Index" dataset collected by the World Economic Forum were used. In the study, the rule extraction algorithm, LEM2, was applied to the dataset and the rules that can predict the arrivals of international tourists with high performance were obtained. According to the results obtained, rule derivation algorithms based on the rough set theory are an efficient method that can provide predictions of international tourist arrivals and behaviors.

**Keywords:** Tourism, International Tourist Arrivals, Rough Set Theory, Rule Extraction, Data Mining.

## 1. Giriş

Ülkeler, GSYİH katkısı sayesinde turizmde kazanmanın yanı sıra, özellikle otel/eğlence hizmetleri ile ilişkili sektörlerde birçok kişi istihdam edilmektedir. 2016 yılında uluslararası turist sayısı, 2015 yılına göre 46 milyon daha artarak 1,2 milyar gerçekleşmiştir. 2030 yılına kadar öngörülen 1.8 milyar uluslararası turist ile sektör, yüksek kaliteli istihdam fırsatları yaratma ve insanlar, kültürler arasında köprüler kurma potansiyeline sahiptir. Araştırmalar her yeni 30 turistin yeni bir iş yarattığını göstermektedir ve turizm sektöründe diğer sektörlerle göre neredeyse iki kat daha fazla kadın işveren çalışmaktadır. Dünya’ da hizmet ihracatının % 30'unu ve gelişmekte olan birçok ülkede en büyük ihracat kategorisini oluşturan sektör muazzam bir istihdam üreticisidir (Jackson ve Tamuke, 2019).

Turizm sektöründe talep tahmini, bir sonraki yılın planlaması ve politikalarının oluşturulmasında yardımcı bilgiler sağlaması açısından önemlidir. Literatürde yer alan turizm modellemesi ve turist sayısı tahmininde kullanılan yöntemler dört grupta incelenebilir: zaman serisi modelleri, ekonometri modelleri, yapay zeka teknikleri ve nitel yöntemler. Literatürde turistlerin davranış ve eğilimlerini yansıtan internet arama sorguları, turizm tahmin modellerinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte, arama motoru indeksi turizm tahmininin modelleme sürecinde büyük fırsatlar sağlamıştır (Li vd. 2017).

Veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarında; bazı sistemlerdeki değişiklikler, kesin olmayan veya belirsiz değerler gibi sebeplerden dolayı kural elde edilmesinde bazı zorluklarla karşılaşmaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelmek için Kaba Küme temelli yöntemler uygulamaktır Skowron ve Dutta (2018), karmaşık sistemlerin modellenmesinde uygulanan Kaba Küme yaklaşımları ile verilerden anlamlı kuralların elde edilmesini sağlamıştır. Kaba küme temelli yaklaşımların geleneksel yöntemlere nazaran orijinal bilgilerin haricinde bilgi olmadan kullanılması, nicel ve nitel veri analizi, gizli bilgi ve kalıpların keşfedilmesi, anlaşılması kolay kurallar elde edilmesi gibi avantajları vardır (Dimitras, 2019 - Shen ve Loh, 2004).

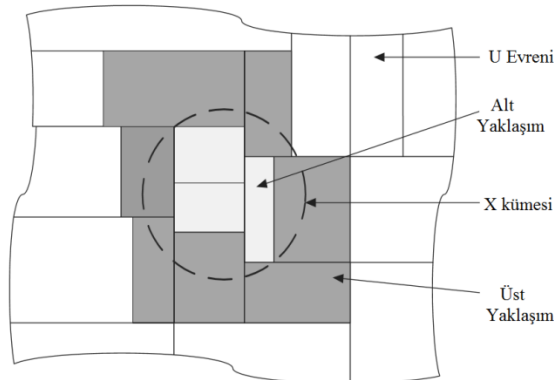
Bu çalışmada kaba küme temelli sınıflama algoritması LEM2 ile Dünya Ekonomik Forumu Seyahat ve Turizm Rekabet Edebilirlik Endeksi verilerinden uluslararası turist sayılarının tahmin edilmiştir. Çalışmanın devamından ilk olarak önerilen model tanıtılmıştır. Sonraki bölümde ise önerilen model ile kural çıkarımı yapıp sonuçları verilmiştir. Son bölümde ise çalışmanın literatüre katkısı ve gelecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Kaba Küme Teorisi

Z. Pawlak (1995, 1997), tarafından geliştirilen kaba küme teorisi, veri ve karar verme sürecindeki doğal belirsizliği yönetebilen bir matematiksel araçtır. kaba küme teorisi 30 yılı aşkın bir süredir incelenmekte ve makine öğrenimi, veri madenciliği, karar desteği, tahmin modelleme, süreç kontrolü, otomatik sınıflandırma vb. alanlarda kullanılmaktadır.

"Kaba küme analizi, Pawlak tarafından literatüre kazandırılan kaba küme teorisine dayanan bir matematiksel yaklaşımdır. Kaba kümenin amacı, belirsiz veri kaynaklarından bilgiyi keşfetmektir. Kaba küme teorisi, ayırt edilemezlik kavramı ve nesnelerin ayırt edilememesi üzerine kuruludur. Ayrıca hatalı verilerin ele alınmasına yönelik bir yaklaşım olarak kaba küme analizi; olasılık teorisi, kanıt teorisi ve bulanık küme teorisi gibi daha geleneksel teorileri tamamlamaktadır.



Şekil 1. Kaba Kümenin Gösterimi (Olson ve Delen, 2008)

Son yıllarda kaba küme teorisi, araştırmacılar için büyük bir ilgi konusu haline gelmiştir ve birçok alanda uygulanmıştır.”



“Kaba küme teorisi; veri analizi için nesnelere yaklaşık tanımlarını oluşturmada etkili bir tekniktir. Bir kaba küme; alt ve üst yaklaşımlar denilen bir çift kesin kavramlar tarafından tanımlanan belirsiz bir kavramın yaklaşımlarıdır. Bilgi içeriğini koruyarak gereksiz nitelikleri değerli veri kümelerinden çıkarmak için kaba küme kullanılmaktadır. Kaba küme teorisinde nitelik indirgeme temeli ayırt edilemezlik kavramına dayanmaktadır. Bilgi sistemi  $I = (U, A)$  ile ifade edilir ve  $U$  boş olmayan örnek kümesini,  $A$  boş olmayan nitelikler kümesini ve  $\forall a \in A, V_a$  ise  $a$  niteliğinin alabileceği değerler kümesini ifade eder (Jensen ve Shen, 2004).”

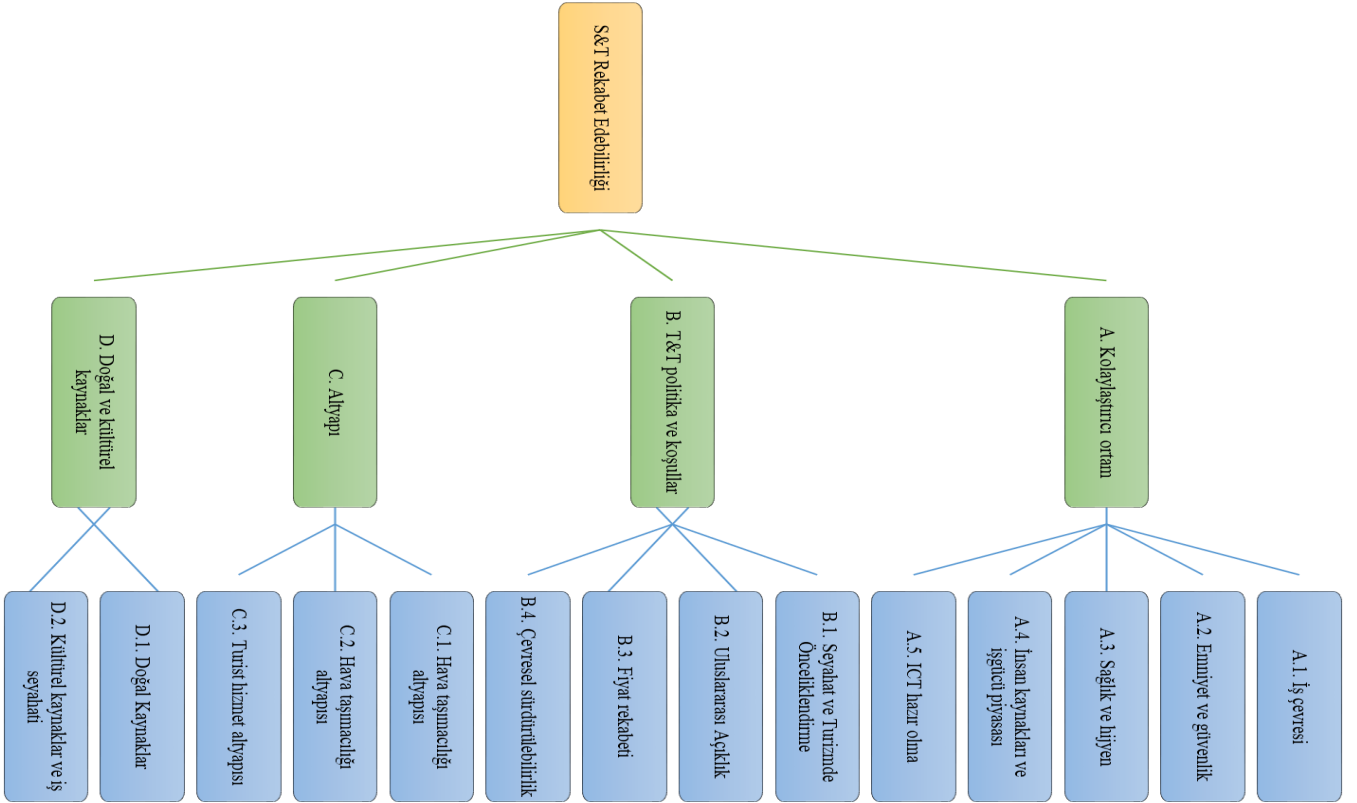
Karar sisteminde  $A = \{C \cup D\}$ ,  $C$  koşullu nitelikleri ve  $D$  karar niteliğini göstermektedir. Herhangi bir  $P \subseteq A$  ile ilişkili  $IND(P)$  şeklinde bir denklik ilişkisi vardır.

$$IND(P) = \{(x, y) \in U^2 \mid \forall a \in P, a(x) = a(y)\} \quad (1)$$

$IND(P)$  tarafından üretilen  $U$ 'nun bölümü  $U/P$  olarak gösterilir ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$U/P = \otimes \{a \in P : U/IND(\{a\})\}, \quad (2)$$

$$A \otimes B = \{X \cap Y : \forall X \in A, \forall Y \in B, X \cap Y \neq \emptyset\} \quad (3)$$



Şekil 2. Ülkelerin uluslararası turist gelişmelerini etkileyen kriterler (Crotti ve Misrahi, 2017)

## 2.2. Önerilen Kaba Küme Temelli Uluslararası Turist Sayısı Tahmin Modeli

Önerilen uluslararası turist sayısı tahmin modeli bir dizi aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada veri setinin hazırlanması ve örneklenmesi yer almaktadır. Daha sonra hazırlanan veri seti veri temizleme ve ön işleme aşamasından geçerek veri madenciliği algoritmaları için uygun hale getirilir. Ön işleme aşamasından geçen veri setinden LEM2 algoritması ile kural çıkarımı gerçekleştirilir. Elde edilen kurallar uzmanlar tarafından incelenip listelenmiştir. Uzman bilgisi sonuçların gözden geçirilmesi, önemli bilgilerin belirlenmesi ve hangi bilgilerin gereksiz olduğuna karar verilmesinde de katkı sağlayabilir ve çok önemlidir.

### 2.2.1. Veri Hazırlama ve Örnekleme

Çalışmada, Dünya Ekonomi Forumu tarafından, “Seyahat ve Turizm Rekabet Edebilirlik Endeksi” için incelenen 136 ülkenin kapsamlı veri kümesi üzerinde çalışılmıştır. Bu veriler, ek temel göstergeler de dahil olmak üzere toplam 88 nitelik ile her ülkenin turizm sektörü hakkında tam bir bilgi sunmaktadır. Veri setinde yer alan niteliklerin hiyerarşik yapısı Şekil 2’de verilmiştir.

Hiyerarşik yapısı verilen nitelikler ve alt nitelikleri şöyledir:

A. Kolaylaştırıcı ortam

A.1 İş çevresi

- A1.1 Mülkiyet hakları
- A1.2 Kuralların FDI üzerindeki etkisi
- A1.3 Uyuşmazlıkların çözümünde yasal çerçevenin etkinliği
- A1.4 Rejimlerde yasal çerçevenin etkinliği
- A1.5 İnşaat izinleri için gereken süre
- A1.6 İnşaat izinleri maliyeti (% inşaat maliyeti)
- A1.7 Pazar hakimiyeti kapsamı
- A1.8 İşe başlamak için gün sayısı yok
- A1.9 Bir işletme kurma maliyeti (kişi başına GSMG% 'si)
- A1.10 Vergilemenin çalışma teşvikleri üzerindeki etkisi
- A1.11 Vergilemenin yatırım teşvikleri üzerindeki etkisi
- A1.12 Toplam vergi oranı kâr yüzdesi
- A.2 Emniyet ve güvenlik
- A2.1 Suç ve şiddetin işletme maliyetleri
- A2.2 Polis hizmetlerinin güvenilirliği
- A2.3 Terörün işletme maliyetleri
- A2.4 Terör olayı indeksi
- A2.5 Cinayet vakaları / 100.000 nüfus
- A.3 Sağlık ve hijyen
- A3.1 Hekim sayısı / 1.000 nüfus
- A3.2 Nüfusun iyileştirilmiş sanitasyon erişim yüzdesi
- A3.3 Nüfusun gelişmiş içme suyuna erişimi olan yüzdesi
- A3.4 Hastane yatakları / 10.000 kişi
- A3.5 HIV prevalansı yetişkin kişi
- A3.6 Sıtma vakaları / 100.000 kişi
- A.4 İnsan kaynakları ve işgücü piyasası
- A4.1 İlköğretime kayıt net%
- A4.2 Ortaöğretime kayıt brüt%
- A4.3 Personel eğitiminin kapsamı
- A4.4 Müşterilerin tedavisi
- A4.5 İşe alma ve işten çıkarma uygulamaları
- A4.6 Kalifiye eleman bulma kolaylığı (en iyisi)
- A4.7 Yabancı işçi çalıştırma kolaylığı
- A4.8 Ücret ve verimlilik
- A4.9 Kadınların işgücüne katılımı erkeklere oranı
- A.5 ICT hazır olma
- A5.1 İşletmeler arası işlemler için BİT kullanımı
- A5.2 İşletmelerden tüketiciye işlemler için internet kullanımı
- A5.3 İnternet kullanan bireyler%
- A5.4 Sabit geniş bant İnternet abonelikleri / 100 kişi
- A5.5 Cep telefonu abonelikleri / 100 kişi
- A5.6 Aktif mobil geniş bant İnternet abonelikleri / 100 kişi

- A5.7 Mobil ağ kapsama oranı nüfus yüzdesi.
- A5.8 Elektrik arz kalitesi
- B. S&T politika ve koşullar
  - B.1 Seyahat ve Turizmde Önceliklendirme
    - B1.1 Devletin seyahat ve turizm endüstrisine öncelik vermesi
    - B1.2 T&T hükümet harcamaları
    - B1.3 Turistleri çekmek için pazarlama ve markalamanın etkinliği
    - B1.4 Yıllık T&T verilerinin kapsamlılığı
    - B1.5 Zamanında Aylık / üç aylık S&T verisi sağlama
    - B1.6 Ülke marka stratejisi değerlendirmesi
  - B.2 Uluslararası Açıklık
    - B2.1 Vize şartları
    - B2.2 İkili Hava Hizmet Anlaşmalarının Açıklığı
    - B2.3 Yürürlükteki bölgesel ticaret anlaşmalarının sayısı
  - B.3 Fiyat rekabeti
    - B3.1 Bilet vergileri ve havaalanı ücretleri
    - B3.2 Otel fiyat endeksi
    - B3.3 Satın alma gücü paritesi
    - B3.4 Yakıt fiyatı seviyeleri
  - B.4 Çevresel sürdürülebilirlik
    - B4.1 Çevre düzenlemelerinin sıklığı
    - B4.2 Çevre düzenlemelerinin uygulanması
    - B4.3 Seyahat ve turizm endüstrisinin gelişiminin sürdürülebilirliği
    - B4.4 Partikül madde (2.5) konsantrasyonu
    - B4.5 Çevresel antlaşma onayı
    - B4.6 Temel su stresi
    - B4.7 Tehdit altındaki türler
    - B4.8 Orman örtüsü değişimi
    - B4.9 Atık su arıtma
    - B4.10 Kıyı balıkçılığı
- C. Altyapı
  - C.1 Hava taşımacılığı altyapısı
    - C1.1 Hava ulaşım altyapısının kalitesi
    - C1.2 Mevcut koltuk kilometre yerli
    - C1.3 Mevcut koltuk kilometreleri uluslararası
    - C1.4 Uçak Kalkışları
    - C1.5 Havaalanı yoğunluğu havaalanı / milyon kişi
    - C1.6 Havayolu sayısı
  - C.2 Hava taşımacılığı altyapısı
    - C2.1 Yolların kalitesi
    - C2.2 Demiryolu altyapısının kalitesi
    - C2.3 Liman altyapısının kalitesi

- C2.4 Kara taşımacılığı verimliliği
- C2.5 Demiryolu yoğunluğu
- C.3 Turist hizmet altyapısı
  - C3.1 Otel odaları
  - C3.2 Turizm altyapısının kalitesi
  - C3.3 Büyük araç kiralama şirketlerinin varlığı (en iyi)
  - C3.4 100.000 yetişkin başına otomatik vezne makine sayısı
- D. Doğal ve kültürel kaynaklar
  - D.1 Doğal Kaynaklar
    - D1.1 Dünya Mirası olan doğal yerlerinin sayısı
    - D1.2 Bilinen toplam tür
    - D1.3 Toplam korunan alanlar
    - D1.4 Doğal turizm dijital talebi
    - D1.5 Doğal varlıkların çekiciliği
  - D.2 Kültürel kaynaklar ve iş seyahati
    - D2.1 Dünya Mirası kültürel yerlerinin sayısı
    - D2.2 Sözlü ve somut olmayan kültürel miras
    - D2.3 Spor stadyumları
    - D2.4 Uluslararası dernek toplantılarının sayısı
    - D2.5 Kültür ve eğlence turizmi dijital talebi

Her bir ülkenin yukarıda verilen 88 nitelik için aldığı değer bilgisi ışığında ülkelerin Dünya Bankası verilerine göre 2017 yılı uluslararası turist sayıları kaba küme temelli LEM2 algoritması ile tahmin edilmiştir (<https://data.worldbank.org/>).

### 2.2.2. Veri Temizleme ve Ön İşleme

Veri madenciliğinde, anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için veriyi ön işleme tabi tutulur. Bu nedenle verilerin temizlenmesi ve ön işlemden geçmesi önemli bir aşamadır. Genellikle, veri temizleme ve ön işleme, toplam veri madenciliği uğraşının yaklaşık %80' ini oluşturur. Turizm veri kümesinde de eksik, gürültülü ve yanlış veriler yer almaktadır.

Veri kümesinde eksik verinin yer alması sık karşılaşılan bir sorundur. Eksik veri oranının % 1'den az olması veri madenciliği kalitesi üzerinde etkisiz olarak kabul edilirken, eksik veri oranı %1-5 arasında ise bu durumla başa çıkılabilir. Ancak bu oran %5-15 arasında ise gelişmiş yöntemler uygulamak gerekmektedir (Acuna ve Rodriguez, 2004).

Önerilen modelde kullanılan veri setinin eksik veri oranı da dikkate alındığında, iyi sonuç elde edebilmek için veri temizleme ve ön işleme aşamasına ayrıca önem verilmiştir. Bu aşamada eksik değerler tamamlanmış ve hatalı veriler düzeltilmiştir. Bu aşamanın modele eklenmesiyle önerilen modele aynı zamanda eksik, gürültülü ve yanlış verilerin de üstesinden gelebilme yetisi kazandırılmıştır.

### 2.2.3. Kaba Küme Temelli LEM 2 Algoritması ile Kural Çıkarımı

Bu çalışmada kural elde etmek için LEM2 (Learning by Examples-Module 2) algoritması uygulanmıştır. ROSE-2 paket programında uygulanan LEM2 algoritması, kaba küme teorisinin alt yaklaşım kümesi ya da üst yaklaşım kümesine dayanan, veriden kural oluşturmada kullanılan denetimli tüm nesnelere kapsayan minimal bir kurallar dizisi üretir. LEM2 algoritmasının sahte kodu aşağıdaki gibidir (Sabu ve Raju 2011):

Algoritma LEM2(X)

// X alt/üst yaklaşımı olan nesnelere kümesini ifade eder

// seçilen kavramın yaklaşımı.

// t nitelik değeri çiftini ifade eder.

// Algoritma, X'in tek bir yerel kapsayan L sonucunu verir.

{  
  G := X;  
  L := ∅;

```

while (G ≠ ∅) do
{
  T := ∅;
  T(G) := {t \ [t] ∩ G ≠ ∅};
  while ((T = ∅) or (not([T] ⊆ X)))
  {
    Select a pair t ∈ T(G) such that |[t] ∩ G| is maximum.
    if a tie occurs arbitrarily select any one pair.
    T := T ∪ {t};
    if ([t] ∩ G ≠ ∅)
    {
      G := [t] ∩ G;
      T(G) := {t \ [t] ∩ G ≠ ∅; t ∈ T(G)}
      T(G) := T(G) - T;
    } }
  for each t in T do
  { if ((T - {t}) ≠ ∅) then

      if ([T - {t}] ⊆ X) then
        T := T - {t};
    }
  L := L ∪ {T};

  G := X - ∪_{T ∈ L} [T];
}
for each T ∈ L do
  if (∪_{P ∈ L - {T}} [P] = X) then
    L := L - {T};

```

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Ön işleme tabii tutulmuş veri seti turistlerin ülkeleri tercih etmeleri hakkında kurallar oluşturmak için LEM2 algoritması uygulanmıştır. Turizm verileri sonuçlarına göre, 23 farklı kural elde edilmiştir. Bu kurallar aşağıda listelenmiştir.

- 1) A2.4 ≥ 6.4 ve D2.1 ≤ 4.7 ve D2.4 ≤ 92.6 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyondan daha azdır.
- 2) A3.3 ≥ 95.08 ve B1.5 ≥ 20.25 ve C1.5 ≤ 2.69 ve C3.2 ≥ 5.62 ve C3.2 ≤ 6 ise uluslararası turist sayısı 34.8 milyon-43.4 milyon arasındadır.
- 3) B2.3 ≥ 47.8 ve B4.7 ≥ 5.13 ve B4.7 ≤ 8.69 ve C1.3 ≤ 1299.72 ve C1.5 ≤ 2.69 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 4) A2.3 ≥ 5.47 ve A2.3 ≤ 5.88 ve B1.6 ≤ 35.96 ve C1.5 ≤ 2.69 ve D1.2 ≥ 415.1 ve D1.2 ≤ 734.2 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 5) A1.5 ≥ 90.4 ve A1.5 ≤ 152.8 ve B4.9 ≥ 50 ve B4.9 ≤ 60 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 6) B4.4 ≥ 5.26 ve B4.4 ≤ 9.92 ve C1.5 ≤ 2.69 ve C3.2 ≥ 4.84 ve C3.2 ≤ 5.23 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 7) A1.9 ≤ 15.98 ve B4.3 ≥ 3.65 ve B4.3 ≤ 4.02 ve C1.6 ≥ 2599.13 ve C1.6 ≤ 3898.55 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 8) A1.9 ≤ 15.98 ve B4.7 ≥ 5.13 ve B4.7 ≤ 8.69 ve B4.9 ≥ 50 ve B4.9 ≤ 60 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 9) B3.1 ≥ 60 ve B3.1 ≤ 70 ve C1.6 ≥ 45 ve C1.6 ≤ 67 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.
- 10) A5.3 ≥ 79.1 ve A5.3 ≤ 88.65 ve B1.2 ≥ 779.86 ve B1.2 ≤ 1008.43 ve C3.3 ≥ 6.4 ve D2.2 ≤ 3.9 ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır.

Örneğin Kural-1 ülkenin A2.4 Terör olayı indeksi 6.4 değerinden daha büyük ve D2.1 Dünya Mirası kültürel yerlerinin sayısı 4.7 değerinden daha küçük ve D2.4 Uluslararası dernek toplantılarının sayısı 92.6 değerinden daha küçük ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyondan daha azdır. 9. Kural ise ülkenin B3.1 Bilet vergileri ve havaalanı ücretleri değeri 60 ila 70 arasında ve C1.6 Hava yolu



sayısı 45-67 değerleri arasında ise uluslararası turist sayısı 8.8 milyon-17.4 milyon arasındadır. Kural 2 ise ülkenin A3.3 Nüfusun gelişmiş içme suyuna erişimine olan yüzdesi 95.08 değerinden daha büyük ve B1.5 Zamanında aylık / üç aylık S&T verisi sağlama değeri 20.25' den daha büyük ve C1.5 Havaalanı yoğunluğu havaalanı / milyon kişi 2.69 değerinden daha küçük ve C3.2 Turizm altyapısının kalitesi 5.62-6 değerleri arasında ise uluslararası turist sayısı 34.8 milyon-43.4 milyon arasındadır.

#### **4. Sonuç**

Bu çalışmada, 136 ülkeye ait 2017 yılı turizm verileri önerilen modele göre sınıflandırılmıştır. Turist hacminin doğru tahmin edilmesi turizm sektörünün kaynaklarını daha doğru tahsis etmelerine ve fiyatlandırma stratejilerini daha gerçekçi olarak belirlemelerine katkı sağlaması açısından önemlidir. Sadece turizm sektörüne değil aynı zamanda turizmin bağlı olduğu sektörleri de doğrudan veya dolaylı olarak katkıda bulunabilir. Bunların yanı sıra turist hacminin eğilimlerini öngörebilmek; politika kararlarının ayarlanmasına, turizm konut planlaması ve ulaşım sistemi için altyapı tasarlamasına da katkı sağlaması açısından da önemlidir.

#### **Kaynakça**

- Acuna, E., & Rodriguez, C. (2004). The treatment of missing values and its effect on classifier accuracy. In Classification, clustering, and data mining applications (pp. 639-647). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Crotti, R., & Misrahi, T. (2017). The travel & tourism competitiveness report 2017. Paving the way for a more sustainable and inclusive future. In World Economic Forum: Geneva, Switzerland (p. 2017).
- Dimitras, A. I., Slowinski, R., Susmaga, R., & Zopounidis, C. (1999). Business failure prediction using rough sets. *European Journal of operational research*, 114(2), 263-280.
- <https://data.worldbank.org/>
- Jackson, E. A., & Tamuke, E. (2019). Predicting disaggregated tourist arrivals in Sierra Leone using ARIMA model.
- Jensen, R., & Shen, Q. (2004). Fuzzy-rough attribute reduction with application to web categorization. *Fuzzy sets and systems*, 141(3), 469-485.
- Li, X., Pan, B., Law, R., & Huang, X. K. (2017). Forecasting tourism demand with composite search index. *Tourism Management*, 59, 57-66.
- Olson, D. L., & Delen, D. (2008). *Advanced data mining techniques*. Springer Science & Business Media.
- Pawlak, Z., Grzymala-Busse, J., Slowinski, R., & Ziarko, W. (1995). Rough Sets, *Communications of the ACM. Emerg. Technol. AI*, 38(11), 89-95.
- Pawlak, Z. (1997). Rough set approach to knowledge-based decision support. *European journal of operational research*, 99(1), 48-57.
- Sabu MK, Raju G, (2011) Rule induction using Rough Set Theory—An application in agriculture. In 2011 Int. Conf.on Comp Com. and Elect.l Tech. (ICCCET) IEEE, p. 45-49.
- Shen, L., & Loh, H. T. (2004). Applying rough sets to market timing decisions. *Decision support systems*, 37(4), 583-597.
- Skowron, A., & Dutta, S. (2018). Rough sets: past, present, and future. *Natural computing*, 17(4), 855-876.
- Sun, S., Wei, Y., Tsui, K. L., & Wang, S. (2019). Forecasting tourist arrivals with machine learning and internet search index. *Tourism Management*, 70, 1-10.



## Veri Madenciliği İle Kalp Hastalığı Teşhisi\*\*

Merve Esra Taşçı<sup>1\*\*</sup>, Rüya Şamlı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7659-0455)

<sup>2</sup> İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8723-1228)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf12)

**ATIF/REFERENCE:** Taşçı, M. E. & Şamlı, R. (2020). Veri Madenciliği İle Kalp Hastalığı Teşhisi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 88-95.

### Öz

Gelişen ve değişen çevre koşulları, sınırların kalkması ile küreselleşen dünya, farklı pazarlama ve ar-ge (araştırma geliştirme) yöntemleri “veri”nin değil “bilgi”nin önemini her geçen gün daha da artacak şekilde ortaya koymaktadır. İnternetin yaygınlaşması ve kolaylaşması ar-ge ekiplerinin “bilgi”ye erişmelerini zorlaştırmaktadır. İnternette arama motorları kullanılarak yapılan araştırmalar çoğu zaman istenilenden farklı bir şekilde sonuçlanmaktadır. Büyük bir perakendecinin, fatura bilgilerinden müşteri eğilimlerini belirleyip ona göre pazarlama taktikleri üretebilmesi, rakiplerinin önüne geçmesini sağlayacaktır. Verilen örneklere dikkat edilirse, “veri”nin “bilgi”ye dönüşme işleminin vurgulandığı görülecektir. Veri madenciliği, büyük ölçekli veriler arasından bilgiye ulaşma, bilgiyi madencilik işidir. Ya da bir anlamda büyük veri yığınları içerisinde gelecek ile ilgili tahminde bulunabilmemizi sağlayabilecek bağıntıların bilgisayar programı kullanılarak aranmasıdır. Veri madenciliği, eldeki verilerden üstü kapalı, çok net olmayan, önceden bilinmeyen ancak potansiyel olarak kullanışlı bilginin çıkarılmasıdır. Veri madenciliği sürecinin çeşitli aşamalarında; istatistiksel yöntemler, bellek tabanlı yöntemler, genetik algoritmalar, yapay sinir ağları ve karar ağaçları gibi algoritmalar kullanılabilir.

Kalp hastalıkları (kardiyovasküler hastalıklar) bugün dünyanın en yaygın hastalıklarından biridir. Küresel ölçekte kardiyovasküler hastalıkların uzun süre bir numaralı ölüm nedeni olmaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Gelişmiş batı ülkelerindeki kardiyovasküler hastalık ölümleri gelişmekte olan ülkelere göre azalma eğilimi göstermektedir. Dünyadaki ölüm oranlarındaki pozitif faktör, kardiyovasküler hastalıklar açısından büyük ölçüde önenebilir olmalarıdır. Bu nedenle, kalp hastalığı tanısı alan hastaların verilerine dayanarak, veri madenciliği ve algoritmalar kullanılarak kalp-öncesi hastalığı tahmin etmek için çalışma yapılmıştır. Bu çalışma veri madenciliğinin büyük veri setlerinin incelenmesi üzerinde ne kadar büyük bir öneme ve yere sahip olduğunu göstermek için yapılmıştır. Yüzlerce bilginin bulunduğu kalp veri setinden, WEKA programı kullanılarak, çeşitli algoritmalar uygulayarak kişilere kalp hastalığı teşhisi koyma çalışması yapılmıştır.

Kalp hastalığının kesin tanısı ve hastalık şiddetinin saptanması için çeşitli uygulamalar ve yöntemler vardır. Bu çalışmada, daha ucuz ve daha etkili bir yaklaşım sağlayabilecek veri madenciliğinin kullanımı incelenmiştir. Bu çalışmada sınıflandırma yöntemleri ve doğru sınıflandırma oranları ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerekli hesaplamaları ve modelleri elde etmek için ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Çoklu Algılayıcılar, k-en yakın komşu (k-Nearest Neighbour - k-NN), Lojistik Regresyon, destek vektör makinesi (Support Vector Machine - SVM) gibi sınıflandırma algoritmaları, Weka programında uygulanmıştır. Uygulamanın sonucu olarak kalp hastalığı teşhisinde en iyi sonucu veren algoritma tespit edilmeye çalışılmıştır. Veri madenciliği algoritmaları ile kalp hastalığını belirleyen birçok farklı çalışma vardır. Ancak yaptığımız incelemelerde, veri setine 9 farklı algoritma uygulayan bir çalışmaya rastlanmamıştır ve bu çerçevede bu çalışma ilk kez bu kadar çok algoritmanın kullanıldığı çalışma olacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Kalp Hastalığı, WEKA, Veri Madenciliği, ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Multiplayer Perceptrons, k-en yakın komşuluk, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makinesi

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## Abstract

Developing and changing environmental conditions, the globalization of the borders and the globalization of the world, different marketing and R&D (research and development) methods reveal the importance of "information" rather than "data". The widespread and easing of the Internet makes it difficult for R&D teams to access "information". Research on the internet using search engines often results in a different way than desired. The ability of a large retailer to identify customer trends from the invoice information and produce marketing tactics accordingly will prevent them from getting ahead of their competitors. If attention is given to the examples given, it will be seen that the process of turning "data" into "information" is emphasized.

Data mining is the business of accessing and mining information among large-scale data. Or, in a sense, it is the search for the relations that can enable us to make predictions about the future from large data stacks using a computer program. Data mining is the extraction of implicit, unclear, previously unknown but potentially useful information from the available data. At various stages of the data mining process; Algorithms such as statistical methods, memory-based methods, genetic algorithms, neural networks and decision trees can be used. Heart diseases (cardiovascular diseases) are one of the most common diseases in the world today. It is estimated that cardiovascular diseases will continue to be the number one cause of death for a long time on a global scale. Cardiovascular disease deaths in developed western countries show a decreasing tendency in developing countries. The positive factor in mortality rates in the world is that they are largely preventable in terms of cardiovascular diseases. Therefore, based on the data of patients diagnosed with heart disease, the study was carried out to predict pre-cardiac disease by using text mining and algorithms. This study was conducted to show how much importance and place data mining has on the study of big data sets. From the heart data set containing hundreds of information, by using WEKA program, by applying various algorithms, the study was made to diagnose people with heart disease.

There are various applications and methods for the definitive diagnosis of heart disease and detection of disease severity. In this study, the use of data mining, which could provide a cheaper and more effective approach, was studied. In this study, the results obtained by classification methods and correct classification rates were compared. In order to obtain the necessary calculations and models, classification algorithms such as ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Decision Tree, Random Forest, Multiplayer Perceptrons, k-nearest neighbor (k-NN), Logistic Regression, support vector machine (SVM), have been applied in Weka packet program. As a result of the application of the best results in the determination of heart disease algorithm has been tried to be determined. There are many different studies that determine heart disease by data mining algorithms. But there is no study that implements 9 different algorithms to the data set and this paper will be the first one.

**Keywords:** Heart disease, WEKA, Data Mining, ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Decision Tree, Random Forest, Multiplayer Perceptrons, k-nearest neighbor, Logistic Regression, support vector machine

## 1. Giriş

Temel bir tanım olarak, "Veri Madenciliği, veriler hakkında örtük, daha önce bilinmeyen ve potansiyel yararlı bilgilerin önemsiz bir şekilde çıkarılmasıdır". Başka bir deyişle, veri madenciliği, verileri farklı bir perspektiften analiz etme ve bilgiyi ondan toplama sürecidir. Veri madenciliğinin ilk adımında öncelikle ulaşılmak istenen bilgiye karar verilir. Bu konuda net ve planlı olmak sonuca ulaşmada faydalı olacaktır. Hedefin belirlenmesinin ardından bilgi bir sınıflandırmaya yerleştirilir ve bilginin işleneceği en uygun veri tabanları seçilir. Araştırmanın yapıldığı veri tabanı içerisinde hedef bilgidен uzaklaştıracak olan alakasız verilerin temizlenmesi ve ayrıştırılması gerekir. Ardından hedefe en uygun olarak seçilmiş tabanda toplanan en doğru veriler örüntülü şekilde farklı metotlarla işlenir. Ortaya çıkan sağlıklı, işlenmiş ve alakalı veriler amacına uygun kullanılmak üzere hazırdır. Bu hayli büyük, gizli ve ham veri gruplarını birer faydalı bilgiye dönüştürme ve sonrasında analizlerini yapma işlemi, otomatik olarak programlar ve teknikler ile yapılmakta ve teknolojinin de verdiği yetkiye dayanarak pek çok alana fayda sağlamaktadır. Veri madenciliğinin pazarlama, bankacılık, e-ticaret, telekomünikasyon, tıbbi araştırmalar, taşımacılık ve ulaşım, turizm ve otelcilik, eğitim, bilim ve mühendislik gibi uygulama alanları bulunmaktadır.

Veri madenciliği teknikleri, bilinmeyen kalıpları keşfetmek için karmaşık algoritmalar kullanarak verileri analiz etmek ve ayıklamak için kullanılır. Araştırmacılar kalp hastalığı, diyabet ve kanser gibi birçok hastalığın teşhisi için veri madenciliği tekniklerini kullanmakta ve bu sayede sağlık hizmetlerinde veri madenciliği her geçen gün daha popüler hale gelmektedir. Birçok resmi araştırmaya göre, kalp hastalıkları dünya çapında bir numaralı ölüm nedenidir. Her yıl kalp hastalıklarından ötürü diğer nedenlerden daha fazla insan ölmektedir. Son araştırmalar kalp hastalığının risk faktörlerini tanımlayabilmiştir, ancak birçok araştırmacı bu bilgiyi kalp hastalıkları oluşumunu azaltmak için kullanmak için daha fazla araştırmaya ihtiyaç olduğu konusunda hemfikirlerdir. Kalp hastalıklarını analiz ederken hastaların diyabet, hipertansiyon, yüksek kan kolesterolü, yeme alışkanlıkları, fiziksel hareketsizlik, sigara içme, alkol alımı, obezite, yaş, cinsiyet gibi aynı özellikleri ele alır. Kalp hastalıkları farklı özelliklere bağlı olabilir. Bazı literatür çalışmaları kalp hastalığı için bu risk faktörlerinin azaltılmasının aslında kalp hastalıklarının önlenmesine yardımcı olabileceğini göstermiştir. Kalp hastalığı riskinin önlenmesi konusunda birçok çalışma ve araştırma vardır. Kalp hastalıkları hakkında daha fazla çalışma, kalp hastalıklarını önlemek için daha fazla fırsat sunacaktır.

Bu çalışma, kalp hastalıklarının veri madenciliği algoritmaları ile teşhis edilmesini amaçlamıştır: ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Multiple Perceptrons, k-en yakın komşu, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makinesi. Bu teknikler, Kaggle veri tabanından alınan 13 özniteliği olan 303 olgunun veri kümesine uygulanmıştır. Kalp hastalığı veri setinde bu birçok tekniği uygulayacak hiçbir çalışmanın bulunmadığı belirtilmelidir. Doğruluk oranlarına göre, KNN'nin kalp hastalığı tanısında en başarılı yöntem olduğu görülmektedir.

Bu çalışmanın organizasyonu aşağıdaki gibidir: Bölüm 2 kullanılan veri setini ve kullanılan verinin özelliklerini, kullanılan veri madenciliği algoritmalarını ve çalışma mantıklarını açıklar. Bölüm 3, algoritmalar hakkındaki sonuçları tablolarla birlikte sunar ve Bölüm 4 kullanılan algoritmaların sonuçları birbirleriyle karşılaştırılarak en iyi sonucu veren algoritmanın hangisi olduğu açıklar.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Seti

Bu çalışmada Kaggle veri tabanından 85 000 vakadan oluşan bir veri seti seçilerek kullanılmıştır. Bu veri seti hem hasta hem de sağlıklı vakalardan oluşur. Değerler bazı optimizasyon yöntemlerine göre elimine edilmiştir ve sınıflandırma için 13 özelliğe sahip toplam 303 vaka kullanılmıştır. Bu özellikler yaş, cinsiyet, göğüs ağrısı tipi, istirahat kanbasıncı, serum kolestorol, açlık kan şekeri, istirahat elektrokardiyografik sonuçlar, elde edilen maksimum kalp hızı, egzersize bağlı anjin, istirahate göre egzersize bağlı ST depresyonu, ST segmentinin eğimi, pik egzersiz için floroskopi ile renklendirilmiş büyük damar sayısı, defekt tipidir. Bu verilere toplam 9 farklı veri madenciliği yöntemi uygulanmıştır. Öznitelikler aşağıdaki ayrıntılı şekilde açıklanmıştır:

- 1) yaş (numerik)
- 2) cinsiyet (0, 1)  
0: dişi  
1: erkek
- 3) cp (0,1,2,3): göğüs ağrısı tipi  
0: tipik anjin ağrı  
1: atipik anjin ağrı  
2: anjin olmayan ağrı  
3: asemptomatik ağrı
- 4) trestbps (numerik): istirahat kanbasıncı
- 5) chol (numerik): serum kolestorol
- 6) fbs (0, 1): açlık kan şekeri  
0: yanlış  
1: doğru
- 7) restecg (0, 1, 2): istirahat elektrokardiyografik sonuçlar  
0: normal  
1: ST-T anormalliği  
2: olası veya belirgin sol ventriküler Estes kriteri
- 8) thalach (numerik): elde edilen maksimum kalp hızı
- 9) exang (0, 1): egzersize bağlı anjin  
0: yok  
1: var
- 10) oldpeak (numerik): istirahate göre egzersize bağlı ST depresyonu
- 11) slope (0,1,2): ST segmentinin eğimi  
0: yukarı doğru  
1: düz  
2: aşağı doğru
- 12) ca (numeric - 0,1,2,3,4): pik egzersiz için floroskopi ile renklendirilmiş büyük damar sayısı
- 13) thal (3,6,7): defekt tipi  
3: normal  
6: belirlenmiş defekt  
7: tersinir defekt

### 2.2. Yöntemler

#### 2.2.1. ZeroR Algoritması

ZeroR algoritması, veri madenciliğinde en basit ve en temel sınıflandırma algoritması olarak kabul edilir. Önceden en fazla veriye sahip olan sınıftaki tüm verileri kabul eder. Bunu yaparken, gelen verinin sıklığına bakarak verileri tahmin eder. ZeroR algoritması sınıflandırma algoritmalarına dahil edilir, ancak sınıflandırma yerine taban performansını belirlemek için kullanılır. Çünkü zeka içermeyen bir algoritmadır. Taban performansı belirleyerek eğitim verilerinin tahmin sonuçlarında çıkacak oranı görülebilir. Mantığı oldukça basittir. Elimizde bulunan eğitim verilerinde çıkan sonuçların bir biri arasındaki oranına bakar ve en çok olan orandaki sonuç, bundan sonraki verilerde tahmin sonucu olarak kullanılır.

#### 2.2.2. OneR Algoritması

ZeroR algoritmasının genişletilmiş bir versiyonudur ve genellikle ZeroR'dan daha başarılı sonuçlar verir. Algoritma, eğitim verilerindeki tüm sınıflar arasında mümkün olan en iyi sonucu döndürecek olan sınıfı seçer.

### 2.2.3. Naive Bayes Algoritması

Naive Bayes sınıflandırma algoritması, adını Matematikçi Thomas Bayes'den alan bir sınıflandırma/ kategorilendirme algoritmasıdır. Naive Bayes sınıflandırması olasılık ilkelerine göre tanımlanmış bir dizi hesaplama ile, sisteme sunulan verilerin sınıfını yani kategorisini tespit etmeyi amaçlar.

Naive Bayes sınıflandırmasında sisteme belirli bir oranda öğretilmiş veri sunulur. Öğretim için sunulan verilerin mutlaka bir sınıfı/kategorisi bulunmalıdır. Öğretilmiş veriler üzerinde yapılan olasılık işlemleri ile, sisteme sunulan yeni test verileri, daha önce elde edilmiş olasılık değerlerine göre işletilir ve verilen test verisinin hangi kategoride olduğu tespit edilmeye çalışılır. Elbette öğretilmiş veri sayısı ne kadar çok ise, test verisinin gerçek kategorisini tespit etmek o kadar kesin olabilmektedir.

Naive Bayes sınıflandırma yönteminin birçok kullanım alanı bulunabilir fakat, burada neyin sınıflandırıldığından çok nasıl sınıflandırıldığı önemlidir. Yani öğretilecek veriler ikili veya metin türünde veriler olabilir, burada veri tipinden ve ne olduğundan ziyade, bu veriler arasında nasıl bir oransal ilişki kurulduğu önem kazanmaktadır. Yöntemin matematiksel olarak gösterimi aşağıdaki gibidir:

$$P(C_i|X) = \frac{P(X|C_i) * P(C_i)}{P(X)}$$

### 2.2.4. J48 Karar Ağacı Algoritması

J48 algoritması değişkenin entropi değerini ve Shannon'un Bilgi Kuramı'ndan (Information Theory) yararlanarak karar ağacını optimize etmeyi amaçlar. Entropi, rastgele bir değişkenin belirsizliğinin ölçüsüdür. Bilgi kazanımı, bir tahmin edici değişken kullanılarak veri bölümlendiğinde, hedef değişkendeki belirsizliğin ne kadar değiştiğinin bir ölçüsüdür.

Bu algoritma önce her hedef değişken/sınıf için entropi değerini ve her tahmin değişkeni/sınıf için bilgi değerini hesaplar. Bundan sonra, her tahmin değişkeni/sınıfı için bilgi kazancını hesaplar. Bu hesaplamaların amacı, en fazla bilgi toplayan sınıfı belirlemektir.

En yüksek bilgi kazanımı sağlayan tahmin edici değişken tespit edilir ve ağaç bu değişkenden itibaren dallandırılmaya başlanır. Böylece her bir dalın altında veriler dengeli bir biçimde dağılacaktır. İlk tahmin edici değişken tespit edildikten sonra aynı işlem bu defa toplam entropi üzerinden değil, bu belirlenen tahmin edici değişkenin bilgi değeri üzerinden tekrarlanarak geriye kalan tahmin edici değişkenlerden hangisiyle bu belirlenen değişkenin bölümlenmesinin daha fazla bilgi kazanımı sağlayacağı hesaplanır. Bu işlem tüm tahmin edici değişkenler ağaca yerleştirilinceye kadar devam eder. J48 algoritmasında dallanmalar belirlenirken bilgi kazancı, kazanç oranı ya da Gini İndeks baz alınabilir.

### 2.2.5. Rastgele Orman Algoritması

Random Forest, rastgele bir orman oluşturan denetimli bir öğrenme algoritmasıdır. "Orman" genellikle torbalama yöntemi ile eğitilmiş bir ağaç koleksiyonudur. Literatürden bilindiği gibi torbalamanın genel fikri şudur: "öğrenme yöntemlerinin kombinasyonu" doğruluğu arttırmaktadır. Dolayısıyla rastgele ormanın sınıflandırma başarısını artırmak için birden fazla karar ağacını birleştirdiği söylenebilir.

### 2.2.6. Çoklu Algılayıcılar Algoritması

Multiple Perceptrons'un temeli yapay sinir ağlarına dayanır. Yapay sinir ağları çalışmaları, bilgisayar mühendisliğinin bir alt disiplini olan yapay zekanın çalışma alanına girmektedir. Bu disiplinde insan beyni ve beyinde bulunan nöronların çalışmalarını taklit etmek hedeflenmektedir.

Çok katmanlı perceptrons (Multilayer Perceptron), perceptrons olarak adlandırılan basit sinir hücreleri ağıdır. Temel fikir olan tek perceptron (single perceptron) ilk olarak 1958 yılında Rosenblatt tarafından tanıtılmıştır. Perceptron birçok değeri girdi olarak alıp tek bir çıktı üretir. Çıktıyı oluştururken girdi ağırlıklarına uygun olarak bir lineer kombinasyon oluşturulur ve bazı lineer olmayan etkinleştirme fonksiyonu yoluyla çıktılara yerleştirilir.

### 2.2.7. k-NN Algoritması

k-NN, tüm vakaları saklayan ve yeni vakaları benzerlik ölçüsüne göre sınıflandıran bir sınıflandırma algoritmasıdır. Algoritma ayrıca vaka temelli akıl yürütme, örnek tabanlı akıl yürütme, örnek tabanlı öğrenme, bellek tabanlı akıl yürütme ve tembel öğrenme olarak da adlandırılır. k-NN algoritması, istatistiksel tahmin ve örüntü tanıma gibi birçok uygulamada 1970'den beri kullanılmaktadır. Gözetimli öğrenme metodlarından sınıflandırma (classification) işleminde kullanılır. Sınıflandırma işleminde k değerine bakılarak



eleman sayısını belirler. Her ne kadar k-NN algoritması k-ortalamlar algoritmasındaki benzer özellikleri taşısa da büyük farklılıklar da içermektedir.

k-NN algoritması bir eğitim verisi içerirken k-means algoritması bir eğitim verisi içermez. Yeni bir değer geldiğinde k değerine mesafeler hesaplanır ve yeni değer bir kümeyle ilave edilir. Eğitim kümesinin büyük olması ve k değerini uygun seçilmesi k-NN açısından çok önemlidir. k-NN algoritmasına karar verildiğinde eğitim verisi ve k değerini arttırarak başarıya bakılır ve başarı sabitlenmeye başladığında iyi bir k-NN tahmin sistemi yapılmıştır denilebilir. k-NN algoritmasının çalışma prensibi, nesnelerin birbirleri arasında yakınlık ilişkilerine göre kümeleme işlemi yapmasına dayanır.

### 2.2.8. Lojistik Regresyon Algoritması

Bağımlı değişkenin kategorik bir değişken olduğu bir regresyon problemidir. Lineer sınıflandırma problemlerinde çok kullanılır. Regresyon olarak adlandırılrsa da bir sınıflandırma algoritmasıdır. Lojistik regresyon, bir veya daha fazla bağımsız değişken içeren bir veri kümesini analiz etmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Sonuçlar bir ikili değişken ile ölçülür. Başka bir deyişle, bağımlı değişken sadece 1/0, Doğru/Yanlış, Erkek/Dişi ve benzeri iki değerle tanımlanır. Bu yöntemin amacı, iki bağımlı değişken arasında en uygun modeli bulmaktır.

### 2.2.9. Destek Vektör Makinesi (Support Vector Machine - SVM) Algoritması

SVM, sınıflandırma işlevini tahmin eden bir tür sınıflandırma yöntemidir ve sınıflandırma için kullanılan verileri analiz eden ve örüntüleri tanıyan bir dizi denetimli öğrenme yöntemidir. Genellikle diğer yöntemlere kıyasla daha iyi sınıflandırma sonuçları ürettiği bildirilen doğrusal olmayan bir sınıflandırma yöntemidir. SVM'nin ana fikri, pozitif ve negatif örnekler arasındaki ayırım marjını en üst düzeye çıkaracak şekilde bir karar yüzeyi olarak hiper bir düzlem oluşturmaktır. Bu işlem, girdi örneği verilerini, verilerin doğrusal olarak ayrılabilirliği, böylece daha yüksek sınıflandırma (veya regresyon) doğruluğu sağlayabilen yüksek boyutlu bir alana doğrusal olmayan bir şekilde eşler. SVM'ler, gerçek dünya uygulamalarında, özellikle biyoinformatikte, hem sağlam bir teorik temeli hem de en son başarıyı elde etmeleri bakımından oldukça ilginçtir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu makalede, veri seti kalp hastalığı veri tabanındaki toplam 303 kayıttan oluşmaktadır. Veri madenciliği aracı Weka deney için kullanılır. Tablo 1 algoritmaların performansını göstermektedir.

Tablo 1: Algoritmaların Performansları

Algoritma	Doğruluk Oranı	Geçen Süre (saniye)
ZeroR	%49.1803	0
OneR	%73.7705	0,02
Naive Bayes	%88.5246	0,03
Rastgele Orman	%83.6006	0,3
J48 Karar Ağacı	%78.6885	0,06
Lojistik Regresyon	%85.2459	0,33
k-NN	%81.9672	0
Çoklu Algılayıcılar	%86.8852	1,74
SVM	%86.8852	0,09

Sınıflandırmanın doğruluğunu hesaplamak için bir karmaşıklık (confusion) matrisi elde edilir. Bir karmaşıklık matrisi (Tablo 2) her sınıfa kaç örnek atandığını gösterir.

Tablo 2: Karmaşıklık Matrisi

	a (kalp hastalığı yok)	b (kalp hastalığı var)
a (kalp hastalığı yok)	TP	FN
b (kalp hastalığı var)	FP	TN

TP (True Positive – Doğru Pozitif): Gerçekte doğruyken doğru olarak sınıflandırılan kayıt sayısı

FN (False Negative – Yanlış Negatif): Gerçekte doğruyken yanlış olarak sınıflandırılan kayıt sayısı

FP (False Positive – Yanlış Pozitif): Gerçekte yanlışken doğru olarak sınıflandırılan kayıt sayısı

TN (True Negative – Doğru Negatif): Gerçekte yanlışken yanlış olarak sınıflandırılan kayıt sayısı

Algoritmaların TP, FN, FP ve TN değerleri Tablo 3-11 aşağıda gösterilmiştir:

Tablo 3: ZeroR Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	0	31
b	0	30

Tablo 4: OneR algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	24	7
b	9	21

Tablo 5: Naive Bayes Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	25	6
b	1	29

Tablo 6: Rastgele Orman Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	24	7
b	3	27

Tablo 7: J48 Karar Ağacı Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	23	8
b	5	25

Tablo 8: Lojistik Regresyon Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	26	5
b	4	26

Tablo 19: k-NN algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	24	7
b	4	26

Tablo 10: Çoklu Algılayıcılar Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	26	5
b	3	27

Tablo 11: Destek Vektör Makinesi Algoritması Karmaşıklık Matrisi

	a	b
a	25	6
b	2	28

Algoritmaların doğruluk oranları Tablo 12’de formülleri verilmiş olan, Ortalama Mutlak Hata, Kök Ortalama Kare Hata, Bağıl Mutlak Hata, Kök Bağıl Kare Hata gibi bazı kriterlerle verilmiştir.

Tablo 12: Kriter Formülasyonları

Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error – MAE)	$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  y_i - \hat{y}_i $
Kök Ortalama Kare Hata (Root Mean Squarred Error – RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}$
Bağıl Mutlak Hata (Relative Absolute Error – RAE)	$RAE = \sum_{i=1}^n \frac{ e_i }{y_i - \hat{y}_i}$
Kök Bağıl Kare Hata (Root Relative Squarred Error – RRSE)	$RRSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{(y_i - \hat{y}_i)^2}}$

Tablo 13, veri madenciliği tekniklerinin doğruluğu için karşılaştırmayı vermektedir.

Table 13: Veri Madenciliği Tekniklerinin Doğruluk Oranlarının Karşılaştırılması

Algoritmalar	MAE	RMSE	RAE	RRSE
ZeroR	0.5009	0.5042	%100	%100
OneR	0.2623	0.5121	%52.3605	%47.5732
Naive Bayes	0.1498	0.3046	%29.9017	%60.4177
J48 Karar Ağacı	0.2788	0.4235	%55.6542	%83.9956
Rastgele Orman	0.2367	0.3338	%47.2473	%66.1964
Çoklu Algılayıcılar	0.1447	0.3422	%28.8800	%67.8654
k-NN	0.2111	0.3115	%42.1435	%61.7824
Lojistik Regresyon	0.1884	0.3161	%37.6183	%62.6842
Destek Vektör Makinesi	0.1311	0.3621	%26.1803	%71.8231

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın amacı, yaş, cinsiyet, göğüs ağrısı tipi, dinlenme kan basıncı, serum kolestrol, açlık kan şekeri, dinlenme elektrokardiyografik sonuçlar, elde edilen maksimum kalp atış hızı, egzersiz anjin, istirahate göre egzersizle indüklenen ST depresyonu, pik egzersiz için ST segmentinin eğimi, floroskopi ile renklendirilen büyük damarların sayısından kaynaklı 13 özellik ile kalp hastalığının varlığını daha doğru tahmin etmektir. ZeroR, OneR, Naive Bayes, J48 Karar Ağacı, Rastgele Orman, Çoklu Algılayıcılar, k-NN, Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makinesi algoritmaları bu veri setine uygulanmıştır. Algoritmalar Kaggle veri setinden 303 hastaya uygulanmış ve bu veri madenciliği sınıflandırma algoritmalarının doğruluk oranları karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, farklı metodolojilerin farklı kriterlerle başarılı olduğu ve kriterlerin ortalaması alındığında k-NN'nin en doğru ve en iyi sonucu veren yöntem olduğu görülmektedir.

#### Kaynakça

- [1] W.J. Frawley, G. Piatetsky-Shapiro, Knowledge Discovery in Databases: An Overview. The AAAI/MIT Press, 1996.
- [2] D. Wood, G. De Backer, O. Faergeman, I. Graham, G. Mancina, K. Pyörälä, Prevention of coronary heart disease in clinical practice: recommendations of the Second Joint Task Force of European and other Societies on Coronary Prevention. Atherosclerosis, 140 (1998) 199– 270.
- [3] J. Soni, U. Ansari, D. Sharma, S. Soni, Predictive Data Mining for Medical Diagnosis: An Overview of Heart Disease Prediction, International Journal of Computer Applications, 17 (2011) 43-48.
- [4] C.S. Dangare, S.S. Apte, Improved Study of Heart Disease Prediction System using Data Mining Classification Techniques, International Journal of Computer Applications, 47 (2012) 44-48.
- [5] R. Alizadehsani, J. Habibi, M.J. Hosseini, H. Mashayekhi, R. Boghrati, A. Ghandeharioun, B. Bahadorian, Z.A. Sani, A data mining approach for diagnosis of coronary artery disease, computer methods and programs in biomedicine, 111 (2013) 52-61.
- [6] A. Rajkumar, G.S. Reena, Diagnosis Of Heart Disease Using Datamining Algorithm, 10 (2010) 38-43.
- [7] J. Nahar, T. Imam, K. S. Tickle, Y.P. Chen, Computational intelligence for heart disease diagnosis: A medical knowledge driven approach, Expert Systems with Applications, 40 (2013) 96-104.
- [8] Y. Xing, J. Wang, Z. Zhao, Y. Gao, Combination data mining methods with new medical data to predicting outcome of Coronary Heart Disease, International Conference on Convergence Information Technology, 2007.
- [9] N. Bhatla, K. Jyoti, An Analysis of Heart Disease Prediction using Different Data Mining Techniques, International Journal of Engineering Research & Technology, 1 (2012) 1-4.
- [10] D. Yeh, C. Cheng, Y. Chen, A predictive model for cerebrovascular disease using data mining, Expert Systems with Applications, 38 (2011) 8970-8977.
- [11] S.U. Amin, K. Agarwal, R. Beg, Genetic Neural Network Based Data Mining in Prediction of Heart Disease Using Risk Factors, IEEE Conference on Information and Communication Technologies, 2013.
- [12] K. Srinivas, G. Raghavendra Rao, A. Govardhan, Analysis of Coronary Heart Disease and Prediction of Heart Attack in Coal Mining Regions Using Data Mining Techniques, International Conference on Computer Science & Education, 2010.
- [13] T.J. Peter, K. Somasundaram, An Empirical Study On Prediction Of Heart Disease Using Classification Data Mining Techniques, IEEE-International Conference On Advances In Engineering, Science And Management, 2012.
- [14] H.D. Masethe, M. A. Masethe, Prediction of Heart Disease using Classification Algorithms, World Congress on Engineering and Computer Science, 2014.
- [15] B. Bahrami, M.H. Shirvani, Prediction and Diagnosis of Heart Disease by Data Mining Techniques, Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology, 2 (2015) 164-168.
- [16] J. Kim, J. Lee, Y. Lee, Data-Mining-Based Coronary Heart Disease Risk Prediction Model Using Fuzzy Logic and Decision Tree, Healthcare Informatics Research, 21 (2015) 167-174.
- [17] K. R. Lakshmi, M. Veera Krishna, S. Prem Kumar, Performance Comparison of Data Mining Techniques for Predicting of Heart Disease Survivability, International Journal of Scientific and Research Publications, 3 (2013) 1-10.

- [18] S. B. Patel, P. K. Yadav, D. P. Shukla, Predict the Diagnosis of Heart Disease Patients Using Classification Mining Techniques, *IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 4 (2013) 61-64.
- [19] N. Bhatla, K. Jyoti, A Novel Approach for Heart Disease Diagnosis using Data Mining and Fuzzy Logic, *International Journal of Computer Applications*, 54 (17), 2012.
- [20] M.G. Tsipouras, D.I. Fotiadis, Automated Diagnosis of Coronary Artery Disease Based on Data Mining and Fuzzy Modeling, *IEEE Transactions on Information Technology In Biomedicine*, 12(4), 2008.
- [21] B. Venkatalakshmi, M.V. Shivsankar, Heart Disease Diagnosis Using Predictive Data mining, *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(3), 2014.
- [22] M.A. Jabbar, B.L. Deekshatulu, P. Chandra, Classification of Heart Disease Using K- Nearest Neighbor and Genetic Algorithm, *International Conference on Computational Intelligence: Modeling Techniques and Applications (CIMTA) 2013*.
- [23] I.A. Zriqat, A.M. Altamimi, M. Azzeh, A Comparative Study for Predicting Heart Diseases Using Data Mining Classification Methods, *International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS)*, 14(12), 2016.
- [24] S. Sharmila, M.P. Indra Gandhi, Analysis of Heart Disease Prediction Using Data Mining Techniques, *International Journal of Advanced Networking & Applications (IJANA)*, 8(5) (2017), 93-95.
- [25] M. Sharma, F. Khan, V. Ravichandran, Comparing Data Mining Techniques Used For Heart Disease Prediction, *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(6) (2017).
- [26] M. Abdar, S.R.N. Kalhori, T. Sutikno, I.M.I. Subroto, G. Arji, Comparing Performance of Data Mining Algorithms in Prediction Heart Diseases, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, 5(6) (2015) 1569-1576.
- [27] S. Aydin, M. Ahanpanjeh, S. Mohabbatiyan, Comparison And Evaluation Data Mining Techniques In The Diagnosis Of Heart Disease, *International Journal on Computational Science & Applications (IJCSA)*, 6(1) (2016).
- [28] T.K. Keerthana, Heart Disease Prediction System using Data Mining Method, *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 47(6) (2017).
- [29] H.B.F. David, S.A. Belcy, Heart Disease Prediction Using Data Mining Techniques, *ICTACT Journal On Soft Computing*, 9(1) (2018).
- [30] S. Cihan, B. Karabulut, G. Arslan, G. Cihan, Identification of Coronary Artery Disease Risk Using Data Mining Techniques, *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(1), (2018) 85-93.
- [31] F. Rabbi, P. Uddin, A. Ali, F. Kibria, M.I. Afjal, S. Islam, A.M. Nitu, Performance Evaluation of Data Mining Classification Techniques for Heart Disease Prediction, *American Journal of Engineering Research (AJER)*, 7(2) (2018), 278-283.
- [32] S. Joshi, A. Sasanapuri, S. Anand, S. Nandi, V. Nemade, Predictive Analysis using Data Mining Techniques for Heart Disease Diagnosis, *International Journal of Engineering & Technology*, 7(3) (2018) 166-170.



# SIMO Haberleşme Kanallarında Enerji Tabanlı İşbirlikli Spektrum Algılama\*\*

Fatih Yavuz Ilgın<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7449-4811)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf13)

**ATIF/REFERENCE:** Ilgın, F. Y. (2020) SIMO Haberleşme Kanallarında İşbirlikli Spektrum Algılama, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel sayı), 96-104.

## Öz

Son yıllarda haberleşme sistemlerinde yaşanan hızlı gelişim süreci, kablosuz haberleşme uygulamalarının sayısını oldukça artırmış durumdadır. Kablosuz haberleşme sistemlerinde gerçekleşen bu gelişim, beraberinde spektrumda daha fazla band genişliği ihtiyacını da gerektirmektedir. Band genişliği talebinin artışı ise spektrum kıtlığı problemini gün yüzüne çıkarmıştır. Spektrum kıtlığı problemini aşmak için en geçerli yol, sabit frekans tahsisi yerine fırsatçı spektrum kullanımına geçilmesidir. Spektrumu fırsatçı kullanarak dinamik spektrum atama yöntemlerini uygulamak ise Bilişsel Radyo sistemlerinin temel amacıdır. Bilişsel Radyo bulunduğu spektrum ortamını algılayarak boş spektrum bölgelerini belirleyerek bu bölgeleri ikincil kullanıcıların erişimine açmaktadır. İkincil kullanıcı spektrum kullanımı için belirli bir ücret ödemeyen veya bir spektrum bölgesini yasal olarak kullanma hakkına sahip olmayan kişidir. Aynı şekilde lisanslı kullanıcı ise belirli bir spektrum bölgesini yasal olarak kullanma hakkına sahip kişi olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımlar doğrultusunda yapılan bu çalışmada Bilişsel Radyo sistemleri için spektrum algılama yöntemlerinden biri olan, Enerji Tabanlı Spektrum Algılama için, adaptif bir spektrum algılama yöntemi önerilmiştir. Ayrıca önerilen yöntemde gürültü seviyesinin tahmini için farklı bir kestirim yöntemi önerilmektedir. Bilindiği üzere enerji tabanlı algılama yöntemlerinin en büyük dezavantajı gürültü belirsizliği faktörünün algılama performansı üzerinde oluşturduğu olumsuz etkidir. Bu olumsuz etkiyi azaltmak için önerilen yöntemde ortamda bulunan gürültü, Marhenko Pastur teoremi ile tahmin edilerek, eşik değeri adaptif şekilde değiştirilmektedir. Önerilen yöntemin Rayleigh sönümlenmeli tek giriş- çok çıkışlı sistemlerde benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim çalışmaları işbirlikli ve işbiriksiz algılama yöntemleri için farklı gürültü seviyeleri için incelenmiştir. Ayrıca benzetim sonuçlarında algılama teorisi çalışmaları için sıklıkla kullanılan ROC eğrilerine de yer verilmektedir. Böylece önerilen algılama yönteminde geleneksel enerji algılama yöntemine göre olumlu sonuçlar gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel Radyo, Enerji Algılama, Marchenko Pastur Teoremi, İşbirlikli Algılama, Spektrum Verimliliği.

## Energy-Based Cooperative Spectrum Sensing In SIMO Communication Channels

### Abstract

The rapid development process in communication systems in recent years has increased the number of wireless communication applications considerably. This development in wireless communication systems requires the need for more bandwidth in the spectrum. The increase in bandwidth demand brought up the problem of spectrum shortage. The most valid way to overcome the

\* **Sorumlu Yazar:** Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Erzincan, Türkiye, [fyilgin@erzincan.edu.tr](mailto:fyilgin@erzincan.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-7449-4811)

\*\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.



problem of spectrum shortage is to switch to the use of opportunistic spectrum instead of fixed frequency allocation. Using spectrum opportunistically is the main purpose of Cognitive Radio systems. Cognitive Radio detects the spectrum environment in which it is located and determines the empty spectrum regions and makes these regions accessible to secondary users. The secondary user is the person who does not pay a specific fee for the use of the spectrum or does not have the legal right to use a spectrum region. Similarly, the licensed user is defined as the person who has the legal right to use a certain spectrum region. An adaptive spectrum sensing method for Energy Based Spectrum Sensing, which is one of the spectrum sensing methods for Cognitive Radio systems, is proposed in this study conducted in line with these definitions. In addition, a different estimation method is proposed for the estimation of the noise level in the proposed method. As it is known, the biggest disadvantage of energy based sensing methods is the negative effect of noise uncertainty factor on sensing performance. In the proposed method to reduce this negative effect, the noise in the environment is estimated by Marhenko Pastur theorem and the threshold value is adaptively changed. Simulation studies of single-multi-output systems with Rayleigh damping are proposed. Simulation studies have been studied for different noise levels for cooperative and non-cooperative detection methods. Also included in the simulation results are ROC curves that are frequently used for detection theory studies. Thus, positive results were observed in the proposed perception method compared to traditional energy perception method.

**Keywords:** Cognitive Radio, Energy Based Sensing, Marchenko Pastur Theorem, Cooperative Detection, Spectrum Efficiency.

## 1. Giriş

Günümüzde kablosuz haberleşme uygulamaları giderek daha fazla band genişliği ve iletim hızına ihtiyaç duymaktadır. Bu durumun sonucu olarak radyo frekans spektrumunda haberleşme sistemleri için yeterli alan bulunması, problem olmaya başlamaktadır(Erpek, Steadman, & Jones, 2007). Özellikle gelecek 10 yılda spektrum kıtlığı probleminin çok yüksek boyutlara erişeceği tahmin edilmektedir(Dahlman, Parkvall, & Skold, 2013). Bu nedenle radyo frekans spektrumunu daha verimli kullanılması zorunluluğu bulunmaktadır. Bazı bölgelerde yapılan ölçümlerde spektrumun verimsiz kullanıldığını ortaya koymaktadır. Temel olarak bu verimsizliğin temel nedeni sabit frekans atama yöntemleridir(Mitola & Maguire, 2001). Bu yöntemler gereği radyo frekans spektrumunun bir bölgesi, belirli bir kullanıcıya(lisanslı kullanıcı) tahsis edilmektedir. Böylece lisanslı kullanıcı bu spektrum bölgesini kullanmadığı zamanlar, bu bölge atıl durumda kalmaktadır(De Vito, 2013). Lisanslı kullanıcı belirli bir spektrum bölgesini yasal olarak kullanma hakkına sahip olan kişi olarak tanımlanmaktadır. İstenmeyen bu durumu önlemek için geliştirilen teknolojilerden biri Bilişsel Radyo (BR) sistemleridir(Ayşe Kortun, Ratnarajah, Sellathurai, Liang, & Zeng, 2014). BR sistemleri radyo frekans spektrumunu sürekli tarayarak boş spektrum bölgelerini bulmaktadır. Bu bölgelerde kullanıcı değişikliği yapmaktadır(Abdalrazik, Soliman, Abdelkader, & Abuelfadl, 2016; Mitola, 2006). Bu yöntemle lisanslı kullanıcı kendisine ayrılmış spektrum bölgesinden ayrıldığında, bu bölge lisansız başka kullanıcıların erişimine açılmaktadır ki bu tür kullanıcılara ise Bilişsel Radyo(BR) kullanıcısı ve ya lisansız kullanıcı denilmektedir(Mohammadi, Javadi, Ciunzo, Persico, & Pescapé, 2019). Genel olarak BR sistemlerinde spektrum algılama genişband ve darband olarak yapılmaktadır(De Vito, 2013). Genişband spektrum algılama uygulamaları spektrum verimi bakımından daha elverişlisi olsa da, lisansız BR kullanıcılarının spektrum farklı bölgelerinde haberleşme yapabildiği uygulama da bir takım zorluklar doğurmaktadır. Bunların en başında lisansız bir BR kullanıcısı spektrumun farklı bölgelerinde haberleşme yapabildiği için donanımsal bir takım değişiklikler yapması gerekebilir(Commission, 2002). Örneğin anten boyu, modülasyon şekli vb. Bu nedenlerle BR sistemlerinde geniş band uygulamaları fazla tercih edilmeyebilir. Genişband uygulamalarda işaretin spektrum özellikleri ve genlik özellikleri kullanılarak yapılan çalışmalar mevcuttur(Dibal, Onwuka, Agajo, & Alenoghena, 2018). Darband uygulamalar ise spektrum verimliliği bakımından geniş band uygulamalara göre dezavantajlı olsa da, spektrumun sadece belirli bir bölgesini algılamak hem daha az maliyetli hem de doğruluk oranı daha yüksek olması sebebiyle daha fazla kullanılmaktadır(Çiflikli & Ilgin, 2018; Zeng & Liang, 2009). Darband spektrum algılama yöntemleri ise alınan işaretin istatistiksel özellikleri, periyodiklik özelliği veya özdeğer dağılımı gibi parametrelerden faydalanmaktadır. Darband spektrum algılama yöntemleri kör veya yarı kör olarak ikiye ayrılmaktadır. Kör yöntemler hiçbir önsel bilgiye(modülasyon türü, gürültü varyansı vb.) ihtiyaç duymadan, spektrumda bulunan lisanslı kullanıcıların varlığını algılayabilirler(Pillay & Xu, 2012; Yonghong Z., Ying-Chang L., & Rui Z., 2008). Fakat (Szczerba et al., 2013)kör olmayan yöntemler de gürültü varyansının, algılanacak işaretin modülasyon bilgisi gibi bilgilerin önceden bilinmesi gerekmektedir. Kör yöntemlerin en başında özdeğer tabanlı algılama yöntemleri gösterilebilir(Edelman, 2005; He, Ratnarajah, Yousif, Xue, & Sellathurai, 2016). Bu yöntemler alınan işaretin özdeğer farklılıklarından faydalanmaktadır. En büyük en küçük özdeğer farkı veya en büyük özdeğer- iz tabanlı algılama yöntemleri özdeğer tabanlı algılama için en yaygın kullanılan istatistiklerdir(A. Kortun, Ratnarajah, Sellathurai, Zhong, & Papadias, 2011). Bu yöntemlerden farklı olarak yarı kör yöntemler ve çift eşikli özdeğer tabanlı algılama yöntemleri kullanılmaktadır(Charan & Paney, 2016; Verma & Singh, 2016). Çevrimsel durağanlık tabanlı algılama yöntemleri de BR sistemlerinde spektrum algılama için kullanılmaktadır(S & Jayasheela, 2012). Bu yöntemler sadece Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) tabanlı işaretlere uygulanabilir(Lu, Li, Swindlehurst, Ashikhmin, & Zhang, 2014). Enerji Algılama (EA) tabanlı algılama yöntemleri ise spektrum algılama için, hesaplama maliyetinden dolayı en fazla tercih edilen yöntemdir(Li & Lu, 2016; Luo, Wang, Zhang, & Guan, 2019; Shi-Qi, Bin-Jie, & Xian-Yi, 2012). Enerji tabanlı algılama yöntemleri hem işbirliksiz hem de işbirlikli haberleşme sistemlerine uygulanabilir.

Bu çalışmada Tek Giriş Çok Çıkışlı(Single Input Multiple Output- SIMO) haberleşme sistemleri için gürültü belirsizliğinin algılama performansına olan bozucu etkilerini azaltmak için, adaptif eşik değeri kullanan bir spektrum algılama yöntemi önerilmiştir. Gürültü varyansının belirlenmesi için Marchenko-Pastur teoremi kullanılarak alınan işaretin özdeğer dağılımı hesaplanmıştır. Ayrıca yapılan benzetim çalışmaları, işbirlikli spektrum algılama için sert ve yumuşak birleştirme yöntemlerine göre benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Bu çalışmanın organizasyonu şu şekildedir. Algılama modeli ve EA tabanlı spektrum algılamanın temelleri II. Bölüm'de açıklanmıştır. Bunun yanı sıra benzetim çalışmalarında da kullanılacak olan işbirlikli algılama yine bu bölümde açıklanmıştır. III.

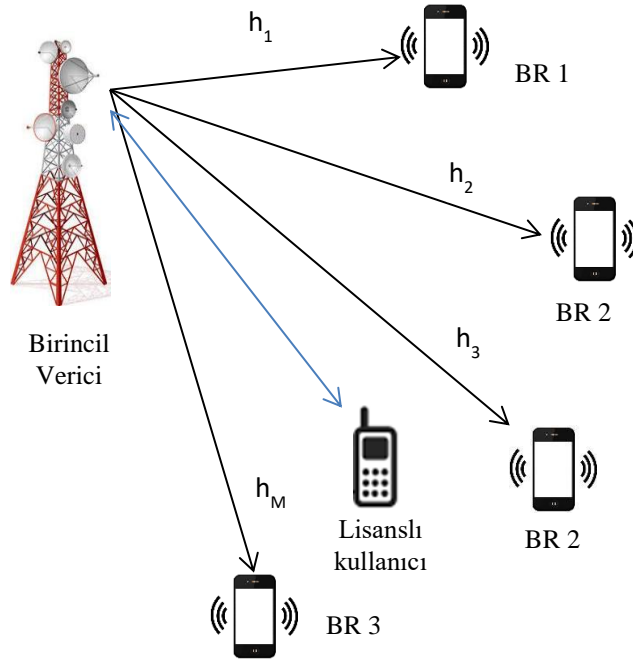
Bölümde ise adaptif eşik değeri belirlemek için kullanılan yöntem açıklanmıştır. Çalışmanın benzetim sonuçları ise IV. Bölümde verilmiştir.

Bu çalışmada küçük normal karakterler( $x$ ) vektörleri, koyu karakterler( $\mathbf{x}$ ) ise matrisleri ifade etmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Spektrum Algılama Modeli

Verilen bir frekans bandında gürültüye ek olarak herhangi bir haberleşme işareti(birincil kullanıcı) olup olmadığının belirlenmesi, spektrum algılama işleminin temelini oluşturmaktadır. Bu çalışmada kullanılan spektrum algılama modeli Şekil 1 ile verilmektedir.



Şekil 1. SIMO sistem için spektrum algılama modeli

Burada birincil verici pasif duruma geçtiğinde, ilgili spektrum bölgesinin BR kullanıcılarının erişimine açılmaktadır. Birincil verici tekrar aktif olduğunda ise BR kullanıcıları, girişim oluşmaması için bu frekans bölgesini birincil vericiye bırakmaktadır. Bu durum matematiksel olarak Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 ile ifade edilebilir(Zeng & Liang, 2009).

$$H_0 \rightarrow \mathbf{y} = \boldsymbol{\eta} \quad (1)$$

$$H_1 \rightarrow \mathbf{y} = \mathbf{s} + \boldsymbol{\eta} \quad (2)$$

Burada  $H_0$  birincil vericinin pasif olduğunu yani BR kullanıcılarının bu frekans bölgesini kullanabileceğini,  $H_1$  ise birincil vericinin aktif olduğunu belirtmektedir.  $s$  birincil verici işaretini,  $\boldsymbol{\eta}$  ise ( $\boldsymbol{\eta} \sim N(0, \sigma_{\boldsymbol{\eta}}^2)$ ) şeklinde Gauss dağılımlı gürültü işaretini temsil etmektedir.  $\mathbf{y}$  ise her bir BR kullanıcısı tarafından alınan işaretin matrisinde depolanmış şeklidir. BR kullanıcılarının algıladığı örnek sayısı  $N$ , sistemde bulunan BR kullanıcı sayısı ise  $M$  ile gösterilirse algılama modelinde  $\mathbf{y}$ ,  $M \times N$  boyutunda bir matris olmaktadır. Şekil 1'de verilen algılama modeli aynı zamanda çok kullanıcılı bir Tek Giriş Çok Çıkışlı(Single Input Multiple Output- SIMO) bir haberleşme kanalını da modellemektedir. Burada  $h_1$ , birinci kullanıcı ile verici arasındaki kanal katsayısını temsil etmektedir. Bu böylece her bir BR kullanıcısının alınan işaret örnekleri  $\mathbf{y}$  matrisinde depolanırsa,  $\mathbf{y}$  matrisi aşağıdaki gibi elde edilmektedir(Dahlman et al., 2013).

$$\mathbf{y}(n) = s(n) \begin{bmatrix} h_1 \\ h_2 \\ \vdots \\ h_M \end{bmatrix} \quad (3)$$

Genel olarak spektrum algılamada öncelikle alınan  $\mathbf{y}(n)$  işareti ile, belirlenen bir test istatistiği eşik değeri ile karşılaştırılır. Bu durum matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Ahmad, Yang, & Lee, 2015).

$$\text{Test İstatistiği} \begin{cases} > \gamma \rightarrow H_1 \\ < \gamma \rightarrow H_0 \end{cases} \quad (4)$$

Test istatistiği spektrum algılama için kullanılacak olan yöntemle göre değişmektedir. Örneğin özdeğer tabanlı algılama için alınan işaretin kovaryans matrisi özdeğerleri oranı olabildiği gibi, enerji algılama için alınan işaretin enerjisidir. EA tabanlı algılamada antenler vasıtasıyla algılanan lisanslı kullanıcı işaretinin enerjisi aşağıdaki Eşitlik 5 ile hesaplanmaktadır (Li & Lu, 2016).

$$T_{ED} = \sum_{n=1}^N |\mathbf{y}_i[n]|^2 \quad (5)$$

Burada  $T_{ED}$  ve  $y_i[n]$  sırasıyla EA tabanlı algılama için test istatistiğini ve  $i$ . BR kullanıcılarının algıladığı işareti belirtmektedir. Böylece belirlenen spektrum bölgesinin dolu/boş olduğu Eşitlik 6 ile verilen yöntemle karar verilmektedir.

$$\sum_{n=1}^N |\mathbf{y}_i[n]|^2 \begin{cases} > \gamma_{ED} \rightarrow H_1 \\ < \gamma_{ED} \rightarrow H_0 \end{cases} \quad (6)$$

Burada  $\gamma_{ED}$ , EA tabanlı spektrum algılama için eşik değeridir. Teorik olarak Algılama Olasılığı ( $P_d$ ) ve Yanlış Algılama Olasılığı ( $P_{fa}$ ), test istatistiği değerinin istatistiksel özelliklerine göre değişiklik göstermektedir. BR sistemleri ve radar terminolojisinde  $P_d$  ve  $P_{fa}$  teorik olarak sırasıyla  $P(H_1|H_1)$  ve  $P(H_1|H_0)$  şartlı olasılık değerleri ile tanımlanmaktadır. Bu durumda test istatistiği  $H_0$  hipotezi altında 2. Serbestlik derecesi ile merkezi Ki Kare dağılımına sahiptir. Aynı şekilde  $H_1$  hipotezi altında ise 2. Serbestlik derecesi ile merkezi olmayan Ki Kare dağılımına sahiptir. Fakat sayısal haberleşme sistemlerinde, örneğin TV alıcılarında İşaret Gürültü Oranı (Signal to Noise Ratio-SNR) yaklaşık -20 dB seviyesinde olduğu yapılan ölçümler sonucunda bilinmektedir. Bu nedenle merkezi limit teoremi gereğince, ikincil kullanıcılar tarafından alınan işaret dağılımları Normal dağılıma yakınsamaktadır. Böylece her iki hipotez altında alınan işaret örnekleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$T_{ED} \square \begin{cases} \mathcal{N}(N\sigma_\eta^2, 2N\sigma_\eta^4), & H_0 \\ \mathcal{N}(N(\sigma_s^2 + \sigma_\eta^2), 2N(\sigma_s^2 + \sigma_\eta^2)^2), & H_1 \end{cases} \quad (7)$$

Burada  $\sigma_\eta^2$  ve  $\sigma_s^2$  sırasıyla gürültü ve birincil kullanıcı işaretlerinin varyansını temsil etmektedir. Burumda algılama olasılığı ( $P_d$ ) aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Shi-Qi et al., 2012).

$$P_d = P(T > \gamma_{ED})_{H_1} = Q \left( \frac{\gamma_{ED} - N(\sigma_s^2 + \sigma_\eta^2)}{\sqrt{2N(\sigma_s^2 + \sigma_\eta^2)^2}} \right) \quad (8)$$

Burada  $Q(\cdot)$ , Gauss dağılım için kuyruk olasılığıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{+\infty} \exp\left(-\frac{w^2}{2}\right) dw \quad (9)$$

Yanlış algılama olasılığı ise teorik olarak Eşitlik 10 ile hesaplanabilir.

$$P_{fa} = P(T > \gamma_{ED})_{H_0} = Q\left(\frac{\gamma_{ED} - N\sigma_\eta^2}{\sqrt{2N\sigma_\eta^4}}\right) \quad (10)$$

IEEE 802.11 çalışma grubu tarafında BR sistemlerinde  $P_{fa}$ 'nın alabileceği en yüksek değer sınırlanmıştır. Bu değer BR sistemleri için 0.1 olmalıdır. Bu durumda önceden belirlenmiş bir  $P_{fa}$  değeri verildiğinde eşik değeri ise aşağıda verilmiştir.

$$\gamma_{ED} = F_{\chi^2_{2N}}^{-1}(1 - P_{fa}) \frac{\sigma_\eta^2}{2} \quad (11)$$

Burada  $F_{\chi^2_{2N}}^{-1}$  serbestlik derecesi 2 olan  $\chi^2$  –dağılımlı raslantı değişkeninin olasılık dağılım fonksiyonunu tanımlamaktadır.

Böylece Şekil 1 'de verilen algılama modeline göre Her bir BR kullanıcısı Eşitlik 12'de verilen kural gereği spektrum kararı verebilmektedir. Her bir BR kullanıcısının tek başına karar vermesi işbiriksiz algılamaya örnek olarak gösterilebilir.

İşbirlikli algılama modelinde ise her bir bilişsel kullanıcı, kendi yerel gözlemlerini birleşim merkezine bildirerek daha doğru bir karar verebilmek için işbirliği yapmaktadır. Bu nedenle son karar birleşim merkezinde verilmektedir. İşbirlikli algılamada kullanıcılar arasındaki uzaysal çeşitlilikten faydalanılır. Bu nedenle BR kullanıcıları arasındaki korelasyon arttıkça işbirlikli algılamanın olumlu etkileri daha fazla görülmektedir. Bant genişliği ve alınan örnek uzunluğu gibi kısıtlamalar nedeniyle, bilişsel kullanıcılar sadece sınırlı gözlemler bildirebilirler. Burada, sert birleştirme ve yumuşak birleştirme gibi iki birleşim yöntemi algoritması kullanılmaktadır. Yumuşak birleştirme yöntemi matematiksel olarak Eşitlik 12 ile ifade edilmektedir.

$$T_{ED} = \sum_{n=1}^N |y_i[n]|^2 \frac{\sigma_s^2}{\sigma_\eta^2 (\sigma_s^2 + \sigma_\eta^2)} \quad (12)$$

Burada  $|y_i[n]|^2$ , i. bilişsel kullanıcıdaki yumuşak karardır. Bu nedenle işbirlikli algılama için en verimli yöntem tüm BR kullanıcılarında ayrı enerji algılama kararı vermek ve verilen bu kararları Eşitlik 12'deki gibi toplamaktır.

İşbirlikçi algılamadaki diğer bir yöntem olarak bilinen sert birleştirmede ise, her bir BR kullanıcısı kendi yerel kararını vererek ve birleşim merkezine bir bit ("1" ya da "0") göndermektedir. Sonraki adım ise verilen bu sert kararların birleştirilmesi ve son spektrum kararının verilmesidir. Sert birleştirme tekniğinde son kararın verilmesi için 'VE' ve 'VEYA' mantıksal kuralları kullanılmaktadır. 'VE' kuralı kullanıldığında  $H_1$  kararı verilmesi için bütün BR kullanıcıların işaret algılamış olması gerekmektedir. 'VEYA' kuralında ise sadece bir adet BR'nin işaret algılaması  $H_1$  kararı vermek için yeterlidir. Bu kurallar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} VE &\rightarrow \sum_M T_m = M \\ VEYA &\rightarrow \sum_M T_m \geq M \end{aligned} \quad (13)$$

İşbirlikli algılama kablosuz haberleşme sistemlerinde mutlaka bulunan çok yollu sönmelenme, gürültü belirsizliği gibi bozucu faktörlere karşı, BR ve radar sistemleri için her zaman daha başarılı sonuçlar sunmaktadır.

## 2.2. Adaptif Eşik Değerinin Belirlenmesi

Eşik değerinin belirlenmesi için BR kullanıcıları tarafından alınan işaretin kovaryans matrisinin özdeğerlerinden faydalanılmaktadır. Önerilen algılama modeline BR kullanıcı tarafından alınan işaret matrisi Eşitlik 20 ile verilmektedir. Sistemde  $M$  adet BR kullanıcısı olduğu ve  $N$  adet işaret örneği alındığı varsayımı ile  $\mathbf{y}(n)$  matrisi  $M \times N$  boyutunda olacaktır.

$$\mathbf{y}(n) = \begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & \cdots & y_{1,N} \\ y_{2,1} & y_{2,2} & \cdots & y_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{M,1} & y_{M,2} & \cdots & y_{M,N} \end{bmatrix} \quad (14)$$

Burada  $y_{i,j}$ , i. BR kullanıcısının algıladığı j. örneği temsil etmektedir. Böylece matrisin her bir satırı farklı BR kullanıcısı tarafından alınan işaret örneklerini tanımlar. Bu durumda alınan işaretin kovaryans matrisi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\Sigma_{y(n)} = \frac{1}{N} \mathbf{y}(n)\mathbf{y}(n)^\dagger \quad (15)$$

Marchenko Pastur (MP) teoremine göre  $\Sigma_{y(n)}$  matrisinin özdeğerleri gürültü varyansının tahmini için kullanılabilir (Yaskov, 2016).

Tahmin edilen gürültü varyansı  $\sigma_\eta^2$  ile ifade edilirse, bu çalışmada önerilen tahmin edilmiş gürültü varyansı Eşitlik 16 ile tanımlanabilir.

$$\sigma_\eta^2 = \min_{\pi_m} (G(\pi_m)) \quad (16)$$

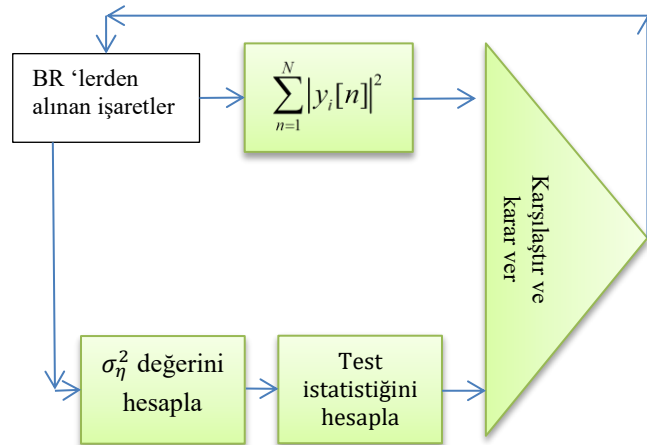
Burada  $G(\pi_m)$  aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$G(\pi_m) = \|EF - mp(1 - \beta) p, \pi_m\|_2 \quad (17)$$

Burada  $EF$ , kovaryans matrisinin özdeğerleri için deneysel/gözleme dayalı olasılık dağılım fonksiyonudur.  $mp$  ise Marhenko Pastur teoremini belirlemektedir. Ayrıca  $(1 - \beta)$  ve  $\pi_m$  kovaryans matrisi özdeğerlerinin  $mp$  teoremi parametreleridir. Böylece önerilen adaptif eşik değeri kullanıldığında eşik değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\gamma_{ED} = F_{\chi^2_{2N}}^{-1} (1 - P_{fa}) \frac{\sigma_\eta^2}{2} \quad (18)$$

Böylece adaptif enerji algılama için enerji algılama için Şekil 2’de verilen blok diyagrama bakılabilir. Burada spektrum kararı verildikten sonra sürekli eşik değeri yeniden tahmin edilerek kararın geçerliliği sınanmaktadır.



Şekil 2. Adaptif Enerji Tabanlı algılama için blok diyagram

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Yapılan teorik analizlerin benzetim çalışmaları için MATLAB programı kullanılmıştır. Benzetim çalışmaları Şekil 1’de verilen algılama modeli kullanılarak, birincil verici işareti rastgele olarak üretilmiştir. Spektrum algılamada eşik değeri için teorik (Eşitlik 17) ve adaptif (Eşitlik 24) ile verilen eşik değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada önerilen yöntemin algılama performansı bakımından değerlendirilmesi için iki adet grafik şekli çizdirilmiştir. Bunlardan biri Receiver Open Characteristic (ROC) eğrileridir. ROC eğrileri radar sistemleri ve BR uygulamalarının performansının değerlendirilmesi için oldukça önemli bir yere sahiptir. Bu grafiklerde  $x$  eksenini  $P_{fa}$ ,  $y$  eksenini ise  $P_d$  değerini göstermektedir. Böylece bu iki değer birlikte değişimine göre yöntem performansı



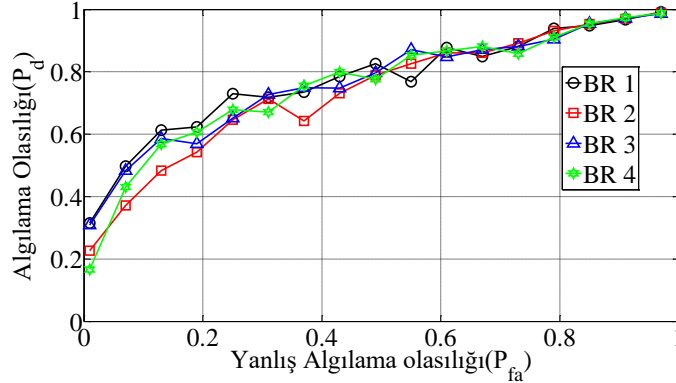
değerlendirilmektedir. Diğer grafik türünde ise verilen SNR değerlerine göre algılama performansı değerlendirilmektedir. BR sistemlerinde gürültü ile algılama arasındaki ilişkiyi görmek açısından bu grafikler oldukça yararlı olmaktadır.

Benzetim çalışmalarından önce önerilen adaptif eşik değeri için, gürültü varyansının gerçek ve tahmin edilen değerlerini gösteren bilgiler Tablo 1. ile verilmektedir. Burada gerçek gürültü gücü ile tahmin edilen gürültü gücünü farklı SNR değerlerine göre göstermektedir. Tablodan görüldüğü üzere bu çalışmada kullanılan hesaplama yöntemi ile, çok yüksek gürültü seviyelerinde hata oranı daha fazladır. Ayrıca gerçek gürültü seviyesi ( $\sigma_\eta^2$ ) negatif değerlerde iken, tahmin edilen gürültü seviyesi ( $\sigma_\eta^2$ ) daha fazla bulunmuştur. Bu durum gerçek gürültü seviyesi pozitif olduğunda tersine döndüğü görülmektedir.

Tablo 1. Gerçek ve Tahmin Edilen Gürültü Seviyeleri

$\sigma_\eta^2$ (dB)	$\sigma_\eta^2$ (dB)
-20	-18,5
-15	-13,4
-10	-9,1
0	1,2
5	6,4

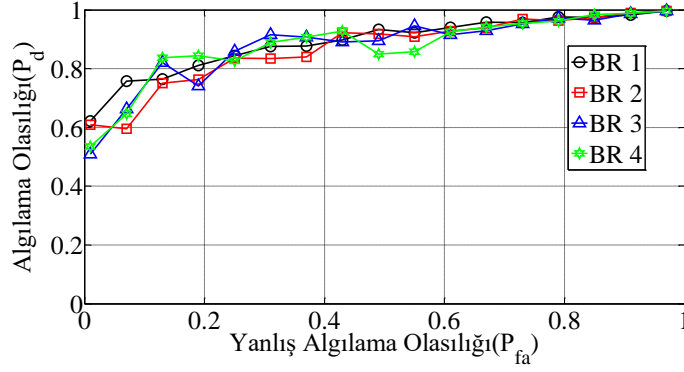
Şekil 3 'de 5 dB gürültü ve 4 adet BR kullanıcısı olduğu varsayımı ile işbiriksiz algılama sonuçları verilmektedir. Bu nedenle verilen grafikte her bir BR kullanıcısının verdiği sert karar görülmektedir.  $P_{fa}$ , uluslar arası haberleşme komitesinin belirlediği sınır değer 0.1 seçilmiştir. Bu bilgilere ek olarak bu grafikler Monte Carlo analizi yapılmış olup, önerilen yöntem 100 kere çalıştırılmış ve  $P_d$ 'nin ortalaması alınmıştır. SIMO kanal için ise kanal katsayıları yine rastgele üretilmiştir. Algılama değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durumun en önemli sebebi BR kullanıcılarının algıladığı işaretlerin, birbirleri ile olan ilinti derecesidir. Uygulamada BR kullanıcıları birbirlerine ne kadar yakın olursa, anten ilintileri o kadar fazla olacağından algılama değerleri birbirine yakınsayacaktır. Fakat uygulama da bu durumun önüne geçmek için BR kullanıcılarının birbiri ile yeterince uzakta olması gerekmektedir.



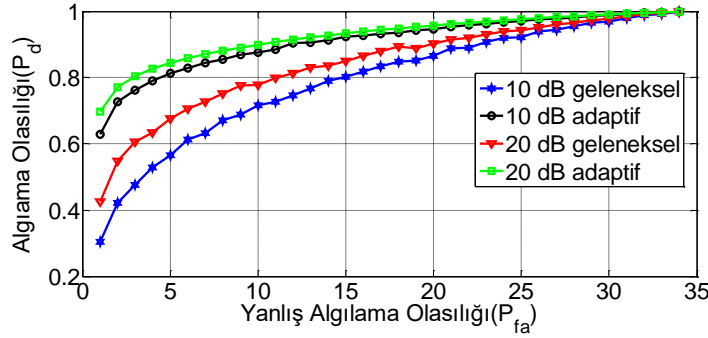
Şekil 3.  $N=10^4$ ,  $SNR= 5$  dB,  $M=4$  için ROC Eğrileri

Şekil 4'de ise 0 dB gürültü varlığında ROC eğrilerini göstermektedir. Görüldüğü üzere gürültü seviyesinin azalması BR kullanıcılarının algılama olasılığı değerlerinde gözle görülür bir artış sağlamıştır.

İşbirlikli algılama için VE kuralına göre sert birleştirme yapıldığında algılama performansları Şekil 5 ile verilmektedir. Burada görüldüğü üzere gürültü varyansı 0 dB ile 20 dB arasında değiştirilmiştir. Bu grafik için (geleneksel) sonuçlar adaptif olmayan EA tabanlı spektrum algılama için benzetim sonuçlarını göstermektedir. Adaptif olanlar ise Şekil 2 ile verilen blok diyagrama göre EA tabanlı spektrum algılama sonuçlarını göstermektedir. Grafikten anlaşılacağı üzere aynı gürültü seviyesi için geleneksel ve adaptif algılama yöntemlerinde arasında gözle görülür bir performans farkı oluşmaktadır. Bunun en önemli sebebi gürültü varyansının tahmininde oluşan farklılıklardır.

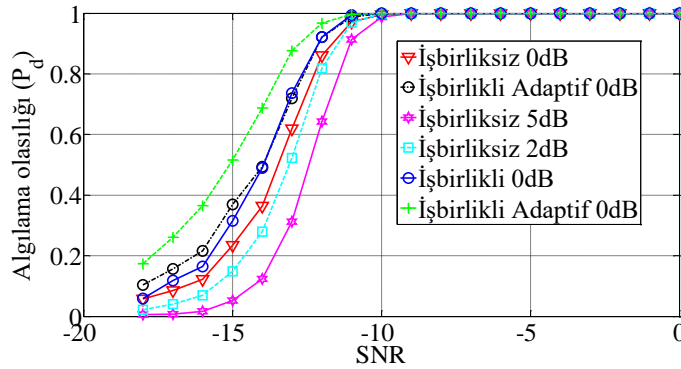


Şekil 4.  $N=10^4$ ,  $SNR=0$  dB için ROC Eğrileri



Şekil 5. Yumuşak Birleştirme için ROC Eğrileri,  $N=10^4$ ,  $P_{fa}=0.1=5$  dB,  $M=4$

Şekil 6'da ise işbirlikli ve işbirliklessiz algılama için algılama performansları verilmektedir. Bu grafik için en iyi algılama performansı İşbirlikli ve adaptif eşik değeri kullanan yöntem olduğu görülmektedir (Şekil 6 da geleneksel algılama sonuçlarına yer verilmemiştir). Ayrıca bu grafikte verilen dB değerleri gürültü belirsizliği faktörünü tanımlamaktadır. Gürültü belirsizliği faktörü bilindiği üzere kablosuz haberleşme sistemlerinde sürekli bulunan ve haberleşme kalitesini olumsuz yönde etkileyen bir faktördür. Çalışmanın giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, EA tabanlı yöntemler gürültü belirsizliğine karşı oldukça kırılğandır. Bu nedenle benzetim sonuçlarında bu grafiğe de yer verilmektedir.



Şekil 6.  $SNR-P_d$  Grafiği,  $N=10^4$ ,  $M=4$ ,  $P_{fa}=0.1$

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada BR sistemleri için başlangıç adımı konumunda olan, EA tabanlı spektrum algılama yöntemi incelenmiştir. EA tabanlı algılama yöntemi, gürültü belirsizliğine olan aşırı kırılğanlılığı ile yüksek gürültü seviyelerinde başarısız sonuçlar sergileyebilmektedir. Bu nedenle EA tabanlı algılama yönteminin spektrum algılayabilme başarısı, ortamda bulunan gürültü seviyesinin bilinmesi ile doğru orantılı değişmektedir. Bu çalışmada ortamda bulunan gürültüyü varyansının tahmini için Marchenko Pastur teoremine dayalı bir kestirim yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemle EA tabanlı algılama için adaptif bir algılama yöntemi kullanılmaktadır. Yapılan benzetim çalışmaları işbirlikli ve işbirliklessiz olarak değerlendirilmektedir. Benzetim çalışmalarından alınan sonuçlara göre önerilen algılama modeli geleneksel yöntemle göre performans artışı sağlamaktadır.

## Kaynakça

- Abdalrazik, A., Soliman, H., Abdelkader, M. F., & Abuelfadl, T. M. (2016). Power performance enhancement of underlay spectrum sharing using microstrip patch ESPAR antenna. *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 2016-Sept(1), 61–68. <https://doi.org/10.1109/WCNC.2016.7565095>
- Ahmad, A. W., Yang, H., & Lee, C. (2015). Maximizing throughput with wireless spectrum sensing network assisted cognitive radios. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2015, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2015/195794>
- Charan, C., & Paney, R. (2016). Eigenvalue based double threshold spectrum sensing under noise uncertainty for cognitive radio. *Optik*, 127(15), 5968–5975. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.04.049>
- Çiflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2018). Covariance Based Spectrum Sensing with Studentized Extreme Eigenvalue. *Technical Gazette*, 25(6), 100–106.
- Commission, F. C. (2002). Revision of Part 15 of the Commission's Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems. *First Report and Order in ET* .... <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Dahlman, E., Parkvall, S., & Skold, J. (2013). *4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-06829-6>
- De Vito, L. (2013). Methods and technologies for wideband spectrum sensing. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 46(9), 3153–3165. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.06.013>
- Dibal, P. Y., Onwuka, E. N., Agajo, J., & Alenoghena, C. O. (2018). Application of wavelet transform in spectrum sensing for cognitive radio: A survey. *Physical Communication*, 28, 45–57. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2018.03.004>
- Edelman, A. (2005). Random matrix theory. *Acta Numerica*, 1–65. <https://doi.org/10.1017/S0962492904000236>
- Erpek, T., Steadman, K., & Jones, D. (2007). CR..2 A..Spectrum Occupancy Measurements: Dublin Ireland Collected On April 16-18, 2007. In *Technical Report, Shared Spectrum Company Nov 2007* (pp. 1–34). Vienna: Shared Spectrum Company.
- He, Y., Ratnarajah, T., Yousif, E. H. G., Xue, J., & Sellathurai, M. (2016). Performance analysis of multi-antenna GLRT-based spectrum sensing for cognitive radio. *Signal Processing*, 120, 580–593. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.10.018>
- Kortun, A., Ratnarajah, T., Sellathurai, M., Zhong, C., & Papadias, C. B. (2011). On the performance of eigenvalue-based cooperative spectrum sensing for cognitive radio. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 5(1), 49–55. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2010.2066957>
- Kortun, Ayse, Ratnarajah, T., Sellathurai, M., Liang, Y. C., & Zeng, Y. (2014). On the eigenvalue-based spectrum sensing and secondary user throughput. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(3), 1480–1486. <https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2282344>
- Li, C. M., & Lu, S. H. (2016). Energy-Based Maximum Likelihood Spectrum Sensing Method for the Cognitive Radio. *Wireless Personal Communications*, 89(1), 289–302. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3266-0>
- Lu, L., Li, G. Y., Swindlehurst, A. L., Ashikhmin, A., & Zhang, R. (2014). An overview of massive MIMO: Benefits and challenges. *IEEE Journal on Selected Topics in Signal Processing*, 8(5), 742–758. <https://doi.org/10.1109/JSTSP.2014.2317671>
- Luo, X., Wang, X., Zhang, M., & Guan, X. (2019). Distributed detection and isolation of bias injection attack in smart energy grid via interval observer. *Applied Energy*, 256, 113703. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2019.113703>
- Mitola, J. (2006). Cognitive Radio Architecture. In *Cognitive Radio Technology* (pp. 435–500). Newnes. <https://doi.org/10.1016/B978-075067952-7/50015-5>
- Mitola, J., & Maguire, G. Q. (2001). Cognitive radio: Making software radios more personal. In *Software Radio Technologies: Selected Readings*. <https://doi.org/10.1109/9780470546444.ch4>
- Mohammadi, A., Javadi, S. H., Ciuonzo, D., Persico, V., & Pescapé, A. (2019). Distributed detection with fuzzy censoring sensors in the presence of noise uncertainty. *Neurocomputing*. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2019.03.044>
- Pillay, N., & Xu, H. J. (2012). Blind eigenvalue-based spectrum sensing for cognitive radio networks. *IET Communications*, 6(11), 1388. <https://doi.org/10.1049/iet-com.2011.0506>
- S, A. P., & Jayasheela, M. (2012). Cyclostationary feature detection in cognitive radio using different modulation schemes. *International Journal of Computer Applications*, 47(21), 975–8887. <https://doi.org/10.7763/IJFCC.2013.V2.249>
- Shi-Qi, L., Bin-Jie, H., & Xian-Yi, W. (2012). Hierarchical cooperative spectrum sensing based on double thresholds energy detection. *Communications Letters, IEEE*, 16(7), 1096–1099. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2012.050112.120765>
- Szczerba, K., Westbergh, P., Agrell, E., Karlsson, M., Andrekson, P. A., & Larsson, A. (2013). Comparison of intersymbol interference power penalties for OOK and 4-PAM in short-range optical links. *Journal of Lightwave Technology*, 31(22), 3525–3534. <https://doi.org/10.1109/JLT.2013.2285468>
- Verma, P., & Singh, B. (2016). Overcoming sensing failure problem in double threshold based cooperative spectrum sensing. *Optik*, 127(10), 4200–4204. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.01.108>
- Yaskov, P. (2016). A short proof of the Marchenko–Pastur theorem. *Comptes Rendus Mathematique*, 354(3), 319–322. <https://doi.org/10.1016/J.CRMA.2015.12.008>
- Yonghong Z., Ying-Chang L., & Rui Z. (2008). Blindly combined energy detection for spectrum sensing in cognitive radio. *IEEE Signal Processing Letters*, 15(1), 649–652. <https://doi.org/10.1109/LSP.2008.2002711>
- Zeng, Y., & Liang, Y. C. (2009). Eigenvalue-based spectrum sensing algorithms for cognitive radio. *IEEE Transactions on Communications*, 57(6), 1784–1793. <https://doi.org/10.1109/TCOMM.2009.06.070402>



# Bir Yük Gemisi Formunun Parametrik Olarak Modellenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu\*

Hasan Timurlek<sup>1</sup>, Bekir Şener<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6007-9895)

<sup>2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Gemi İnşaatı ve Denizcilik Fakültesi, Gemi İnşaatı ve Gemi Mak. Müh. Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1671-5150)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf14)

**ATIF/REFERENCE:** Timurlek, H., & Şener, B. (2020). Bir Yük Gemisi Formunun Parametrik Olarak Modellenmesi ve Çok Amaçlı Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 105-113.

## Öz

Geleneksel gemi tasarım süreci tekne formunun modellenmesi ve sonrasında analiz edilmesi adımlarından oluşmaktadır. Bu iteratif süreç, arzu edilen performans değerleri elde edilene kadar formun genellikle deneme yanılma yoluyla değiştirilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Tasarım süresi tasarımcının bilgi birikimine ve tecrübesine bağlı olup ortaya çıkan sonuç genellikle optimum bir gemi formu olmaktan ziyade beklenen performans değerlerini sağlayabilen bir form olmaktadır.

Bu makalede, yeni nesil gemi tasarım yöntemlerinden biri olan Simülasyon Yönetimli Tasarım yaklaşımı kullanılarak gemi formu optimizasyonuna yönelik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik olarak CAESES adlı yazılım kullanılarak tam parametrik olarak modellenmiş olan gemi formu NSGA-II genetik algoritması kullanılarak direnç, denizcilik ve kargo hacmi amaç fonksiyonlarını optimize edecek şekilde modifiye edilmiş ve 160 farklı tekne formu türetilmiştir. Bu formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içindeki formlar farklı önem derecelerine sahip senaryolara göre değerlendirilmiş ve optimum olarak belirlenen formlar başlangıç formu ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Parametrik Modelleme, Çok Amaçlı Optimizasyon, Gemi Dizaynı, Bilgisayar Destekli Tasarım

## Parametric Modelling and Multi-Objective Optimization of a Cargo Ship Form

### Abstract

Traditional ship design process consists of modeling and analyzing the ship form. This iterative process generally occurs in the way of changing the form by trial and error until the desired performance values are achieved. The design time depends on the knowledge and experience of the designer and the result is generally a form that can provide expected performance values rather than an optimum ship form.

In this article, a study on optimization of ship form was carried out by using the Simulation Driven Design approach, which is one of the new generation ship design methods. For this purpose, a fully-parametric ship hull form modeled using the software named CAESES was modified to optimize the hull form according to resistance, seakeeping and cargo volume objective functions using the NSGA-II genetic algorithm and 160 alternative hull forms were derived. Pareto-Optimal solution set was created with suitable forms by eliminating the hull forms that not provide the stability criteria. The hull forms in the solution set were evaluated according to scenarios with different severity levels and the optimum hull forms were compared with the initial hull form.

**Keywords:** Parametric Modeling, Multi-Objective Optimization, Ship Design, Computer Aided Design

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Bir teknenin hidrodinamik performansını etkileyen en önemli etken tekne formudur. Ön tasarım aşamasında tekne ana boyutlarının uygun şekilde belirlenmesi hidrodinamik performansın iyileştirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bunun yanı sıra piyasada rekabetçi olabilmek açısından tasarım süreçlerinin verimli ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Geleneksel gemi tasarım süreci tekne formunun modellenip devamında analiz edilmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Eğer analiz sonuçları tatmin edici değilse arzu edilen performans değerleri elde edilene kadar tekne formu iteratif şekilde değiştirilir. Ortaya çıkan form genellikle optimum bir form olmaktan ziyade beklenen performans değerlerini sağlayan bir form olmaktadır. Bu şekildeki bir tasarım süreci yavaş ve verimsiz olup rekabetçi olmaktan uzaktır(Sener, 2016).

Son yıllarda araştırmacılar, ön tasarım aşamasının hızını ve verimini artırmak için Bilgisayar Destekli Tasarım (BDT), hidrodinamik analiz süreçlerinin entegre ve eş zamanlı olarak gerçekleştirilmesi üzerine bir çok çalışma yapmıştır(Huang & Yang, 2016; Lin, He, & Li, 2018; Lin, Yang, & Guan, 2019; Sener & Yildirim, 2018; Yu, Lee, Lee, & Choi, 2017). Harries isimli araştırmacı(Harries, 1998), tekne formunu oluşturan eğri ve yüzeyleri birçok form parametresine bağlı olarak modelleyerek tekne formlarının geometrik modellenmesine yeni bir yaklaşım getirmiş olup, BDT ve Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) analizlerinin efektif bir şekilde entegrasyonu için yeni bir yaklaşım ortaya çıkarmıştır. Bu yaklaşım ile form parametreleri üzerinde yapılan bir değişiklik, topolojiyi değiştirmeden tüm tekne formu üzerinde değişime sebep olmaktadır. Benzer çalışmalar sonucunda yeni bir tasarım konsepti ortaya çıkmıştır: Simülasyon Yönetimli Tasarım (SYT). Geleneksel yaklaşım sadece tasarım uzayını örneklemeye ve örneklerin içinden en iyisini seçmeye hizmet ederken SYT yaklaşımı ile tekne tasarım sürecinde yapılan eşzamanlı analizler sayesinde form parametrelerinin tekne performansı üzerindeki etkileri tespit edilerek formun beklenen tasarım isteklerine göre şekillendirilmesi sağlanmaktadır. Sonuç olarak başlangıç tekne formundan çok sayıda alternatif tekne türetilmesi ve aralarından en uygun formun seçilebilmesi mümkün olmaktadır.

Bu makalede, Simülasyon Yönetimli Tasarım yaklaşımı kullanılarak belirli tipte bir gemi formu için çok amaçlı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Buna yönelik olarak öncelikle CAESES yazılımında tam parametrik olarak modellenmiş olan bir yük gemisi formu ele alınmış ve form belirlenen parametrelere göre düzenlenmiştir. Öncelikli amaç belli boyut ve stabilite kısıtlarına uygun olacak şekilde kargo hacmini maksimize edecek ve aynı zamanda direnç ve düşey ivme değerlerini minimize edecek gemi formunu elde edebilmektir. Buna yönelik olarak Bastırılmamış Sınıflandırılmalı Genetik Algoritma II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, NSGA-II) genetik algoritması kullanılarak 160 alternatif tekne formu türetilmiştir. Tüm form türetme ve optimizasyon prosesi CAESES yazılımı tarafından otomatik olarak işleyecek şekilde tasarlanmıştır. Direnç ve denizcilik analizleri sırasıyla Maxsurf Resistance ile Maxsurf Motions yazılımlarının sisteme entegrasyonu ile sağlanırken kargo hacmi hesabı CAESES'te geliştirilen parametrik yöntem ile yapılmıştır. Türetilen alternatif formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içerisindeki formlar farklı önem derecelerine sahip 4 farklı senaryoya göre değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Çok amaçlı tekne formu optimizasyon yöntemi 3 ana aşamadan oluşmaktadır: Ön tasarım ve kısıtların belirlenmesi, parametrik modelleme, analizler ve çok amaçlı optimizasyon.

### 2.1. Ön Tasarım ve Kısıtların Belirlenmesi

Bir gemi tasarımı sürecinde ilk belirlenmesi gereken konu tasarım istekleri ve kısıtlarıdır. Tasarımı yapılacak gemi tipine göre baskın olan istekler ve kısıtlar değişkenlik gösterir. Bu çalışmada 48000 DWT'luk bir yük gemisinin form optimizasyonu çalışması yapılmasına karar verilmiştir. Başlangıç tekne formunun ana boyutları Tablo 1'de verildiği gibidir.

Tablo 1 Başlangıç Tekne Formunun Ana Boyutları

Açıklama	Değerler
Dikmeler Arası Boy, $L_{BP}$ (m)	180
Maksimum Genişlik, $B_{max}$ (m)	30
Draft, $T$ (m)	12,8
Derinlik, $D$ (m)	18
Deplasman, $\Delta$ (ton)	60413
Kargo Hacmi, $V_{kargo}$ ( $m^3$ )	55000
DWT (ton)	48000

Ana tekne formundan türetilen alternatif tekne formlarının hedef isteklere uygun olması ve anlamlı bir şekilde karşılaştırılabilmesi için bazı kısıtlar belirlenmiştir. Gemi boyunun ve genişliğin belirlenen alt ve üst sınırlar arasında değişimine izin verilmiş olup draft değeri sabit tutulmuştur. Türetilen teknelerin deplasmanın başlangıç teknesinin deplasmanına yakın olması için deplasman kısıtlaması konmuştur. Ayrıca tüm alternatif teknelerin başlangıç stabilite hesaplamaları yapılarak kriterlere uygunluğu kontrol edilmiş ve uymayan tekneler çözüm kümesinden elenmiştir. Çalışmada kullanılan deplasman ve stabilite kısıtları Tablo 2'de verilmektedir.



Tablo 2 Çalışmada Kullanılan Kısıtlar

Kısıtlar	Değerler
Deplasman Alt Sınırı	58600 ton (-%3)
Deplasman Üst Sınırı	62200 ton (+%3)
Başlangıç GM değeri	$\geq 0,15$ m
GZ- $\Phi$ eğrisi altında kalan alan;	
0°-30° arasında	$\geq 0,055$ m.rad
0°-40° arasında	$\geq 0,09$ m.rad
30°-40° arasında	$\geq 0,03$ m.rad

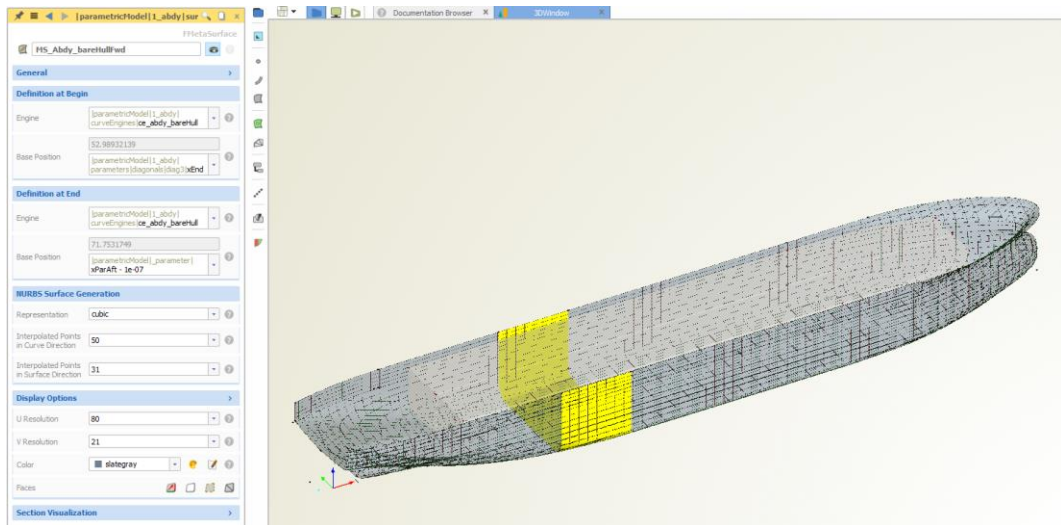
## 2.2 Parametrik Modelleme

Geometrik modelleme yöntemleri en genel manada geleneksel modelleme, kısmi parametrik modelleme ve tam parametrik modelleme olarak sınıflandırılabilir. Bu çalışmada tekne formu tam parametrik olarak modellenmiştir. Tam parametrik modelleme yönteminde tüm geometri sabit ve değişken parametreler tarafından kontrol edilmektedir. Parametreler, bir modelin fonksiyonel karakteristiklerini yansıtan yüksek düzey tanımlayıcılardır. Değişkenler ise parametrelerin değişiminden etkilenen ve şekillenen değerlerdir.

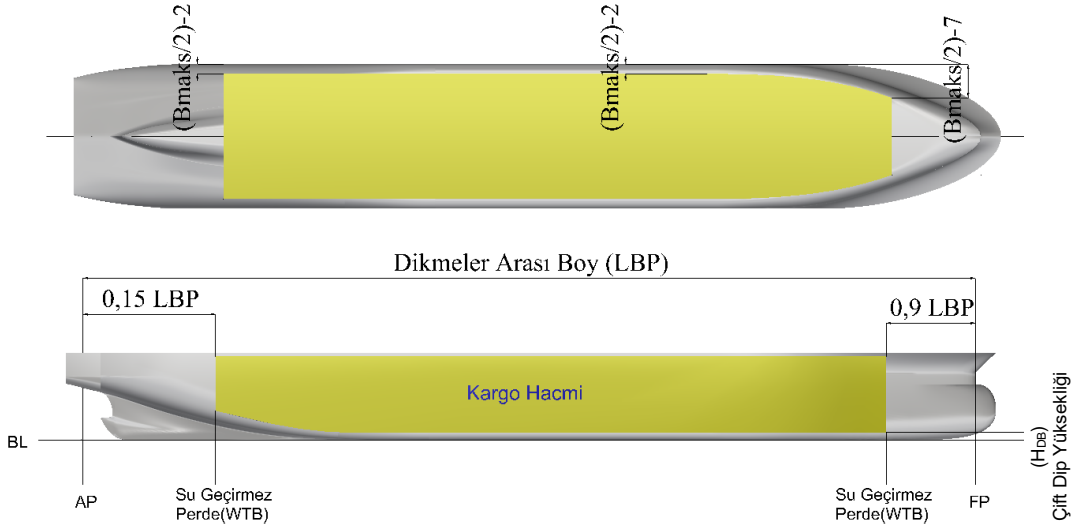
Global optimizasyon sürecinde, tekne form geometrisinin belirli parametrelere göre değiştirilmesi gerekir. Bu süreç optimizasyon döngüsünde son derece önemli bir yer tutar. Tekne formunun çeşitli parametrelere göre modellenmesini üzerinde ilk çalışmalar Nowacki vd. (H., C., & C., 1977) tarafından yapılmış ve sonrasında diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. 1998 yılında Harries yapmış olduğu çalışmalar sonucunda gemi formunun parametrik olarak modellenmesini ve BDT ile HAD yöntemlerinin entegre kullanılabilmesi için yeni bir yöntem geliştirmiştir.

Harries ve Abt'ın (Harries & Abt, 1999) geliştirdikleri CAESSES (eski adı ile Friendship-Framework) adlı yazılım ile tekne formlarının parametrik modellenmesi ve sistematik varyasyonu mümkün hale gelmiştir. Yazılım bir çok analiz programı ile entegre olarak çalışabilmektedir ve ayrıca içinde bir çok optimizasyon algoritması dahili olarak bulunmaktadır. Programın getirdiği başka bir yenilik ise F-spline adı verilen bir eğri çeşididir. F-spline, düzgünlük için optimize edilmiş bir eğridir ve bir başlangıç ve bir bitiş noktası ile bu noktadaki teğet açılarıyla tanımlanmaktadır. F-spline eğrileri kullanılarak oluşturulan yüzeyler sayesinde parametrelerde yapılacak değişiklik ile tekne yüzeyi bozulmadan değiştirilebilmektedir.

Çalışma kapsamında tekne formu tam parametrik olarak oluşturulmuş (Şekil 1) ve kargo hacmi de yine tekne yüzeyinin bağlı olduğu parametrelere bağlı olacak şekilde modellenmiştir (Şekil 2). Böylelikle tekne formu değişikçe kargo hacminde gerçekleşen değişim hesaplanabilecektir.



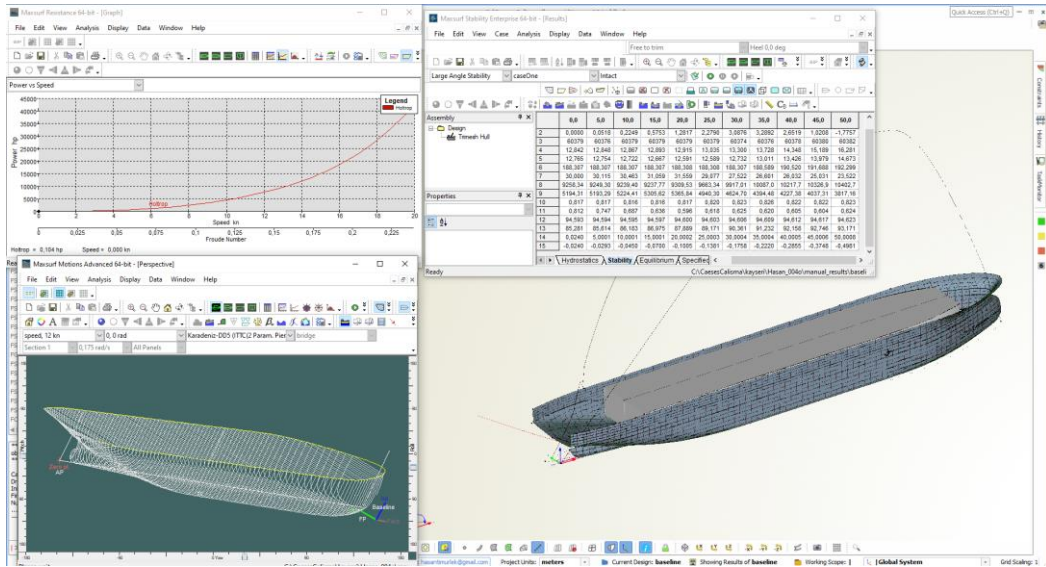
Şekil 1 Parametrik Tekne Formu



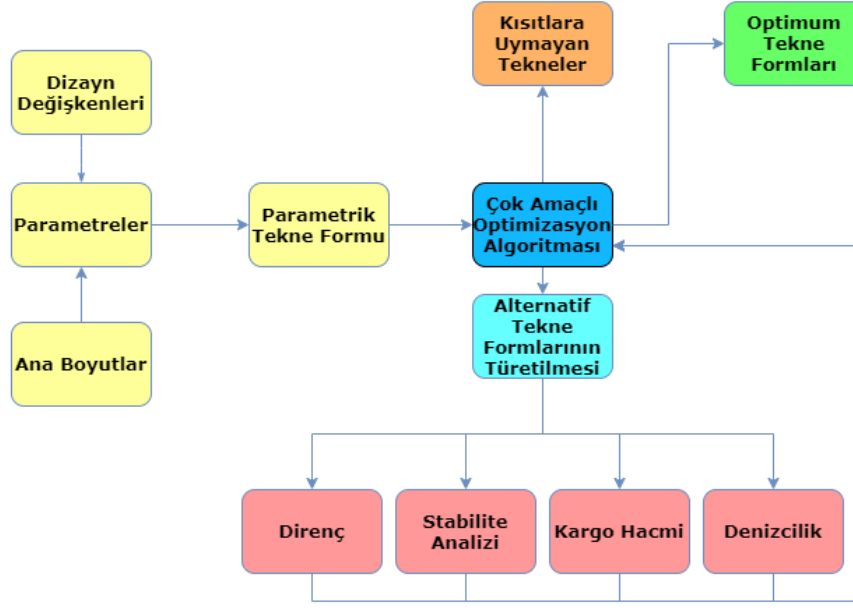
Şekil 2 Kargo Hacmi Parametreleri

### 2.3 Çok Amaçlı Optimizasyon

Tüm optimizasyon süreci CAESES tarafından otomatik olarak kontrol edilmekte ve işletilmektedir (Şekil 3). Optimizasyon sürecinin akış şeması Şekil 4’de gösterilmektedir.



Şekil 3 CAESES Tarafından Yönetilen Optimizasyon Süreci



Şekil 4 Optimizasyon Süreci Akış Şeması

Direnç analizlerini gerçekleştirmek için Maxsurf-Resistance modülü sisteme entegre edilmiştir. Türetilen tüm teknelerin direnç analizleri Tablo 3'te verilen özelliklere göre gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3 Direnç Analizinde Kullanılan Veriler

Yazılım	Maxsurf Resistance
Metot	Holtrop
Hız	12 knot (servis hızı)
Genel Sevk Verimi	%55
Draft, T(m)	12,8

Denizcilik analizleri Deniz Durumu 5'te (DD5) teknenin servis hızında seyrederken dalgayı 5 farklı açıdan (0°, 45°, 90°, 135°, 180°) alma durumuna göre yapılmıştır. Denizcilik hesaplamalarında genel olarak en büyük ivme değerleri baştan gelen dalgalarda oluşan düşey ivmelenmeler olarak bilinmektedir. Bu senaryoda düşük düşey ivme değerleri gösteren teknelerin diğer durumlarda da daha düşük ivmelenmeler göstereceği söylenebilir (Kükner & Sariöz, 1995). Bu nedenle, tüm alternatif teknelerin baştan gelen dalgalarda köprüüstünde gerçekleşen düşey ivme değerleri hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Denizcilik analizlerinde kullanılan veriler Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4 Denizcilik Analizinde Kullanılan Veriler

Yazılım	Maxsurf Motions
Analiz Tipi	Dilim Teorisi
Karakt. Dalga Yüksekliği	3,25 m
Modal Periyot	9,078 s
Dalga Spektrumu	Karadeniz / 2-parametre Bretschneider
VCG	12,6 m
Hız	12 knot (Servis Hızı)
Analiz Konumu (x,y,z)(m)	20, 0, 30 (AP'ye göre)

Çok amaçlı optimizasyon sürecinde, hızlı ve daha iyi yakınsama yapan NSGA II algoritması tercih edilmiştir (Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002). NSGA II'nin ana döngüsünde ilk aşamada rasgele bir şekilde P0 ebeveyn popülasyonu oluşturulur ve popülasyon bireylerin Pareto üstünlüklerine dayalı olarak sıralanır. Her bir çözümün uygunluğu, kendi bastırılmamışlık seviyesine eşit olarak atanır (1 en iyi seviye, 2 ikinci en iyi seviye ve benzer şekilde). Bu yüzden uygunluğun minimizasyonu kullandığı varsayılır.

Daha sonra, doğal ikili turnuva seçimi, yeniden birleşme ve mutasyon işlemcileri, N boyutlu Q0 popülasyonunun bireylerini oluşturmak için ebeveyn popülasyona uygulanır. Seçkinlik işlemi ise, önceki en iyi bastırılmamış çözümler ile mevcut popülasyon karşılaştırarak gerçekleştirilecektir. Bu yüzden, başlangıç jenerasyonundan sonra prosedür farklı bir şekilde işler(Sener, 2012).

Çalışmada kullanılan dizayn değişkenlerinin alt ve üst sınırları Tablo 5'teki gibidir. Yapılan çalışmada, bir dökme yük gemisinin çok amaçlı optimizasyonunu gerçekleştirmek üzere belirlenen 3 amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

- Servis hızındaki direncin minimize edilmesi (min  $RT@12kn$ )
- Köprüüstündeki düşey ivmenin minimize edilmesi (min  $Vacc$ )
- Kargo hacminin maksimize edilmesi (maks  $Vkargo$ )

Tablo 5 Optimizasyon Aşamasında Kullanılan Dizayn Değişkenleri

Parametre	Sembol	Alt Sınır	Üst Sınır
Dikmeler Arası Boy	LBP	170	200
Maksimum Genişlik	$B_{max}$	28	32,2

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu makalede, NSGA II algoritması kullanılarak yapılan optimizasyon sürecinde 160 adet alternatif form türetilmiştir. Bu formlardan 112 adedi mevcut kısıtları sağlamış olup 48 adet tekne formu kısıtlara uygunluk göstermediği için elenmiştir.

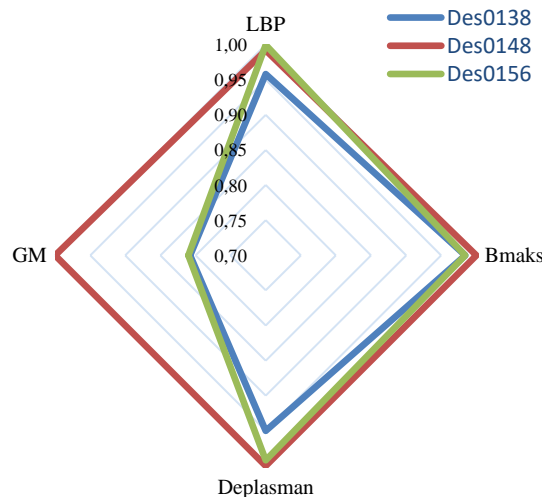
Her bir amaç fonksiyonunu için en iyi değerleri veren tasarımlar aşağıdaki gibi tespit edilmiştir. Bu tasarımların söz konusu amaç fonksiyonuna ait değerlerinin başlangıç teknesi ile karşılaştırılmış değerleri ise Tablo 6'da gösterilmektedir.

- min  $RT@12kn$  des138
- min  $Vacc$  des148
- maks  $Vkargo$  des156

Tablo 6 Her Amaç Fonksiyonu İçin Tespit Edilmiş En İyi Formlar

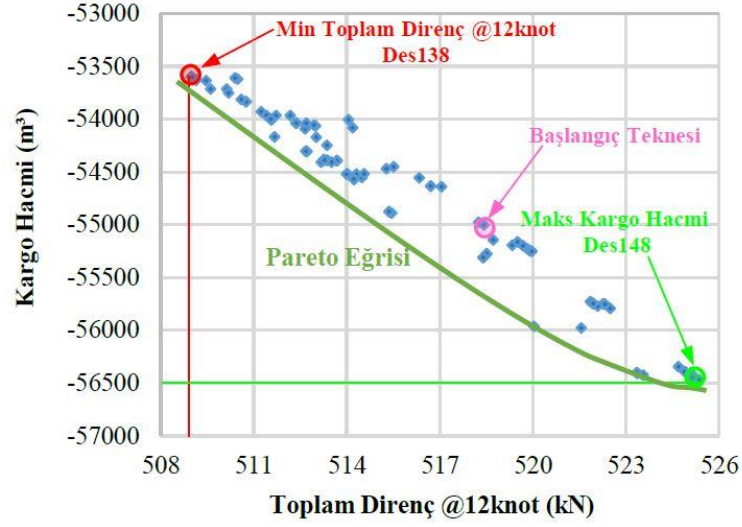
	Başlangıç Formu	Des138	Değişim %
$R_T@12kn$	518,43 kN	508,9 kN	~2
$V_{kargo}$	55000 m <sup>3</sup>	56468 m <sup>3</sup>	~2,7
$V_{acc}$	0,1083 m/s <sup>2</sup>	0,1034 m/s <sup>2</sup>	~4,5

Tespit edilen optimum formların parametrelerinin değişimi ve deplasman, GM değerleri Şekil 5'te verilmektedir.

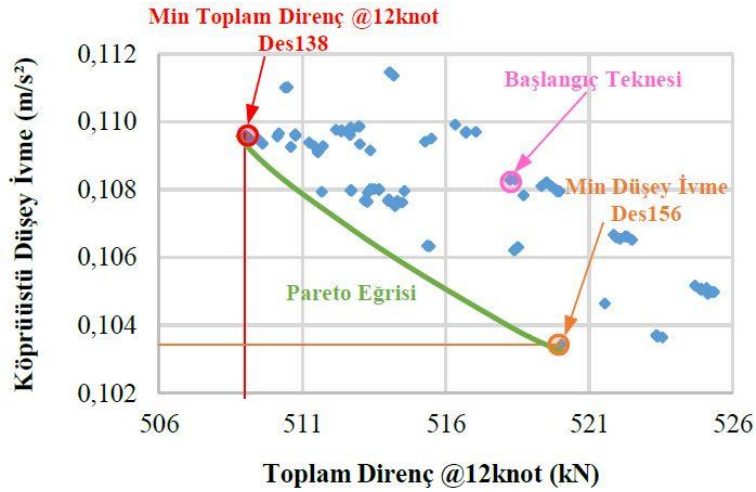


Şekil 5 Tek Amaç Fonksiyonu İçin En İyi Formların Parametre Değişimi

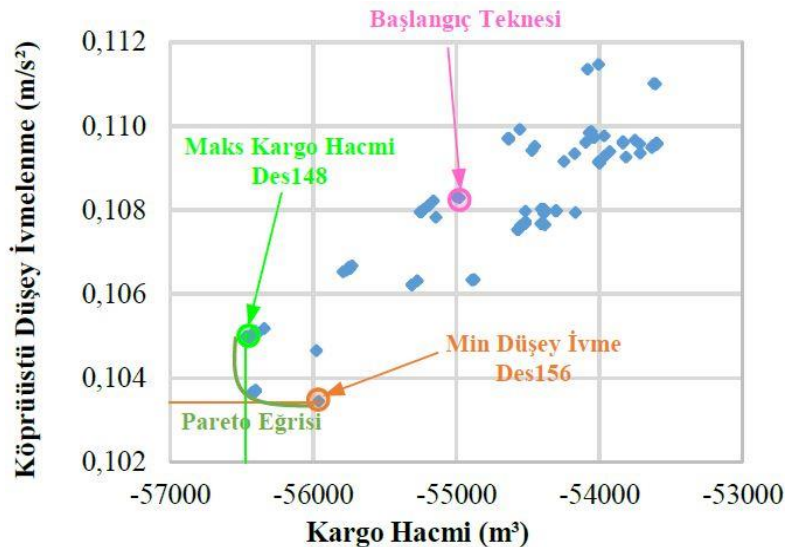
Optimum teknelerin daha kolay belirlenebilmesi amacıyla amaç fonksiyonlarının ikili karşılaştırması yapılarak Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8'de verilmiştir. Grafiklerde her bir amaç fonksiyonunu minimize eden tasarımlar ve optimum form kümesini belirten Pareto eğrileri de gösterilmektedir. Optimizasyon algoritması fonksiyonu minimize etmek üzere çalıştığı için maksimize edilmek istenen kargo hacmi değeri sisteme '-' olarak tanımlanmıştır.



Şekil 6 Kargo Hacmi – Toplam Direnç Grafiği



Şekil 7 Köprüüstü Düşey İvme- Toplam Direnç Grafiği



Şekil 8 Köprüüstü Düşey İvme - Kargo Hacmi Grafiği



Grafiklerde gösterilmiş olan Pareto eğrisi iki amaç fonksiyonuna göre optimal tasarım kümesini belirtmektedir. Tasarımcı bu iki amaç fonksiyonun önem derecesini belirleyerek optimal çözüm kümesinden uygun olan formu belirleyebilecektir.

Tüm amaç fonksiyonlarına göre optimum bir form seçilebilmesi için her bir amaç fonksiyonunun önem dereceleri değiştirilerek 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Amaç fonksiyonu değerlerinin normalizasyonu yapılarak 4 senaryo için 4 adet optimum tekne formu belirlenmiştir. Senaryolar ve amaç fonksiyonlarının ağırlıkları Tablo 7’de verilmektedir.

Tablo 7 Amaç Fonksiyonlarının Önem Derecelerine Göre Oluşturulan Senaryolar

	Senaryo1	Senaryo2	Senaryo3	Senaryo4
$R_T@12kn$	%33,3	%40	%40	%20
$V_{kargo}$	%33,3	%40	%20	%40
$V_{acc}$	%33,3	%20	%40	%40

Normalize edilen sonuçların senaryolarda belirlenen ağırlıklara göre ortalaması alınarak Tablo 8’de belirtilmiş olan optimum formlar elde edilmiştir.

Tablo 8 Senaryolara Göre Optimum Formlar

Senaryo	Optimum Form	Normalize Değer	Başlangıç Değeri	İyileşme %
Senaryo1	Des041	0,96697	1	~3,3
Senaryo2	Des138	0,96379	1	~3,6
Senaryo3	Des156	0,96535	1	~3,5
Senaryo4	Des156	0,96557	1	~3,4

## 4. Sonuç

Bu makalede, bir yük gemisi formunun SYT yaklaşımı ile çok amaçlı optimizasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Optimizasyon çalışmasındaki öncelikli amaç belli boyut ve stabilite kısıtlarına uygun olacak şekilde kargo hacmini maksimize edecek ve aynı zamanda direnç ve düşey ivme değerlerini minimize edecek gemi formunu elde edebilmektir. Bu amaca yönelik olarak tam parametrik olarak modellenmiş olan başlangıç gemi formundan NSGA-II genetik algoritması kullanılarak direnç, denizcilik ve kargo hacmi amaç fonksiyonlarını optimize etmeye yönelik 160 farklı tekne formu türetilmiştir. Bu formlardan stabilite kriterlerine uymayanlar elenerek, elverişli formlar ile Pareto-Optimal çözüm kümesi oluşturulmuştur. Çözüm kümesi içindeki formlar farklı önem ağırlıklarına sahip senaryolara göre değerlendirilmiş ve optimum olarak belirlenen formlar başlangıç formu ile karşılaştırılmıştır. Tüm senaryolarda %3 ile %4 arası bir iyileşme elde edilmiştir.

Ön tasarım sürecinde en uygun gemi boyutlarını tespit edebilmek amacıyla gerçekleştirilen optimizasyon sürecinin kısa sürede tamamlanabilmesi adına direnç analizleri ampirik yöntemlere dayalı bir çözücü ile hesaplanmıştır. Kıyaslama yapabilmek için bu sonuçlar yeterli olsa da direnç değerlerinin hassas olarak hesaplanabilmesi için viskoz çözüm yapan yazılımlar kullanılabilir. Ayrıca global form optimizasyonu sonrasında elde edilen optimum formların kısmi parametrik yöntemlerle lokal optimizasyonlarının da yapılması ile formun hidrodinamik performansı daha da iyileştirilebilir.

## Kaynakça

- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182–197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- H., N., C., C., & C., M. F. (1977). Ship Lines Creation by Computer - Objectives, Methods and Results. *Symposium on Computer-Aided Hull Surface Definition*. Annapolis, MD, USA.
- Harries, S. (1998). *Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms*. Ph.D. Thesis, Technical University of Berlin.
- Harries, S., & Abt, C. (1999). Parametric Design and Optimization of Sailing Yachts. *14th Chesapeake Sailing Yacht Symposium*. Annapolis, MD, USA.
- Huang, F., & Yang, C. (2016). Hull form optimization of a cargo ship for reduced drag. *Journal of Hydrodynamics*, 28(2), 173–183. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60619-4](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60619-4)
- Kükner, A., & Sariöz, K. (1995). High speed hull form optimisation for seakeeping. *Advances in Engineering Software*, 22(3), 179–189. [https://doi.org/10.1016/0965-9978\(95\)00016-P](https://doi.org/10.1016/0965-9978(95)00016-P)

- Lin, Y., He, J., & Li, K. (2018). Hull form design optimization of twin-skeg fishing vessel for minimum resistance based on surrogate model. *Advances in Engineering Software*, 123(April), 38–50. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2018.05.010>
- Lin, Y., Yang, Q., & Guan, G. (2019). Automatic design optimization of SWATH applying CFD and RSM model. *Ocean Engineering*, 172(November 2018), 146–154. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.11.044>
- Sener, B. (2012). Fırkateyn Tipi Tekne Serisi Geliştirilmesi Ve Hidrodinamik Form Optimizasyonu. Ph.D. Thesis Yildiz Technical University.
- Sener, B. (2016). Parametric Design of A Surface Combatant For Simulation-Driven Design And Hydrodynamic Optimization. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, (12), 125–129.
- Sener, B., & Yildirim, M. E. (2018). Bulbous Bow Optimization of KCS in Terms of Partially. *International Journal of Mechanical and Production Engineering*, (8), 47–51.
- Yu, J.-W., Lee, C.-M., Lee, I., & Choi, J.-E. (2017). Bow hull-form optimization in waves of a 66,000 DWT bulk carrier. *International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering*, 9(5), 499–508. <https://doi.org/10.1016/j.ijnaoe.2017.01.006>



# Sınıflandırma Algoritmalarını Kullanarak Meme Dokusunda Kitleleri Değerlendirmeye Yönelik Karar Destek Sistemi\*

Pınar Özel<sup>1\*†</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9688-6293)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf15)

**ATIF/REFERENCE:** Özel, P. (2020). Sınıflandırma Algoritmalarını Kullanarak Meme Dokusunda Kitleleri Değerlendirmeye Yönelik Karar Destek Sistemi, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 114-119.

## Öz

Meme kanseri, küresel olarak kadınlar arasında en çok görülen ve ölümlerle sonuçlanan kanser türleri arasındadır. Son yirmi yılda dünyanın farklı bölgelerinde yayınlanan epidemiyolojik çalışmalar, meme kanseri ölüm oranlarında önemli bir artış olduğunu göstermektedir. Bugün, mamografi meme dokusundaki kitlelerin ve mikrokalsifikasyonların görüntülenmesinde en etkin yöntemdir. Öte yandan, mamografi tahmini ile yapılan meme biyopsileri, biyopsi olmadan önlenebilecek iyi huylu bulguların yaklaşık yüzde 70 kapsamaktadır. Bu nedenle mamografi analizi tahminlerinde hekimlere yardımcı olmak için otomatik bir yöntem ihtiyacı vardır. Araştırmacılar son yıllarda farklı medikal karar destek sistemleri önermiştir. Bu çalışmada, meme kanseri tanısı sürecinde kullanılacak bir tıbbi karar destek sistemi önerilmiştir. Bu sistemin temel amacı, gereksiz meme biyopsilerinin miktarını azaltmak ve tanıyı daha güvenilir hale getirmektir. Buna göre, tercih edilen mamografi özneliklele içeren bir verikümesinde, hastanın yaşı dışında, meme dokusunun BI-RADS değerlendirilmesi, kütlenin şekli, kütle payı, doku yoğunluğu, lezyonun ciddiyetini gösteren bir sınıf etiketi bir olasılıksal sınıflandırma algoritması olan Naive Bayes ve bir ileri beslemeli yapay sinir ağı olan Çok Katmanlı Perceptron algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir. Önerilen sistem biyopsi veya kısa süreli takip kararı verilmesine yardımcı olabilir. Test sonuçları, önerilen yöntemin bilgisayar destekli tanı sistemlerinde bir karar modülü olarak kullanılabilirliği konusunda umut vericidir.

**Anahtar Kelimeler:** Mamografik kitle, meme kanseri, CAD, tıbbi karar destek sistemi

## A Decision Support System to Assess the Masses in Breast Tissue using Classification Algorithms

### Abstract

Breast cancer is the most widely recognized cancer-related death among women globally. Epidemiological studies released in different parts of the world over the past two decades show a significant rise in mortality rates for breast cancer. Today, mammography is the most effective method for imaging masses and microcalcifications in breast tissue. On the other hand, breast biopsy predictions arising from mammogram analysis lead to nearly 70 percent biopsies of benign findings that can be prevented without a biopsy. An automated method is therefore required to assist physicians in mammography analysis prognoses. Researchers have suggested different medical decision support systems recently. In this study, a medical decision support system to be utilized in the process of a breast cancer diagnosis is proposed. The primary purpose of this system is to lower the number of unnecessary breast biopsies and make the diagnosis more reliable. Accordingly, apart from the age of the patient, BI-RADS assessment of the breast tissue, the shape of the mass, mass margin, tissue density, the class label indicating the severity of the lesion are evaluated using the performances of a Naive Bayes algorithm, which is a probabilistic classification algorithm, and Multilayer Perceptron algorithm, which is a feed forward neural network, as two different classification algorithms via a preferred dataset in which each mammography

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Sorumlu Yazar: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9688-6293, [pinarozel@nevsehir.edu.tr](mailto:pinarozel@nevsehir.edu.tr)

mass have six different feature. The proposed system can help to make a biopsy or short-time follow-up decision. The test results are promising that the proposed method can be used as a decision module in computer-aided diagnosis systems.

**Keywords:** *Mammographic mass, breast cancer, CAD, medical decision support system*

## 1. Introduction

Breast cancer (BC) is considerably severe, and the most significant widespread reason for cancer deaths among women. Mammography is considered as the most efficient modality of detecting the masses and microcalcifications in breast tissue. In 70% of biopsies based on mammography results, the masses are benign. Therefore, there is a necessity for rational methods without a biopsy intervention or to minimize the need for biopsy. For this purpose, researchers have proposed many categorization strategy which are summarized as: methods using artificial neural networks (ANN) (Fernandes, A. S. , Alves, P. , Jarman, I. , Etechells, T. A. , Foncea, J. M. , Lisboa, P. J. G., 2010) (Baker, J. A. , Kornguth, P. J. , Lo, J. Y. , Williford, M. E. , Floyd, C. E., 1995), case-based reasoning methods via Hamming or Euclid distance (Floyd, C. E. , Lo, J. Y. , Tourassi, G. D., 2000) (Bilska-Wolak, A. O , Floyd, C. E., 2002) (Bilska-Wolak, A. O , Floyd, C. E., 2001), methods using Bayesian network (Markey, M. K. , Fischer, E. A. , Lo, J. Y. , 2004) (Jiang, X. , Wells, A. , Brufsky, A. , Neapolita, R. , 2019), decision tree (DT) (Mokhtar, S. A. , Elsayad, A. M., 2013) (Elter, M. , Schulz-Wendtland, R. , Wittenberg, T. , 2011), support vector machine (SVM) and extreme learning machines (ELM) (Rahman, M. , Alpaslan, N., 2017).

Recently, eight input values from the medical history of patients and eighteen inputs to the network included 10 BI-RADS lesion descriptors was utilized to characterize malignant and benign breast lesions through ANN trained and tested 73 malignant and 133 benign cases. Hence the specificity of radiologists as 30 percent was considerably smaller than the positive predictive value of the biopsy from 35 percent to 61 percent with a relative sensitivity of 95 percent, the specificity of ANN approach (62 percent) (Baker, J. A. , Kornguth, P. J. , Lo, J. Y. , Williford, M. E. , Floyd, C. E., 1995). Fernandes et al. also utilized a partial logistic ANN with automatic relevance determination (PLANN-ARD) (Fernandes, A. S. , Alves, P. , Jarman, I. , Etechells, T. A. , Foncea, J. M. , Lisboa, P. J. G., 2010) in addition to two distinct prognostic modeling strategies: the clinically widely used Nottingham prognostic index (NPI) and the Cox regression.

Another methodology examined is a case-based reasoning framework improved to clarify the biopsy decision for patients with suspicious outcomes on benign breast lesions. This framework is intended to facilitate benign biopsies without being of target malignancies. Radiologists evaluate the mammograms utilizing a regular revealing lexicon. And the case-based reasoning framework confronts these results with a database of cases with known outcomes (from biopsy) and gives back the portion of comparable instances that were malignant. This portion with a malignant case is an intuitive reaction that radiologists would then be able to think about when settling on the choice concerning biopsy. The framework was assessed utilizing a round-robin sampling scheme and evaluated with an area under the ROC curve of 0.83 (Floyd, C. E. , Lo, J. Y. , Tourassi, G. D., 2000). Similarly, (Bilska-Wolak, A. O , Floyd, C. E., 2001) (Bilska-Wolak, A. O , Floyd, C. E., 2002) also utilized case-based reasoning classifiers in their studies.

In a Bayesian network structure study (Markey, M. K. , Fischer, E. A. , Lo, J. Y. , 2004), it is demonstrated that there is a distinction in the categorization for biopsy findings and the invasiveness of metastases of breast masses. Jiang et al. (Jiang, X. , Wells, A. , Brufsky, A. , Neapolita, R. , 2019) improved a Bayesian network model named as Causal Modeling with Internal Layers (CAMIL), and Treatment Feature Interactions (TFI) algorithm. And via these methods, it is analyzed the likelihood of not being metastasized- in 5 years for individuals who settled on choices prescribed by the decision support system (DSS).

Also, to achieve a computer-aided diagnosis system (CAD) systems, a Graph-Based Visual Saliency (GBVS) technique is utilized for automated mass identification. Lastly, categorization and retrieval are operated via ELM, SVM, in addition to a linear combination-based similarity fusion method (Rahman, M. , Alpaslan, N., 2017).

In another study, DT, ANN, and SVM as data mining classification algorithms are utilized to improve the capacity of clinicians to decide the seriousness of a mammographic mass lesion using the patient's age and BI-RADS properties. The mammographic masses data set is separated for training and test the models by the ratio of 70:30 percent, respectively. Three statistical metrics measure classification algorithm efficiency as sensitivity, accuracy, a specificity of the classification. Accuracy of ANN, DT, and SVM are 80.56%, 78.12%, and 81.25% of test samples, respectively. Their study shows that SVM predicts the incidence of BC with the least error rate and the highest accuracy among these three categorization models (Mokhtar, S. A. , Elsayad, A. M., 2013).

Furthermore, Elter et al. (Elter, M. , Schulz-Wendtland, R. , Wittenberg, T. , 2011) propose two innovative CAD strategies that both focus on an intelligible decision process to make predictions of BI-RADS findings in breast biopsy. The first method generates a global paradigm that is dependent on decision tree learning. The latter approach is focused on case-based reasoning and uses an entropic measure of similarity. In the study, the efficiency of both CAD strategies using analysis of ROC, bootstrap sampling, and the ANOVA statistical significance test via two known openly available mammography databases are tested. All methods outperform physicians' diagnostic options.

Ala et al. (Alaa, A.M. , Moon, K. H. , Hsu, W. , Van Der Schaar, M., 2016) proposed a system called ConfidentCare, which runs by identifying "related" patient clusters and learning "best" screening to implement for each cluster. ConfidentCare uses a sequential algorithm that performs K-means clustering to the women's feature space, accompanied by learning for each cluster an effective

classifier (decision tree). The algorithm guarantees that the strategy embraced for each cluster of individuals fulfill a predetermined accuracy necessity with a high grade of certainty.

In this research paper, we propose a DSS to predict the severity of masses in breast tissue using mammography outcomes. This system can be considered as part of a CAD for BC detection using mammographic images.

## 2. Materials and Method

In the present study, the developed methods are come together using a supervised classification approach. Two different algorithms are investigated to implement this. One of them is the Naive Bayes Classifier, which is a fundamental supervised classification algorithm, and the other one is a multilayer perceptron, which depends on the backpropagation algorithm. These algorithms are described in the following subsections.

### 2.1. Naive Bayes Classifier

Naive Bayes method assumes that a feature is independent of every other feature. Design parameters, i.e., feature probability distributions and the class priors, are calculated using the relative frequencies derived from the training data (Sebe, N. , Lew, M.S. , Cohen, I. , Garg, A. , Huang, T. S., 2002). The Naive Bayes model can be stated as follows.

$$p(C \setminus F_1, F_2, \dots, F_N) = p(C) \prod_{i=1}^N p(F_i \setminus C) \tag{2.1}$$

Given a feature vector of an unknown, a decision is made by selecting the class that offers the highest posterior probability. This is called the maximum a posteriori (MAP) decision rule, and for equation (2.2) the decision rule can be expressed as follows:

$$d(f_1, f_2, \dots, f_N) = \arg \max p(C = c) \prod_{i=1}^N p(F_i = f_i \setminus C = c) \tag{2.2}$$

### 2.2. Multilayer Perceptron

The multilayer perceptron (MLP), which is a kind of ANN network classifier and feedforward fully connected ANN that is nowadays the most utilized supervised classifiers, is made up of multiple layers of simple, two-state, sigmoid processing elements or neurons that act upon each other utilizing weighted connections. Following an input layer ranging from bottom to top randomly, the hidden layers followed by an output layer at the furthestmost are available. While there are no interconnections inside a layer, in adjacent layers, all of the neurons in a layer are linked to neurons. Weights quantify the extent of correlation among the activity degrees of neurons that they attach (Ruck, D. . W. , Rogers, S. K. , Kabrisky, M. , Oxley, M. E. , Suter, B. W. , 1990).

Every neuron outputs of each layer are linked to all of the neuron inputs of the adjacent layer weighted by values that are expected to estimate. These weights are initially commenced with small casual valuations. To calculate these valuations, the learning vectors and the corresponding desired outputs, which are known targets, are introduced to the network. The learning process aims to abbreviate the quadratic error:

$$\mathcal{E} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (d_i - s_i)^2 \tag{2.3}$$

Where  $s_i$  are the acquired outputs of the multilayer perceptron, and  $d_i$  is 1 if the class of X is  $C_i$  and 0 elsewhere? And the sigmoid function presented by Equation (2.4) is utilized:

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \tag{2.4}$$

So, we accomplish the learning algorithm named the back-propagation algorithm for the repetition  $t + 1$ :

$$w_{l_1 l_2}(t+1) = w_{l_1 l_2}(t) + \eta \delta_{l_2}(t) s_{l_1}(t) \tag{2.5}$$

where  $w_{l_1 l_2}$  is the weight value between the neuron  $l_1$  of the first layer and the neuron  $l_2$  of the following layer, stands for the learning rate,  $s_{l_1}$  is the acquired output of the neuron  $l_1$  at the repetition  $t$ , and is given by:



$$\delta_i(t) = cs_i(t)(1-s_i(t))(d_i - s_i(t)) \tag{2.6}$$

if  $l_2 = i$  is on the output layer, where the constant  $c$  goes through the slope of the sigmoid function, and

$$\delta_{l_2}(t) = cs_{l_2}(t)(1-s_{l_2}(t)) \sum_l \delta_l(t)w_{ll_2}(t) \tag{2.7}$$

### 2.3. Dataset

To train the classifiers and evaluate the classification performance, we have used a dataset that was collected in 2007 by Prof. Dr. Rudiger Schulz-Wendtland and Matthias Elter (Elter, M., Schulz-Wendtland, R., Wittenberg, T., 2007).

There are 961 instances in the dataset. Among these 961 patients, each case corresponds to a lesion in the breast tissue of the patients. The following six attributes represent each instance:

- the age of the patient
- BI-RADS assessment of the breast tissue
- the shape of the mass
- mass margin
- tissue density
- a class label indicating the severity of the lesion

### 2.4. Proposed Method

A medical decision support system has been proposed to be used to estimate whether the masses in the breast tissue are benign or malignant from the data obtained from mammography images. Accordingly, from the data obtained from mammography images, as first step, different features mentioned as six attributes above in the dataset are acquired. After this process, apart from the age of the patient, BI-RADS assessment of the breast tissue, the shape of the mass, mass margin, tissue density, a class label indicating the severity of the lesion are evaluated via using two different classification algorithms. As a result, a DSS user can decide whether biopsy or short-term follow-up decisions is necessary or not. The flow chart of our proposed method is summarized as in Figure 1.

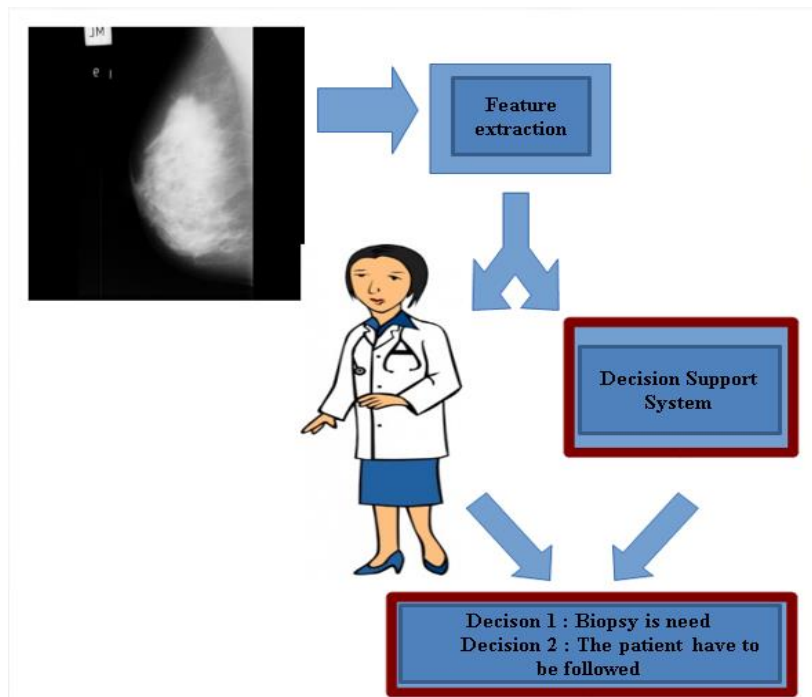


Figure 1. The proposed methodology

### 3. Research Results and Discussion

To interpret the success of the system, we performed tests operating the 10-fold cross-validation method. The classification results are reported as the numbers of correctly and incorrectly classified instances from benign and malignant instances and overall accuracy.

In Table I, the test results acquired using the Naive Bayes algorithm. An overall accuracy level of 83.35% is reached by this method.

Table 1. Class label results using Naive Bayes Classifier

Classified	as benign	or malignant
<b>Benign</b>	421	95
<b>Malignant</b>	65	380

The test results acquired from the multilayer perceptron algorithm can be seen in Table II. The overall accuracy, in this case, is 81.06%.

Table 2. Class label results using Multilayer perceptron

Classified	as benign	or malignant
<b>Benign</b>	423	93
<b>Malignant</b>	89	356

Additionally, other parameters are also evaluated utilizing Naive Bayes algorithm and Multilayer Perceptron algorithm. The results of this process is given as Table 3 in the following:

Table 3. Classification results for all of six features evaluated in the dataset using Naive Bayes Classifier and Multilayer Perceptron algorithms

	Naive Bayes Classifier	Multilayer Perceptron
<b>Bi-Rads Assesment</b>	76,75%	74,97%
<b>Shape</b>	62,04%	60,86%
<b>Density</b>	90,05%	88,81%
<b>Margin</b>	59,6%	57,83%
<b>Class Label</b>	83.35%	81.06 %

We evaluated the performances of a Naive Bayes algorithm and Multilayer Perceptron algorithm as two different classifiers on this dataset using a 10-fold cross-validation scheme for BI-RADS assessment of the breast tissue, the shape of the mass, mass margin, tissue density, the class label indicating the severity of the lesion parameters. Hence, among the accuracy results of the chosen classifiers, the most efficient one belongs to density parameter. It is followed by the accuracy results of the class label and the accuracy results of Bi-Rads assesmentresults respectively.

Additionally, from the given results, it can be concluded that the Naive Bayes algorithm slightly outperforms the Multilayer Perceptron algorithm, thus, it is not enough to choose one algorithm over the other. Nevertheless, the results differences can be interpreted with the fundamental differences between a Perceptron and a Naive Bayes classifier. Firstly, Naive Bayes classifiers utilize the background of Probability Theory for classification and learning; however, Multilayer Perceptron classifiers use Neural Network for classification and learning. Furthermore, the Naive Bayes classifier requires reading the whole training data before updating its knowledge about training data. On the other hand, Multilayer Perceptron classifiers read one sample at a time to update

its understanding of the training data. And lastly, training and testing data are distinct for Naive Bayes classifier, but training data also serve the purpose of the test data in case of Multilayer Perceptron classifiers

## 4. Conclusion

In this presented paper, we have proposed a DSS for classifying the masses in breast tissue into two categorizations, which are benign or malignant ones. From the data obtained from mammography images, a treatment which is used to estimate the benign or malignant masses in the breast tissue is proposed. And thus, biopsy or short-term follow-up decisions can be made. By reducing the need for biopsy, it is aimed to facilitate the diagnosis process, to speed up, to reduce the cost, and to save the patient from the painful procedure.

It can be considered as a decision module for computer-assisted diagnostic (CAD) systems. We are planning to integrate image processing algorithms such as tissue density prediction and mass shape analysis to this system to develop a fully automatic CAD system. Furthermore, different classification algorithms, decision fusion algorithms and ensemble classifiers are to plan in our future studies.

## References

- Alaa, A.M., Moon, K. H., Hsu, W., Van Der Schaar, M. (2016). ConfidentCare: A Clinical Decision Support System for Personalized Breast Cancer Screening. *arXiv*, 1-32.
- Baker, J. A., Kornguth, P. J., Lo, J. Y. , Williford, M. E., Floyd, C. E. (1995). Breast cancer: Prediction with artificial neural networks based on BI-RADS standardized lexicon. *Radiology*, 196, 817-822.
- Bilaska-Wolak, A. O, Floyd, C. E. (2001). Investigating different similarity measures for a case-based reasoning classifier to predict breast cancer. *Proc. SPIE*, 4322, 1862-1866.
- Bilaska-Wolak, A. O, Floyd, C. E. (2002). Development and evaluation of a case-based reasoning classifier for prediction of breast biopsy outcome with BI-RADS lexicon. *Med. Phys.*, 2002, 2090-2100.
- Elter, M., Schulz-Wendtland, R., Wittenberg, T. (2011). The prediction of breast cancer biopsy outcomes using two CAD approaches that both emphasize an intelligible decision process. *Med. Phys.* , 34(11), 4164-4172.
- Elter, M., Schulz-Wendtland, R., Wittenberg, T. (2007). The prediction of breast cancer biopsy outcomes using two CAD approaches that both emphasize an intelligible decision process. *Medical Physics*, 34(11), 4164-4172.
- Fernandes, A. S. , Alves, P., Jarman, I., Etchells, T. A., Foncea, J. M., Lisboa, P. J. G. (2010). A Clinical Decision Support System for Breast Cancer Patients. *IFIP International Federation for Information Processing*. Costa de Caparica, Portugal.
- Floyd, C. E., Lo, J. Y. , Tourassi, G. D. (2000). A case-based reasoning computer algorithm that uses mammographic findings for breast biopsy decisions. *AJR Am J Roentgenol*, 175(5), 1347-1353.
- Jiang, X. , Wells, A., Brufsky, A., Neapolita, R. (2019). A clinical decision support system learned from data to personalize treatment recommendations towards preventing breast cancer metastasis. *Plos One*, 1-18.
- Markey, M. K., Fischer, E. A., Lo, J. Y. (2004). Bayesian networks of BIRADS descriptors for breast lesion classifications. *International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. San Francisco, California.
- Mokhtar, S. A., Elsayad, A. M. (2013). Predicting the Severity of Masses with Data Mining Methods. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 10(2), 160-168.
- Rahman, M., Alpaslan, N. (2017). A Decision Support System (DSS) for Breast Cancer Detection Based on Invariant Feature Extraction, Classification, and Retrieval of Masses of Mammographic Images. *Medical Imaging and Image-Guided Interventions* (s. 11-32). London: IntechOpen Limited.
- Ruck, D. W., Rogers, S. K., Kabrisky, M., Oxley, M. E., Suter, B. W. (1990). The Multilayer Perceptron as an Approximation to a Bayes Optimal Discriminant Function. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 1(4), 296-298.
- Sebe, N., Lew, M.S., Cohen, I., Garg, A., Huang, T. S. (2002). Emotion Recognition Using a Cauchy Naive Bayes Classifier. *Object recognition supported by user interaction for service robots*. Canada.



# Neural Network Based Sliding Mode Controller with Genetic Algorithm for Two Link Robot Manipulator\*

Melikcan Ölgün<sup>1</sup>, Umut Tilki<sup>2</sup> \*\*

<sup>1</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Electronics and Communication Engineering, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2892-9319)

<sup>2,\*</sup> Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8988-787X)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf16)

**ATIF/REFERENCE:** Ölgün, M. & Tilki, U. (2020). Neural Network Based Sliding Mode Controller with Genetic Algorithm for Two Link Robot Manipulator. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 120-129.

## Abstract

In this paper, a novel control method is proposed in order to control the trajectory of two link robotic manipulator. The model of the manipulator has some unknown parameters because of the elasticity of the used materials for robot manipulator. Besides the robotic manipulators are generally open for the external disturbances. Radial basis function neural networks are employed in order to model these unknown parameters. The controller structure for trajectory tracking for the robot manipulator is based on robust and adaptive Sliding Mode Control (SMC). The coefficients of the SMC is calculated by the help of evolutionary algorithm, namely genetic algorithm. The proposed algorithm guarantees that the tracking error converges to zero in a finite time. The stability of the closed loop system is ensured by Lyapunov Theory. Numerical simulations have been conducted in Matlab/Simulink environment to demonstrate the validity of the proposed controller. Moreover, effectiveness and validity of the proposed control method is confirmed by comparative simulation results. The conducted experiments are demonstrated that proposed controller has disturbance rejection, chattering free, robust and fast property when we compared with other approaches in the literature.

**Keywords:** Sliding Mode Control, Genetic Algorithm, Robot Manipulator, Trajectory Tracking, RBFNN.

## İki Linkli Manipülâtör için Genetik Algoritma ile Yapay Sinir Ağı Tabanlı Kayan Kipli Kontrolcü

### Öz

Bu makalede, iki eklemlili robot manipülâtörün yörünge kontrolü için yeni bir kontrol yöntemi önerilmektedir. Manipülâtör modeli, robot manipülâtör için kullanılan malzemelerin esnekliği nedeniyle bazı bilinmeyen parametrelere sahiptir. Ayrıca robot manipülâtörler genellikle dış gürültülerden etkilenir. Bu bilinmeyen parametreleri modellemek için radyal bazlı fonksiyon tabanlı yapay sinir ağları kullanılır. Robot manipülâtörün yörünge takibi için kontrolcü yapısı, gürbüz ve adaptif kayan kipli kontrolcüye (SMC) dayanmaktadır. SMC'nin katsayıları evrimsel algoritma, yani genetik algoritma yardımıyla hesaplanır. Önerilen algoritma, izleme hatasının belli bir sürede sifıra yakınlaşmasını garanti eder. Kapalı döngü sisteminin kararlılığı Lyapunov Teorisi ile sağlanmaktadır. Matlab / Simulink ortamında önerilen denetleyicinin geçerliliğini göstermek için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Ayrıca, önerilen kontrol yönteminin etkinliği ve geçerliliği karşılaştırmalı simülasyon sonuçları ile teyit edilmiştir. Yapılan deneyler, önerilen denetleyici yapısının literatürdeki diğer yaklaşımlarla karşılaştırdığımızda gürültülere dayanıklı, tırlama etkisinden uzak, sağlam ve hızlı özelliklere sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kayan Kipli Denetleyici, Genetik Algoritma, Robot Manipülâtör, Yörünge Takibi, RBFNN.

\*This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Corresponding author: Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Isparta, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8988-787X), umuttilki@sdu.edu.tr

## 1. Introduction

Nowadays, due to the advancement of robot technology and the widespread usage of manipulators, trajectory tracking control of these systems is the focus of studies in robotics. As the requirement of high-performance requests such as fast response trajectory tracking with high precision increases, the new control strategies for manipulators develop.

The main purpose of the trajectory tracking problem is to improve the stability of the overall system and to minimize the trajectory tracking errors. For this aim, in this work a novel controller method, which is Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Controller with Genetic Algorithm (NNSMACWGA), is developed. In this controller model uncertainties such as link flexibility and friction terms in the nonlinear two link robot manipulator equations are modeled by using Radial basis function neural networks. Desired trajectory is tracked by the help of adaptive sliding mode approach (ASMC). The coefficients in this ASMC controller is calculated with evolutionary optimization technique, namely genetic algorithm (GA) in order to get the fastest responses with minimum trajectory tracking errors.

Control strategies for industrial robotic manipulators depend on model of the manipulator is exact or unknown. Because of the simple mathematical model, PID controllers are widely employed various applications for trajectory control of robot manipulators (Choi & Chung, 2004; Kumar et.al. , 2011). Although this controller gives satisfactory results according to trajectory tracking performance, the stability and convergence speed highly depends on the assigning proportional, integral and derivative coefficients. Moreover, manipulator dynamics has some unknown parameters due to the fact that having non rigid materials and open to external disturbances. Under varying conditions of the model with PID controller gives better result if the controller coefficients are dynamic (Loucif et.al. , 2020). Since robotic manipulators are used for highly precision trajectory tracking tasks, instead of PID controller, sliding mode controllers, which have variable control structure, give robust response for trajectory tracking against aforementioned model uncertainties and external disturbances (Tilki & Olgun, 2019). The principle of SMC is composed of two subsections. In the first part, proper sliding surfaces, which are needed to be followed by the determined state variables in order to reach desired trajectory, are constructed. In second part, switching robust control laws enabling the state variables to reach these sliding surfaces constructed in the first stage (Nguyen et.al. , 2018). The disadvantage of SMC, namely chattering phenomena, which is switching the control signal fast to handle disturbance and uncertain model effects, occurs during the sliding phase. Trajectory tracking control of 3-DOF manipulator is ensured with adaptive fuzzy sliding mode control technique (Amer et.al. , 2011). A supervisory fuzzy logic control was employed to replace switching terms and switching gains in the robust control input for SMC. Further study of this approach integrated adaptive laws were generated in order to eliminate chattering effects (He et.al. , 2016). Recently, to overcome the finite time convergence problem of traditional SMC, Terminal Sliding Mode Control approach was considered for robust trajectory tracking against model uncertainties (Tran & Kang, 2017). In TSMC method, sliding surfaces are modeled with nonlinear functions, which provides TSMC to enable fast convergence without extensive control inputs (Vijay & Jena, 2018). When compared with traditional SMC, it is stated that the response of TSMC method is rapidly converge the desired trajectory.

In this work, model free system is preferred and the complexity of predicting the exact model of the robot manipulator is prevented. Neural Network technique is widely employed in order to deal with model uncertainties in the literature (Vijay & Jena, 2018; Sun et.al. 2011). Because of this advantage, for modeling the uncertain terms in model free approach of robotic manipulator radial basis function of neural networks are employed.

The rest of this paper is organized as follows: Mathematical preliminaries of the trajectory control of robot manipulator are given in Section 2. Two different controller design techniques namely neural network based sliding mode controller method and neural network based adaptive sliding mode controller with genetic algorithm method are also given in this section. The simulation results of these controllers are given and compared in Section 3. Concluding remarks are discussed in Section 4.

## 2. Material and Method

### 2.1. Mathematical Dynamics of 2 DOF Robot Manipulator

In this paper, for a two-link manipulator which is subject to uncertainties and external disturbances in a finite time convergence guaranteed, robust trajectory tracking control problem is addressed. This section gives the mathematical background of the two link manipulator and proposed trajectory control methods.

In this work, proposed control methods are examined and validated on 2 link robot manipulator. For an  $n$ -link robot manipulator the equation of motion is given in equation (1) according to Euler-Lagrange theory (Lewis et.al. 2003).

$$M(q)\ddot{q} + V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) + \tau_d = \tau \quad (1)$$

In this equation  $q \in R^n$ ,  $\dot{q} \in R^n$  and  $\ddot{q} \in R^n$  represents position, velocity and acceleration, respectively. Besides,  $M(q) \in R^{n \times n}$  expresses positive-definite symmetric inertial matrix.  $V_m(q, \dot{q}) \in R^{n \times n}$  shows coriolis and centripetal force matrix.  $G(q) \in R^{n \times 1}$  represents the gravity component in the torque equation (1). As mentioned before, the overall system is open to external disturbances and uncertainties (friction) due to the model uncertainties. These terms are represented in the equation of motion with  $F(\dot{q})$  and  $\tau_d$ .

Equation of motion (1) can be expressed as follow:

$$\ddot{q} = M^{-1}(q)[\tau - (V_m(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) + F(\dot{q}) + \tau_d)] \quad (2)$$



The matrix and vector quantities and also the units in the above-mentioned manipulator equations which are used in this work are given as follows.

$$M(q) = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix}, V_m(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} V_{m11} & V_{m12} \\ V_{m21} & V_{m22} \end{bmatrix}$$

$$M_{11} = (m_1 + m_2)a_1^2 + m_2a_2^2 + 2m_2a_1a_2 \cos \theta_2 \quad (3)$$

$$M_{12} = M_{21} = m_2a_2^2 + m_2a_1a_2 \cos \theta_2 \quad (4)$$

$$M_{22} = m_2a_2^2 \quad (5)$$

$$V_{m11} = -m_2a_1a_2\dot{\theta}_2 \sin \theta_2 \quad (6)$$

$$V_{m12} = -m_2a_1a_2(\dot{\theta}_1 + \dot{\theta}_2) \sin \theta_2 \quad (7)$$

$$V_{m21} = m_2a_1a_2\dot{\theta}_1 \sin \theta_2 \quad (8)$$

$$V_{m22} = 0 \quad (9)$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2)ga_1 \cos \theta_1 + m_2ga_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ m_2ga_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$F(\dot{q}) = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 + ksgn(\dot{\theta}_1) \\ \dot{\theta}_2 + ksgn(\dot{\theta}_2) \end{bmatrix} \quad (11)$$

The external disturbance is  $|\tau_{di}| \leq 1, i = 1, 2$  is a random noise with the magnitude bounded. The axis representation of the robot manipulator is given in Figure 1. The variable angles are demonstrated with  $\theta_1, \theta_2$ . While  $a_1, a_2$  indicate the link lengths,  $m_1, m_2$  show the link weights.

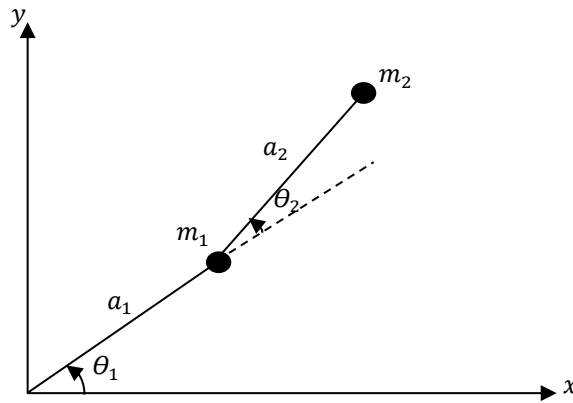


Figure 1. Two-link robot manipulator

## 2.2. Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Control Design

In this chapter, a control system composed of the sliding mode controller, a Radial Based Function (RBF) based neural network descriptor and adaptive control is designed to make a robotic manipulator track the determined trajectory. As mentioned in the introduction part, neural network is used to represent the uncertainty of the robotic manipulator dynamics. In the adaptive control literature, neural networks are widely used to approximate unknown non-linear systems because of its abilities of approximation in the essence of neural networks (Lewis et.al. 2003). The function of the neural network is shown as below:

$$f_1(x) = W^T \phi(X) + \varepsilon(X) \quad (12)$$

In this equation,  $X$  represents the input vector,  $W \in R^{n \times 2}$  represents the weight matrices. Each element of  $W$  represents the coefficient of the  $\phi$  function.  $\varepsilon(X)$  represents the approximation error of the neural network.  $\phi$  is constructed as a vector where,  $n > 1$  is the number of the neurons and it is shown as  $\phi(X) = [\phi_1(X), \phi_2(X), \dots, \phi_n(X)]^T$ .  $\phi_i(X)$  shown in the equation (13) is the RBF.

$$\phi_i(X) = \exp\left(-\frac{\|x - c_i\|^2}{\sigma_i^2}\right) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (13)$$

In equation (13)  $c_i$  and  $\sigma_i$  are the center of the neuron and width, respectively.

RBF is expected to approach the equation below.

$$M(q)\dot{s} = M(\ddot{q}_d - \ddot{q} + \Lambda\dot{e}) = M(\ddot{q}_d + \Lambda\dot{e}) - M\ddot{q} \quad (14)$$

$$= M(\ddot{q}_d + \Lambda\dot{e}) - V_m s + V_m(\dot{q}_d + \Lambda e) + G + F + \tau_d - \tau \quad (15)$$

RBF will converge to the  $f(X)$  function that will be extracted out of the equation (15).

$$f(X) = M(q)(\ddot{q}_d + \Lambda\dot{e}) + V_m(\dot{q}_d + \Lambda e) + G + F \quad (16)$$

By assuming that the sliding variable will converge to zero after inserting the equation (17) into equation (16), the controller is obtained as below:

$$\tau = f(X) - V_m s + \tau_d \tag{17}$$

After the result of the equation (17) and the error ( $\varepsilon(X)$ ) from the RBF are considered, the controller design takes the following form.

$$\tau = f_1(X) + K_v s + v \tag{18}$$

When selecting this type of a controller, variable  $v$  is added in order to eliminate  $\tau_d$  coming from outside and error  $\varepsilon(X)$  coming from the RBF. In this case,  $K_v$  adaptive controller coefficient is used to make the system robust. In Eq.19 and Eq.20  $v$  will provide resistance against the noise and error because  $f_1(X)$  will converge to  $f(X)$ .  $K_v$  will ensure the stability of the system. The inputs of the  $f_1(X)$  are determined as  $X = [\ddot{q}_d, \dot{e}, \dot{q}_d, e, q_d]$  which can be predicted from the equation (16).

$$v = -b \operatorname{sgn}(s) \tag{19}$$

$$\operatorname{sgn}(s) = \begin{cases} +1, & s > 0 \\ 0, & s = 0 \\ -1, & s < 0 \end{cases} \tag{20}$$

The Lyapunov function selected for this controller is shown in the equation (21).  $K_v$  comes out to be positive from the Lyapunov function.

$$V = \frac{1}{2} s^T M s + \frac{1}{2} \operatorname{tr}(W^T F_w^{-1} W) \tag{21}$$

where  $M$  and  $F_w$  are positive matrices.  $W$  comes out from the Lyapunov function which is given in equation (22).

$$\dot{W} = F_w \phi(X) s^T \tag{22}$$

The variable  $v$  shown in equation (19) varies depending on the sliding surface. Adaptive control is used in this system and this controller determines the stability of the system. In this way, the uncertainties coming from the artificial neural network have been stabilized. In addition, the sliding mode controller which is robust against all noisy terms in mathematical model and the error  $\varepsilon(X)$  from the RBF is used. The block diagram that summarizes this Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Control is given in Figure 2.

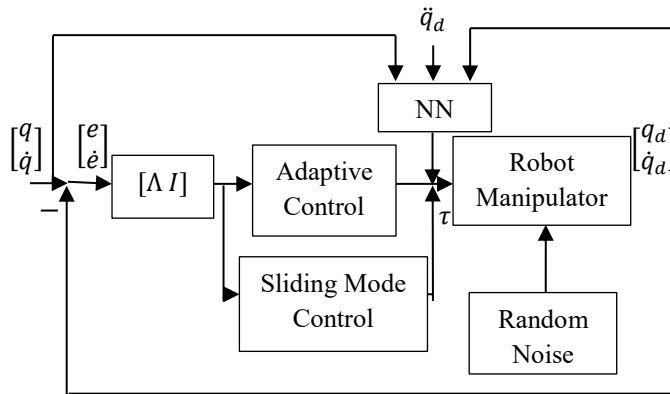


Figure 2. Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Control

### 2.3. Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Control Design with Genetic Algorithm

In this paper the genetic algorithm is used to find artificial neural network and sliding mode controller coefficients which are mentioned in previous subsection. The center of the neuron and width ( $c_i$  and  $\sigma_i$  respectively) of RBF and accordingly, the weight ( $W$ ) coefficients of the neural network are approximated by the genetic algorithm. Additionally, the adaptive controller and the sliding mode controller coefficients  $K_v$  and  $\lambda$  which affects the performance of overall system are also determined by the genetic algorithm. Genetic algorithm is designed for the purpose of minimizing the error between the reference trajectory and the tracked trajectory. The inputs of the genetic algorithm are trajectory-tracking errors whereas the outputs are generated controller coefficients and neural network parameters.

Genetic algorithms are formed by searching ideal results in a wide space to solve complex problems. For this reason, a population with all these coefficients mentioned above should be created. After the error is minimized, the most appropriate population of the system will be found coefficients.

#### 2.3.1. Population Creation

A random solution group with possible solutions is created. Solution group is called population due to its similarity in biology. In Figure 3, the row formed solutions are called as chromosome. The sum of the chromosome numbers constitutes the population width. The experimenter determines the population size.

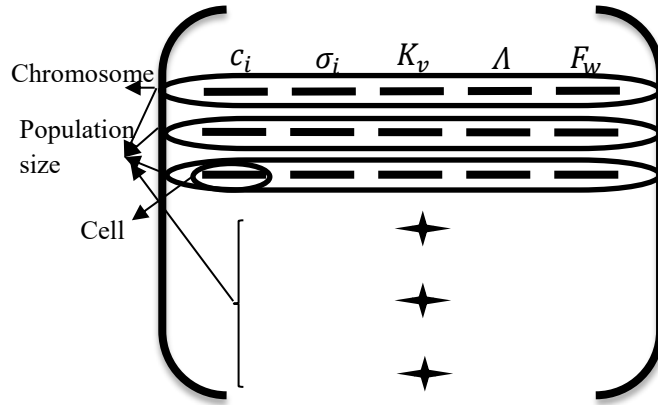


Figure 3. Population Representation

In the population, each coefficient is represented in a column. Coefficients in each row are used as the input for the controller and neural network. The cost function of the overall system is the trajectory tracking error which has to be minimized. The coefficients that are shown in figure 3 are selected randomly between 0 to 100.

After than population becomes exist, the experimenter follows the genetic algorithm scheme shown figure 4. Experimenter applies calculation of suitability value, selection, crossover, mutation respectively. When genetic algorithm reaches the maximum iteration, the optimal solution is approached.

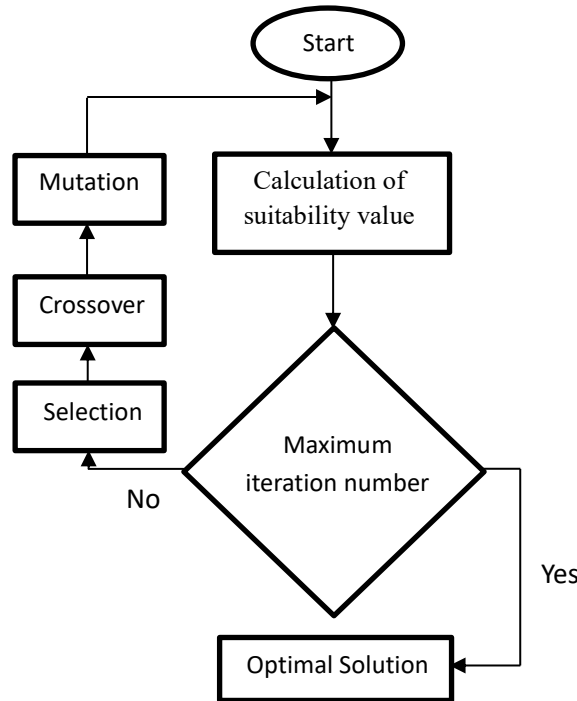


Figure 4. Genetic Algorithm Diagram

**2.3.2. Roulette Wheel Selection**

The suitability values of each chromosome is calculated, this suitability values that are error of robot manipulator system is vital for survival of the chromosome. According to these suitability values, the probability of survival is examined. In other words, the probability of survival varies according to the suitability value. After the probability of survival of each chromosome is calculated, from the normal probabilities cumulative probabilities are calculated. A random number is generated. If the random number falls within the cumulative probability values, this chromosome will be selected.

**2.3.3. Mutation**

Based on the initial population of chromosomes, which denote tentative solutions to the optimization problem, new generations are created by applying a randomly change at an arbitrary point in the individual. For each element vector, the mutant vector is produced according to equation (23).

$$p^g_{i,j} = p^{g-1}_{i,j} + rand^g_{i,j} * (100 - 0) \tag{23}$$

In this equation, the index  $g$  indicates the generation to which a vector belongs and  $p$  demonstrates the cell number.

**2.3.4. Crossover**

First, each chromosome in the population is paired with each other. Again, a random number is generated between 0 and 1. If this random number is smaller than the crossover rate, the crossover operation will be performed. While the crossover is performing, the chromosomes that are paired are divided from a random point. Divided pair chromosomes pieces are changed between each other from the point where they divide.

**2.3.5. Genetic Algorithm-based Coefficient Calculation**

The error term of the system is the input of the genetic algorithm and then the controller's coefficients are created by looking at those error terms. When the smallest error is reached, coefficients that are performed are optimum. The minimized formula is shown in equation (24)

$$S_v = \frac{mean(|e_1|) + mean(|e_2|)}{2} \tag{24}$$

where  $e_1$  and  $e_2$  are error of link 1 and link 2 respectively. The application of the genetic algorithm to the controllers is shown in figure 5.

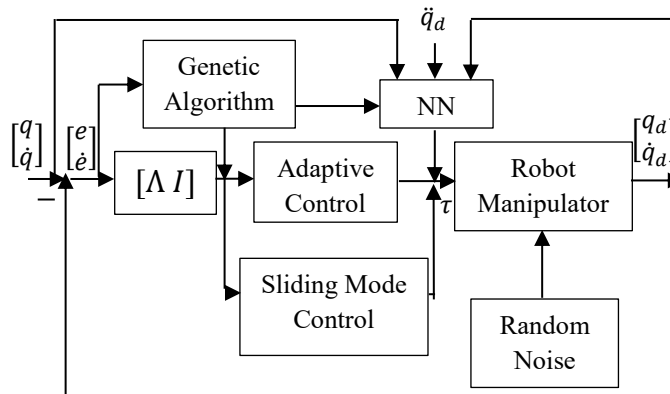


Figure 5. Neural Network Based Adaptive Sliding Mode Control with Genetic Algorithm

**3. Results and Discussion**

In this work, a novel controller approach was designed for trajectory-tracking control of a 2-link robot manipulator modelled using the Euler Lagrange approach. To verify the effectiveness of the proposed controller, numerical simulations are conducted in MATLAB/Simulink environment. In the first part, neural network-based design is used to model dynamic uncertainties of the robot manipulator. One of the most common smart approaches, the artificial neural network has a natural learning ability. The neural network can approach the nonlinear continuous state with random accuracy. The uncertainties are represented by error term in neural network's formula, so the neural network converges to the mathematical dynamics of the robot manipulator. Adaptive control is a parameter that needs for the system stability. Besides these controllers, the genetic algorithm has been developed to calculate the controller's coefficients that will make the system more stable. In this study, all systems were created on MATLAB / Simulink and simulations were done on this program. In the tables below, robot manipulator parameters and simulation inputs are given respectively.

Table 1. Robot Manipulators Parameters

$m_1$	weight of link 1	1 kg
$m_2$	weight of link 2	1 kg
$a_1$	length of link 1	1 m
$a_2$	length of link 2	1 m
$g$	gravitational acceleration	9,8 m/s <sup>2</sup>

The initial conditions of the system are considered to be  $q(0) = [q_1(0)q_2(0)]^T = 0$ ,  $\dot{q}(0) = [\dot{q}_1(0)\dot{q}_2(0)]^T = 0$ . The noise is a random noise with the magnitude bounded.

Table 2. Simulation Parameters

$q_{d1}$	Desired trajectory for link 1	$\pi/2 - (\pi/4)\cos(0.5t)$
$q_{d2}$	Desired trajectory for link 2	$(\pi/3)\sin(0.5t)$
$\tau_{d1}$	Noise for link 1	$ \tau_{d1}  \leq 1$
$\tau_{d2}$	Noise for link 2	$ \tau_{d2}  \leq 1$
$F(\dot{\theta}_1)$	Friction term for link 1	$\dot{\theta}_1 + 2\text{sign}(\dot{\theta}_1)$
$F(\dot{\theta}_2)$	Friction term for link 2	$\dot{\theta}_2 + 2\text{sign}(\dot{\theta}_2)$

Trajectory-tracking performance of Neural Network based Sliding Mode Adaptive Control (NNSMAC) is demonstrated with the figures given below (Fig. 6-8). For this controller tracking errors of each link and applied control inputs are given in Fig. 7-8 respectively.

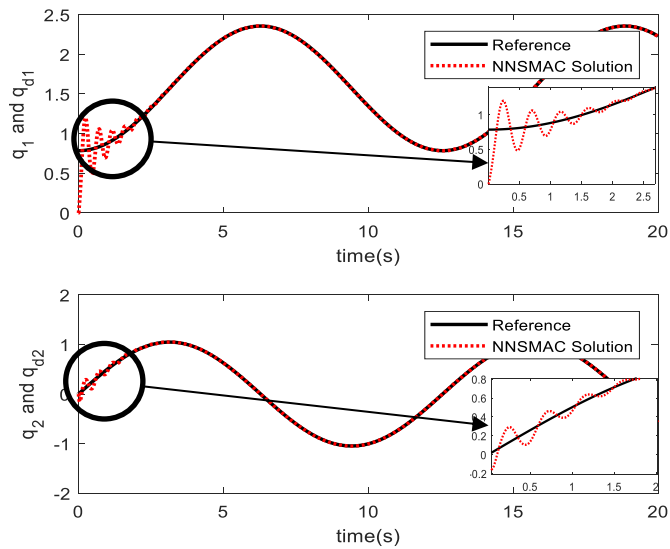


Figure 6. Position tracking link 1 and link 2 for NNSMAC

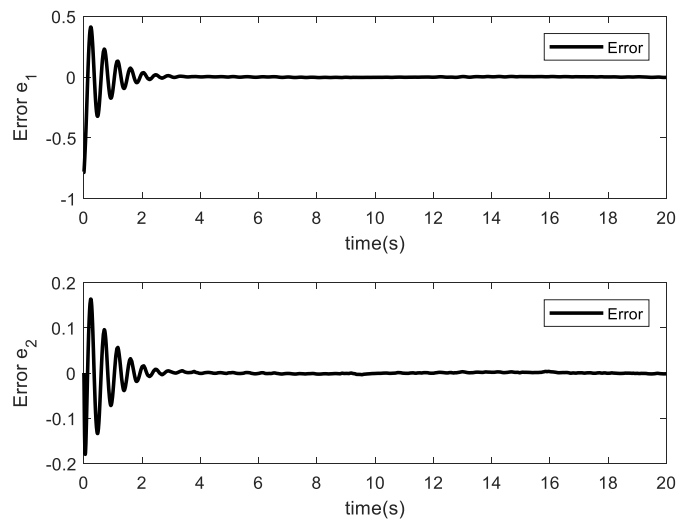


Figure 7. The Tracking Error Link 1 and Link 2 for NNSMAC



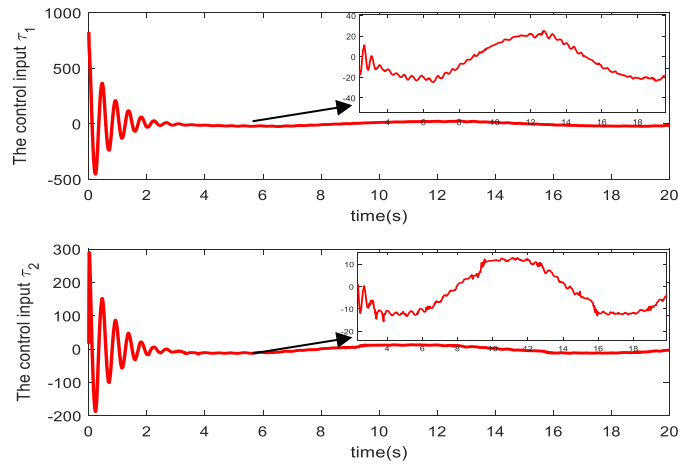


Figure 8. The Control Inputs for NNSMAC

As it can be seen from the figures 6 and 7, although trajectory-tracking performance of NNSMAC is satisfactory in the steady-state phase, the transient response of this controller does not have same satisfactory performance.

The performance of the Neural Network based Sliding Mode Adaptive Control with Genetic Algorithm (NNSMACWGA), which is proposed in this work, represented in figures below (Figs. 9-11). It is clearly seen that both transient and steady responses of the system is enhanced. The oscillations in the transient response was decreased obviously. Moreover, steady state performance was preserved.

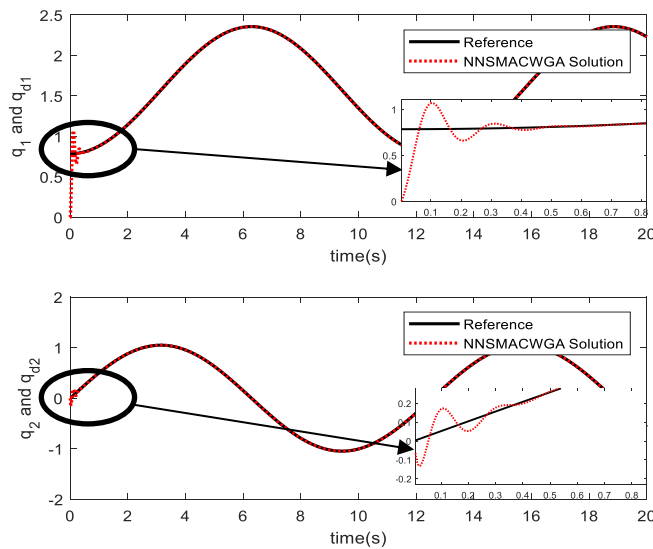


Figure 9. Position Tracking Link 1 and Link 2 for NNSMACWGA

Besides the trajectory-tracking performance improvement, reaching time to reference input was shortened with this novel controller. While reaching to reference input with NNSMAC took around 2 seconds, NNSMACWGA shortened this time to around 0.5 second.

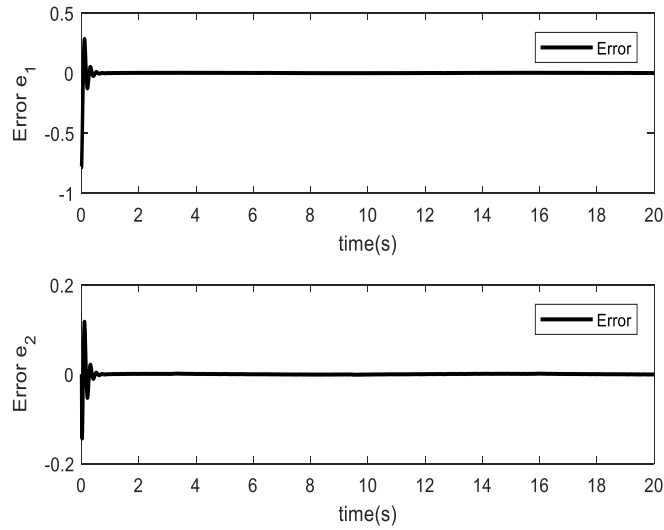


Figure 10. The Tracking Error Link 1 and Link 2 for NNSMACWGA

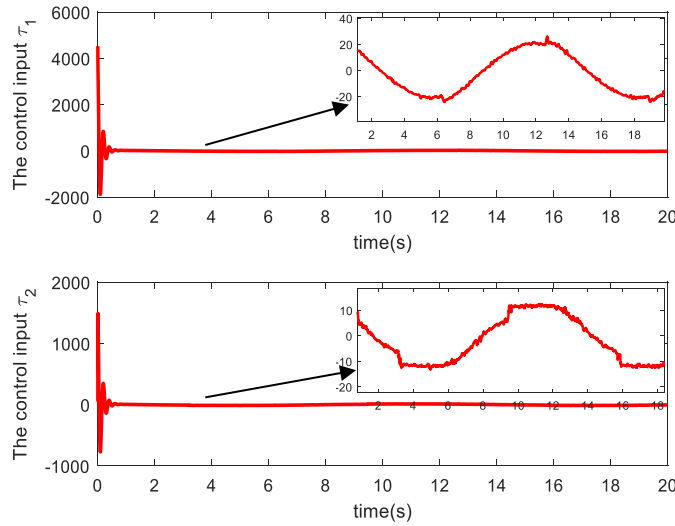


Figure 11. The Control Inputs for NNSMACWGA

The RMS errors of the trajectory tracking in the 1st and 2nd links were applied as the evaluation condition for two different methods that NNSMAC and NNSMACWGA. This RMS error table is shown below.

Table 3. Compare NNSMAC and NNSMACWGA

	Link 1 RMS error	Link 2 RMS error
NNSMAC	0,1228	0.0296
NNSMACWGA (population size 300)	0.0728	0,0112
NNSMACWGA (population size 200)	0.0739	0.0110
NNSMACWGA (population size 100)	0.0744	0.0122

#### 4. Conclusion

In this paper, we presented a novel controller approach for robotic manipulator in order to achieve robust trajectory tracking against disturbances and uncertainties. The proposed controller contains neural network part for predict unknown model parameters, adaptive sliding mode controller part for robust trajectory-tracking and genetic algorithm part for calculating the adaptive controller parameters and neural network coefficients. The sliding controller laws are obtained by applying the Lyapunov stability theorem.

To verify the effectiveness of the proposed controller approach we conducted numerical simulations in MATLAB/Simulink environment. Moreover, the obtained results with NNSMACWGA are compared with NNSMAC. The proposed method gives robust trajectory-tracking results under disturbances with bounded error. Both in transient and steady state phase proposed NNSMACWGA controller reveal better performance. The obtained results showed that our controller responses converges to desired trajectory in less time than other method. Besides, chattering phenomena is reduced significantly with NNSMACWGA.

## Reference

- Amer, A. F., Sallam, E. A., & Elawady, W. M. (2011). Adaptive fuzzy sliding mode control using supervisory fuzzy control for 3 DOF planar robot manipulators. *Applied Soft Computing*, 11(8), 4943-4953.
- Choi, Y., & Chung, W. K. (2004). PID trajectory tracking control for mechanical systems (Vol. 298). Springer Science & Business Media. Lewis, Frank L., Darren M. Dawson ve Chaouki T. Abdallah, Robot manipulator control: theory and practice, CRC Press, 2003.
- He, J., Luo, M., Zhang, Q., Zhao, J., & Xu, L. (2016). Adaptive fuzzy sliding mode controller with nonlinear observer for redundant manipulators handling varying external force. *Journal of Bionic Engineering*, 13(4), 600-611.
- Kumar, V., Nakra, B. C., & Mittal, A. P. (2011). A review on classical and fuzzy PID controllers. *International Journal of Intelligent Control and Systems*, 16(3), 170-181.
- Lewis, F. L., Dawson, D. M., & Abdallah, C. T. (2003). Robot manipulator control: theory and practice. CRC Press.
- Loucif, F., Kechida, S., & Sebbagh, A. (2020). Whale optimizer algorithm to tune PID controller for the trajectory tracking control of robot manipulator. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42(1), 1.
- Nguyen, K., Nguyen, T., Bui, Q., & Pham, M. (2018). Adaptive antisingularity terminal sliding mode control for a robotic arm with model uncertainties and external disturbances. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 26(6), 3224-3238.
- Sun, T., Pei, H., Pan, Y., Zhou, H., & Zhang, C. (2011). Neural network-based sliding mode adaptive control for robot manipulators. *Neurocomputing*, 74(14-15), 2377-2384.
- Tilki, U., & Olgun, M. Robot Manipülör Kontrolünde Doğrusal ve Doğrusal Olmayan Denetleyici Yapılarının Karşılaştırılması. 21. Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK 2019.
- Tran, M. D., & Kang, H. J. (2017). Adaptive terminal sliding mode control of uncertain robotic manipulators based on local approximation of a dynamic system. *Neurocomputing*, 228, 231-240.
- Vijay, M., & Jena, D. (2018). Backstepping terminal sliding mode control of robot manipulator using radial basis functional neural networks. *Computers & Electrical Engineering*, 67, 690-707.



# Real Time Surface Angle Measurement of Dental Implants\*\*

Uğurhan Kutbay<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Gazi University, Faculty of Engineering, Department of Electrical & Electronics Engineering, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2167-9107)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf17)

**ATIF/REFERENCE:** Kutbay, U. (2020). Real Time Surface Angle Measurement of Dental Implants. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 130-136.

## Abstract

Dental implants and related product family are very important for jaw health. Dental implants are generally produced by titanium materials. Since titanium based alloys have high mechanical strength, quality control of these products is important to prevent possible defective products that may arise during CNC based biomaterial production processes. In addition, these parts are produced by a high number which are almost impossible to control visually. Machine vision prevents of human based errors in automated production. Presented system detects length and angle defects for dental products using image processing methods. The state of art of this work is developing machine vision based real time dental implant deflection system design. Gaussian blur filtering and Otsu thresholding were used for detecting the titanium dental product in gray scaled images. Root mean squared linear regression model is applied to preprocessed images to detect the line of the product. The angle between the two lines is also calculated by trigonometric methods. As the result of the presented algorithm, maximum 0.0015 mm and 0.013° absolute deviations are observed for length and angle measurements, respectively. Presented measurement algorithms for dental implants show that these fast algorithms give feasible results for mass production lines.

**Keywords:** Dental Implant, Quality Control, Image Processing, Auto-Thresholding, Linear Regression Model.

## Diş İmplantlarının Gerçek Zamanlı Yüzey Açısı Ölçümü

### Özet

Diş implantları ve ilgili ürün ailesi çene sağlığı için çok önemlidir. Dental implantlar genellikle titanyum malzemelerden üretilir. Titanyum esaslı alaşımlar yüksek mekanik mukavemete sahip olduklarından, bu ürünlerin kalite kontrolü, CNC bazlı biyomateryal üretim süreçlerinde ortaya çıkabilecek olası kusurlu ürünleri önlemek için önemlidir. Ek olarak, bu parçalar görsel olarak kontrol edilmesi neredeyse imkansız olan yüksek sayıda üretilir. Yapay görme, otomatik üretimdeki insan kaynaklı hataları önler. Sunulan sistem, görüntü işleme yöntemlerini kullanarak dental ürünler için uzunluk ve açı kusurlarını tespit etmektedir. Bu çalışmanın özgün yönü, makine görmesine dayalı gerçek zamanlı dental implant hatalı ürün tespiti sistemi tasarımı geliştirilmesidir. Gri ölçekli görüntülerde titanyum dental ürünün saptanması için Gauss bulanıklaştırma filtresi ve Otsu eşiği kullanılmıştır. Ürün hattını tespit etmek için önceden işlenmiş görüntülere ortalama hataların karesini içeren doğrusal regresyon modeli uygulanmıştır. İki çizgi arasındaki açı ise, trigonometrik yöntemlerle hesaplanır. Sunulan algoritmanın sonucu olarak uzunluk ve açı ölçümleri için sırasıyla maksimum 0.0015 mm ve 0.013° mutlak sapmalar gözlenmiştir. Dental implantlar için sunulan ölçüm algoritmaları, bu hızlı algoritmaların seri üretim hatları için uygun sonuçlar verdiğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Diş İmplantı, Kalite Kontrol, Görüntü İşleme, Otomatik Eşikleme, Doğrusal Regresyon Modeli.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

## 1. Introduction

Biocompatible materials such as 316L stainless steel, cobalt-chromium(CoCr) and titanium-6aluminium-4vanadium(Ti6Al4V) are used in medical products [1]. Dental implant products are generally made by titanium based alloys such as Ti6AlV4 because of MRI compatible and which can be integrated to bone [2]. Ti6AL4V is also superior corrosion resistance and high mechanical strength [3,4]. Since the mechanical strength of the Ti6Al4V, CNC based biomaterial manufacturing is a big challenge. The material's mechanical strength damages CNC's end mills and drills. When end mills and drills are damaged, unqualified products are produced which situation is unacceptable for dental surgeons.

In addition to challenging processes, hundreds of different shaped products are produced in mass production, such as: implants, screws, abutments etc.

Quality control in classical production lines for dental implants include human-based consideration processes. Considering all challenges about production and quality control of products, human based quality control processes are error-prone and time consuming.

Avoiding the unqualified dental implant production, machine vision based quality control process is crucial. Serial production fault detection systems have been widely used in recent studies [5–8]. Recent studies have been examined in quality control processes such as: detection of microscopic cracks [9], microscopic analysis of fractured dental implant surface [10], image guided implantology [11] in dental implant industry.

Quality control systems are generally used in the mass production lines for serial production. In order to work faster on the serial production line, algorithms must include time-saving processes. This paper represents lengths and angles measurement processes for dental implants by using low cost algorithms.

Presented dental implant angle measurement process uses surface detection by using Gaussian blurring [12], Otsu thresholding [13], root mean squared linear regression model [14] and angle measurement between two linear regression lines, respectively.

This paper is organized as follows. In the part “Materials & Methods” represents used algorithms and detailed explanations about presented methodology. Research findings are described in the “Results” part. In the fourth part, related discussions take place and the last part of the paper concludes the present study.

## 2. Materials and Method

This study aims to measure dental implant family products' angles and lengths measurement with time-saving processes for mass production lines. Measurement methodology and algorithms are mathematically explained in this section in details.

This study also aims to help quality controllers for specifying the surface lines and measure the angles for critical part of the figures. Algorithm of the process is given in Fig. 1 which shows the stages for the angle measurement process.

Presented research was performed at Gazi University, Engineering Faculty, Electrical & Electronics Engineering Department. Python language was used and performed in a computer with 16 GB RAM, Intel i7-7500U processor at 2.7 Ghz. In addition, images were captured by industrial type 8Mp CMOS detector with 5-50mm optical lens. Images include Bilimplant abutments for different angled products.

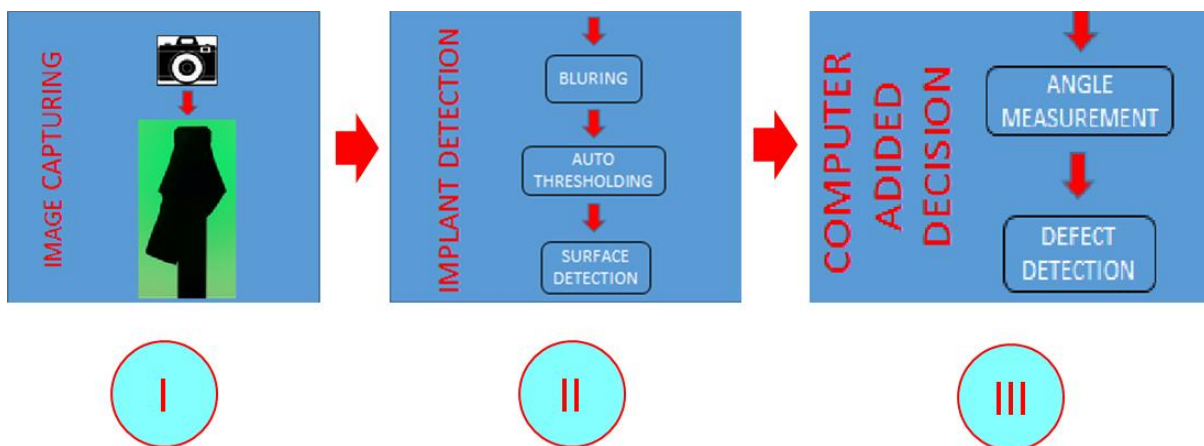


Fig. 1. Algorithm of the presented methodology



Gaussian blurring uses Gaussian function which reduces image noises. Output of the smoothing blur is enhancing image structures at different scales. Gaussian blur is two dimensional convolving the image with a Gaussian function. Gaussian blurring is a low pass filter which reduces the image's high frequency components.

The Gaussian blurring uses a Gaussian function normal distribution by using calculation of convolution for each pixel in the image. Gaussian blurring could be represented as [15];

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

where  $x$  and  $y$  is the Euclidean distance from the origin,  $\sigma$  is the standard deviation of the Gaussian distribution.

Otsu is a regional based automatic thresholding method which is used into image analysis in many works [16–18] for object detection. Otsu thresholding is unsupervised and nonparametric process and this methodology is applied to grayscale images. Otsu minimizes intra-class variances and which classifies into two classes [19]. Weighted sums of variances are shown as;

$$\begin{aligned} \sigma_w^2 &= \omega_0\sigma_0^2 + \omega_1\sigma_1^2 \\ \sigma_b^2 &= \omega_0(\mu_0 - \mu_T)^2 + \omega_1(\mu_1 - \mu_T)^2 = \omega_0\omega_1(\mu_1 - \mu_0)^2 \\ \sigma_T^2 &= \sigma_b^2 + \sigma_w^2 \end{aligned} \quad (2)$$

where,  $\omega_0$  and  $\omega_1$  represent weights of histograms;  $\mu$  shows the mean of classes and  $\sigma$  is variance of classes. Class weights could be given by;

$$\begin{aligned} \omega_0(t) &= \sum_{i=0}^{t-1} p(i) \\ \omega_1(t) &= \sum_{i=t}^L p(i) \end{aligned} \quad (3)$$

where,  $p(i)$  is the pixel value,  $t$  represents the threshold and  $L$  shows bins of the histograms. Means of classes could be represented as,

$$\begin{aligned} \mu_o(t) &= \sum_{i=0}^{t-1} ip(i) / \omega_0(t) \\ \mu_1(t) &= \sum_{i=t}^L ip(i) / \omega_1(t) \\ \mu_t(t) &= \sum_{i=0}^L ip(i) \end{aligned} \quad (4)$$

After the detection of the surface by using Gaussian blurring and Otsu binarization, surface detection could be done by using least squared linear regression lines. Least squared based detection is widely used in recent works for surface detection [20,21]. Linear regression line could be represented as,

$$y = mx + b \quad (5)$$

Least squared regression aims to minimize errors by using partial derivative of determined loss function. The loss function could be determined as squares of errors between measured values and predicted values. When the partial derivatives of loss function for both  $m$  and  $b$  equal zero, errors will be minimized. Least squared linear regression could be defined as,

$$\begin{aligned} m &= \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \\ c &= \bar{y} - m\bar{x} \end{aligned} \quad (6)$$

where  $\bar{x}$  and  $\bar{y}$  are means of all values,  $x_i$  and  $y_i$  are actual values. The angle between two lines also can be represented as,

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{m_1 - m_2}{1 - m_1m_2}\right) \quad (7)$$

Presented methodology is applied to dental implant abutments for Bilimplant bone level abutments. Next section presents all results for different bone level implants in details.

Presented methodology uses image capturing; implant detection by using, Gaussian blurring, Otsu thresholding and surface detection for measurement processes; line detection and angle detections, respectively.

Mean Square Error (MSE) assessment criteria is used for measured values and catalogue values for both lengths and angles. MSE could be defined as,

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{P}_i - P_i)^2 \quad (8)$$

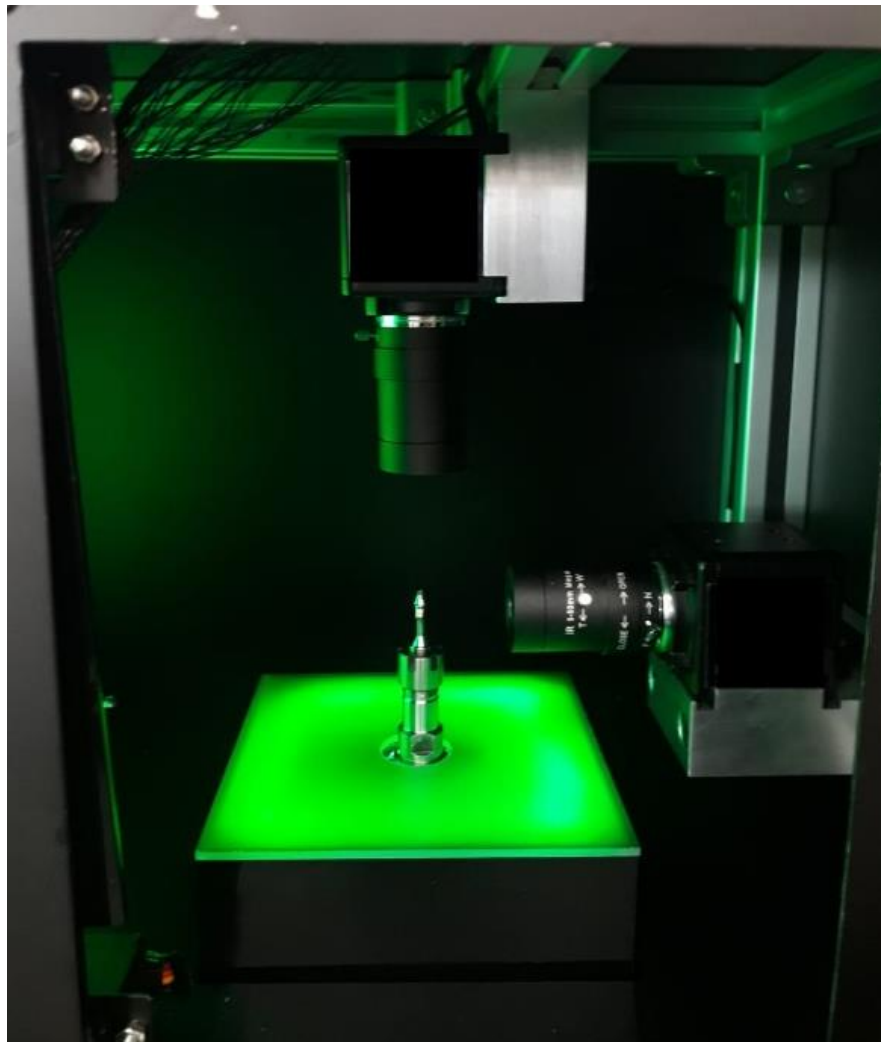
### **3. Results**

Measurement of the length and angle of the abutment is critical for quality control process. Since the defect detection is crucial process, computer aided defect detection could help the quality control departments. This process is time sufficient and presented system eliminates error-prone human based quality control processes.

Presented methodology results are shown in this section in details. Bilimplant bone level wide abutments are performed for angle measurement. Gaussian blurring, otsu based thresholding, least mean square regression lines and angle measurement results are shown in this part, respectively.

Fig. 2 represents the optical measurement system for dental implants. The system has conical mandrel for fixing the abutment. Pinning on to the mandrel, dental implant abutment picture can be captured via 8Mp camera including 5-50mm optical lens.

Cmos detector based optical quality control system includes two cameras. Top camera provides correct placement for the measurement and side camera measures lengths for defined both row and column, distance between two lines and angles between two lines.



*Fig. 2 Dental implant abutment measurement system*

Side camera captures frames via USB by using Python based interface. Fig. 3 shows the 25° angled, 4mm, bone level wide abutment, the abutment's Gaussian blurred and binarized images, respectively.

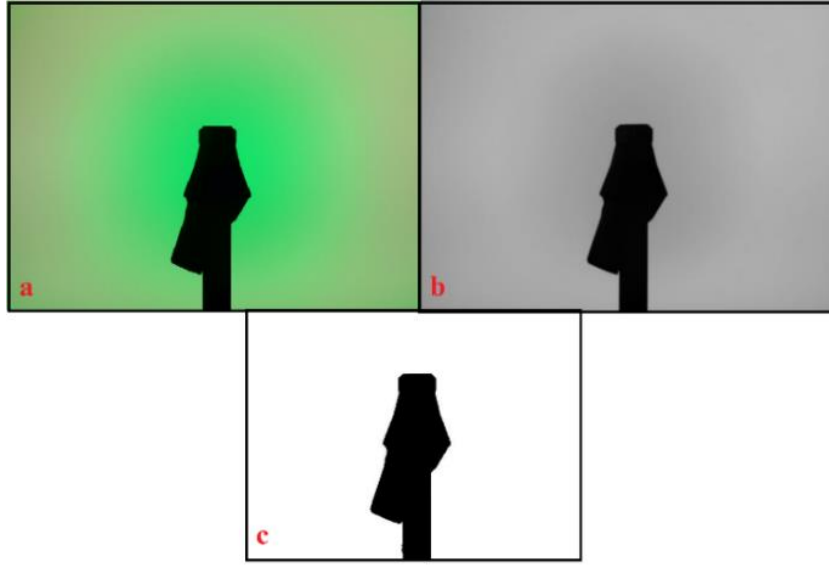


Fig. 3 a. 25° Angled, 4mm, bone level wide abutment b. Gaussian blurred image c. Binarized image

After binarization process, least square regression is applied for surface detection in the obtained binarized image. After surface selection points from the interface, least squared line is generated. Line could be generated in the defined squared error percentage which can be selected in the range of [0,1]. When two-line selection process is done, the angle between two surfaces could be measured. Fig. 4. shows the interface of the surface selection and measurement outputs.

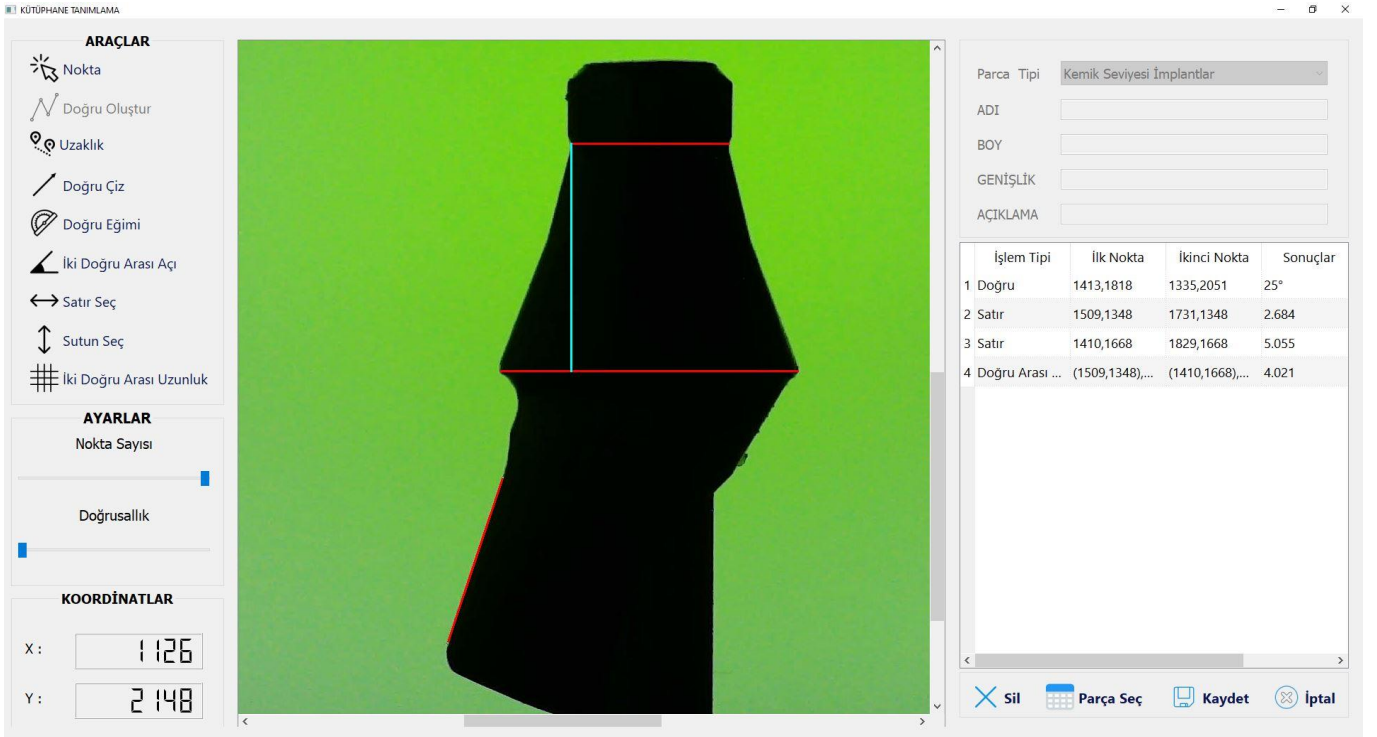


Fig. 4 Interface of the angle measurement

Presented methodology is applied to all bone level angled wide abutments produced by Bilimplant. In the production line, angled wide abutments are produced 15° and 25° angled and four different lengths to the tissue. Table 1 represents the catalogue value and measured values, respectively.

Table 1. Comparison of measurement and catalogue

Catalogue Value		Measured Value		Catalogue Value		Measured Value	
<i>L</i> (mm)	<i>Angle</i> (°)	<i>L</i> (mm)	<i>Angle</i> (°)	<i>L</i> (mm)	<i>Angle</i> (°)	<i>L</i> (mm)	<i>Angle</i> (°)
1	15	1.010	15.13	1	25	1.015	25.10
2	15	1.915	15.11	2	25	2.005	25.11
3	15	3.015	14.95	3	25	2.990	24.92
4	15	4.005	14.89	4	25	4.010	25.08

Maximum 0.0015 and 0.013° absolute deviations are observed for length and angle measurements, respectively. Presented results can be evaluated by using MSE assessment criteria. As the results of the comparison with catalogue values and measured values by using MSE, 0.001003 and 0.009812 are calculated.

### 3. Discussions

Presented methodology proves that surface detection could be done by using auto-thresholded images. Adjustment of the squared error percentage provides surface smoothness selection. Computer-based examinations of the obtained dental implant abutment images were also performed in the present research, and it was found that green lighted titanium (Ti6Al4V) surfaces could be detected by using CMOS detectors easily, as shown in Fig. 4.

Machine vision quality control procedure provides ease of use for detection of titanium surfaces. In addition, presented methodology represents that machine vision is time-saving method at least twenty seconds rather than human based quality control procedure.

5-50mm optical lens could be used for maximum 40mm products to measure 5µm resolutions. Repeatable success of the angle measurement is in the range of the  $\pm 0.05^\circ$ . It was observed that repeatable errors are as the results of cumulating of mechanical placement error, binarization procedure, linear regression etc.

Presented results reveal that length measurement is more precise than angle measurement. It depends on the regression model uncertainty and thresholding losses.

Despite these uncertainties and losses, it has been determined that the proposed model can measure length and angle with very low deviation. Low MSE results show that represented methodology can be used for automated quality control processes.

Lighting source should be adjustable because of camera aperture selection for achieving the best performance. Experimental research shows that the light source should be given not only from a single point but also from the back of the camera homogeneously.

### 4. Conclusion

In the paper we found that computer-based image processing methods could help the quality control decision-making process in mass production lines. Presented hybrid methodology results show that this method is suitable for measurement of Ti6Al4V dental implants. In the view of the results, we found that the optical machine vision procedure is time-saving and dependable method. Presented results prove that quality control staff could use this system easily. In the light of this study, future works could be organized based on improving full automated procedures.

### Acknowledgments

This study was performed at Gazi University, Engineering Faculty, Electrical & Electronics Engineering Department. Special thanks to Bilimplant and Karakamlar for providing dental materials and for providing mechanical and electronic infrastructure, respectively. This article was presented in ARACONF 2020 and published in full text.

### Reference

- [1] Sing, S. L., An, J., Yeong, W. Y., & Wiria, F. E. (2016). Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs. *Journal of Orthopaedic Research*, 34(3), 369-385.
- [2] Park, J. W., Park, K. B., & Suh, J. Y. (2007). Effects of calcium ion incorporation on bone healing of Ti6Al4V alloy implants in rabbit tibiae. *Biomaterials*, 28(22), 3306-3313.
- [3] Pattanayak, D. K., Fukuda, A., Matsushita, T., Takemoto, M., Fujibayashi, S., Sasaki, K., ... & Kokubo, T. (2011). Bioactive Ti metal analogous to human cancellous bone: fabrication by selective laser melting and chemical treatments. *Acta Biomaterialia*, 7(3), 1398-1406.

- [4] Abe, F., Costa Santos, E., Kitamura, Y., Osakada, K., & Shiomi, M. (2003). Influence of forming conditions on the titanium model in rapid prototyping with the selective laser melting process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 217(1), 119-126.
- [5] Atzlesberger, J., Zagar, B. G., Cihal, R., Brummayer, M., & Reisinger, P. (2013). Sub-surface defect detection in a steel sheet. *Measurement Science and Technology*, 24(8), 084003.
- [6] Li, Q., & Ren, S. (2012). A visual detection system for rail surface defects. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 42(6), 1531-1542.
- [7] Ng, T. W. (2007). Optical inspection of ball bearing defects. *Measurement Science and Technology*, 18(9), N73.
- [8] Yuzhen, M., Xuan, S., Guoping, L., & Xinjua, W. (2013, May). Surface defect detection based on capacitive probe for bearing ball. In *2013 25th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)* (pp. 2037-2040). IEEE.
- [9] Fischer, H., Karaca, F., & Marx, R. (2002). Detection of microscopic cracks in dental ceramic materials by fluorescent penetrant method. *Journal of Biomedical Materials Research: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 61(1), 153-158.
- [10] Kim, R. W., Kim, H. S., Choe, H. C., Son, M. K., & Chung, C. H. (2011). Microscopic analysis of fractured dental implant surface after clinical UseR. *Procedia Engineering*, 10, 1955-1960.
- [11] Brief, J., Edinger, D., Hassfeld, S., & Eggers, G. (2005). Accuracy of image-guided implantology. *Clinical Oral Implants Research*, 16(4), 495-501.
- [12] Flusser, J., Farokhi, S., Höschl, C., Suk, T., Zitová, B., & Pedone, M. (2015). Recognition of images degraded by Gaussian blur. *IEEE transactions on Image Processing*, 25(2), 790-806.
- [13] T. Y. Goh, S. N. Basah, H. Yazid, M. J. Aziz Safar, and F. S. Ahmad Saad, "Performance analysis of image thresholding: Otsu technique," *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 114, pp. 298–307, Jan. 2018.
- [14] Goh, T. Y., Basah, S. N., Yazid, H., Safar, M. J. A., & Saad, F. S. A. (2018). Performance analysis of image thresholding: Otsu technique. *Measurement*, 114, 298-307.
- [15] Haddad, R. A., & Akansu, A. N. (1991). A class of fast Gaussian binomial filters for speech and image processing. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 39(3), 723-727.
- [16] Lin, H. D. (2007). Computer-aided visual inspection of surface defects in ceramic capacitor chips. *Journal of Materials Processing Technology*, 189(1-3), 19-25.
- [17] Yuan, X. C., Wu, L. S., & Peng, Q. (2015). An improved Otsu method using the weighted object variance for defect detection. *Applied Surface Science*, 349, 472-484.
- [18] He, Z., & Sun, L. (2015). Surface defect detection method for glass substrate using improved Otsu segmentation. *Applied optics*, 54(33), 9823-9830.
- [19] Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, 9(1), 62-66.
- [20] Han, Y., Wu, Y., Cao, D., & Yun, P. (2017). Defect detection on button surfaces with the weighted least-squares model. *Frontiers of Optoelectronics*, 10(2), 151-159.
- [21] Liang, Z., Cao, S., & Tan, Y. (2019, April). Defect detection and recognition based on ADABOOT-SVM integrated model. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1187, No. 4, p. 042025). IOP Publishing.





## Case Study for Getting Probability Distributions of Some Basic Construction Activities\*\*

Feyza Gürbüz\*, Merva Dinç, Gizem Erdiñç

<sup>1</sup> Erciyes University, Faculty of Science, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6327-8232)

<sup>2</sup> Erciyes University, Faculty of Science, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9873-9879)

<sup>3</sup> Erciyes University, Faculty of Science, Department of Industrial Engineering, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5563-7963)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf18)

**ATIF/REFERENCE:** Gürbüz, F., Dinç, M., & Erdiñç, G. (2020). Case Study for Getting Probability Distributions of Some Basic Construction Activities. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 137-143.

### Abstract

Under the title 'Management', it should be considered many things simultaneously such as time, money, manpower, machinery and equipment and their interactions. After that consideration, it should have also optimized them to improve the workflow, scheduling, resource usage etc. Well, it is not easy in the uncertain environment of construction sector, which has a many stakeholder, has long completion times and is highly dependent on the human labor. It is necessary to model this uncertainty. Most importantly, we need the probability data for these models. In this study a housing project consisting of 13 floors was analyzed, the completion times of 20 activities are given for each of these floors and the distribution of the duration of each activity implemented on each floor was obtained. Those activities are repeated 13 times by the same team and with the same equipment. According to that results, activities mainly fit the Logistic, Log Logistic, Lognormal and Weibull distribution. After determining that which distribution for the activities is best suited to our data, the real time data is adjusted to this distribution and the average completion time of this activity for this building is obtained. Based on the average completion time of each activity, the completion time of the entire building was obtained.

The aim was getting the stochastic data from a real project to use in different management stage in future. Besides, the number of samples will also be increased and the deviations in the resulting distributions and their causes will be examined.

**Keywords:** Construction management, Probability distribution, Project planning.

## Bazı Temel İnşaat Faaliyetlerinin Olasılık Dağılımlarının Alınmasına İlişkin Örnek Olay

### Öz

'Yönetim' başlığı altında, zaman, para, insan gücü, makine ve ekipman ve bunların etkileşimleri gibi birçok şey eşzamanlı olarak ele alınmalıdır. Bu değerlendirmeden sonra, iş akışı, zamanlama, kaynak kullanımını gibi yönetimi etkileyen faktörleri geliştirmek amacıyla bahsedilen yönetim başlığı altındaki bileşenlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan bakıldığında pek çok paydaşı olan, uzun tamamlanma süreleri söz konusu olan ve yüksek oranda insan emeğine bağımlı olan inşaat sektörünün belirsiz ortamında bunu gerçekleştirmek kolay değildir. Bu belirsizliği modellemek gerekir. Bu bağlamdaki en önemli faktör, bu modeller için olasılık

\*Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Endüstri Müh. Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6327-8232, feyza@erciyes.edu.tr

\*\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*..

verilerine ihtiyacımız vardır. Olasılık verilerimize en uygun dağılıma göre, bu verilerden gerçek zamanlı veriler elde ederiz. Bu çalışmada 13 kattan oluşan bir konut projesi analiz edilmiş, bu katların her biri için 20 faaliyetin tamamlanma süresi verilmiş ve her katta gerçekleştirilen her faaliyetin süresinin dağılımı elde edilmiştir. Bu faaliyetler aynı ekip tarafından ve aynı ekipmanla 13 kez tekrarlanır. Sonuçlara göre; faaliyetler çoğunlukla Lojistik, Lojistik Lojistik, Lognormal ve Weibull dağılımına uygun sonuç vermiştir. Faaliyetler için hangi dağılımın verilerimize en uygun olduğunu belirledikten sonra, gerçek zamanlı veriler bu dağılıma göre ayarlanır ve bunun sonucunda ilgili binada bu faaliyetinin ortalama tamamlanma süresi elde edilir. Her faaliyetin ortalama tamamlanma süresine bağlı olarak, tüm binanın tamamlanma süresi elde edilmiştir. Amaç, gerçek bir projeden alınan stokastik verileri gelecekte farklı yönetim aşamasında kullanmaktır. Çünkü çok katlı binalardan oluşan karmaşık yapılar üzerinde çalışmalar yapıldığında, proje yönetiminin tüm faaliyetlerin zaman verilerini kullanarak projenin tamamlanma süresini elde etmesi çok yararlı olacaktır. Özetle; zaman verilerine parametrik testler uygulanacaktır. Her kat için tüm katsayıların zamanlarının dağılımları incelenecek ve sonuçlar belirlenecek ve elde edilen sonuçlar hakkında gerekli yorumlar yapılacaktır. Ayrıca, örnek sayısı artırılacak ve ortaya çıkan dağılımlardaki sapmalar ve nedenleri incelenecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Yapı yönetimi, Olasılık dağılımı, Proje planlama.

## 1. Introduction

Project Management is a phenomenon that has been going on for many years and its content has not changed much. In other words, using time, money, manpower, machinery and equipment in the most efficient way is defined as efforts to complete the purpose in the best time with the most appropriate budget. Today, it is not the changing objective, but the tools and the type of data of these tools (Avenal, 2014).

The success of management depends on the modeling of the system with all variables. However, it is not easy in construction sector where there are many variables that vary depending on different scenarios. Therefore, the probabilistic data are now used in many fields of construction management.

In this context, a housing project consisting of 13 floors was analyzed and the distribution of the duration of each activity implemented on each floor was obtained. The aim was getting the stochastic data from a real project to use in different management stage in future.

In the literature research we conducted, there are many studies under the subject titles such as project management, project scheduling, project or activity duration. Some of these studies, especially those made in recent years, are given below.

Chen, Ding, Zhang, J. & Qin, 2019 studied on new project arrival and stochastic duration in dynamical RCMPSP using a systematic research.

Gonzalez-Ruiz et al., 2019 proposed a Stochastic Fuzzy Logistic Model for patterning the construction of integrated mutilates scenarios in the financing of infrastructure projects.

Ma, Demeulemeester, He, and Wang, 2019 addressed the proactive resource-constrained project scheduling problem, for exploring the better surrogate robustness measures to generate robust baseline schedules under uncertain platforms.

Creemers, 2019 studied the preemptive stochastic resource-constrained project scheduling problem (PSRCPSP), and present an exact solution procedure.

Tao, Wu, Sheng, and Wang, 2018 studied a resource constrained project scheduling problem with hierarchical alternatives and stochastic activity durations.

Chen et al., 2018 examined the performance of 17 priority rule heuristics and the justification technique on the stochastic resource-constrained project scheduling problem.

Tao et al., 2018 investigated a resource-constrained project scheduling problem that involves alternative methods and stochastic activity durations.

Wanga, He, Kerkhove, and Vanhoucke, 2017 assumed the activity duration as a stochastic variable and propose two new robustness measures to analyze the performance of priority rules under a stochastic environment.

Ning, He, Jia, and Wang, 2017 investigated the multi-mode cash flow balanced project scheduling problem with stochastic duration of activities for generating a robust baseline schedule to minimize the contractor's maximal cumulative gap between cash outflows and cash inflows.

Wood, 2017 studied on critical path and crucial work items than standard earned schedule and earned duration metrics to calculate earned duration and related duration performance index for critical path items weighted for their planned duration.

Ke, Maa, and Chen, 2012 introduced a stochastic time-dependent time-cost trade-off problem is meet different management requirements; three stochastic time-cost trade-off models are built.

Rabbani, Ghomi, Jolai and Lahiji, 2007 presented a newly developed resource-constrained project scheduling method in stochastic networks that merges the new and traditional resource management methods.

Ke and Liu, 2005 considered a project scheduling problem with stochastic activity duration times, minimizing the total cost under some completion time limits.

Salimi, Mawlana, and Hammad, 2018 claimed that there is a need for simulation during the analysis and planning of the project due to the uncertainty and variability of the projects. Ballesteros-Perez et al. claimed that the main reason for this difference was poor planning control.

Durucasu, Karamaşa, İcan, Yeşilaydın, and Gülcan, 2015 emphasized the importance of the study of fuzzy numbers instead of exact numbers instead of the exact numbers of the fuzzy CPM method instead of the classical CPM method commonly used in the literature.

Bayhan, Kanra, Demir, Kar, and Güranlı, 2016 performed estimated efficiency calculations of future projects using stochastic models that were previously performed but not outdated.

This study consists 5 parts:

Firstly, attention was paid to the specific structure of construction management and the requirements for using probabilistic data to work in this field with relevant literature review as introduction. After that as second part, the methodology was presented step by step with some prints from Minitab 17 Statistical Software. Sections 3 and 4 contain results and conclusions. In conclusion, it can be found the interpretation of results and connections with future studies. As the last, the references were given.

## 2. Material and Method

In this study, the operations on 13 floors of a building are discussed. The completion times of 20 activities such as wall flooring and concrete flooring are given for each of these floors. As these times vary between floors, it cannot be predicted how long each operation will last throughout the building.

Therefore, the aim of this paper is to find the average completion time of the activities by analyzing this time data and to find the completion time of the building including all floors.

Here the project consists of a single small building. However, when studies are conducted on complex structures consisting of many multi-story buildings, it will be very useful for project management to obtain the completion time of the project by using time data of all activities.

In summary, parametric tests will be applied to the time data, the distributions of the times of each activity for all floors will be examined and the results will be determined, and the necessary comments will be made about the results obtained. The application was performed in Minitab 17 Statistical Software.

### 2.1. Distributions by Activities

We use distribution ID Plot to determine which distribution best fits our data by comparing how closely the plot points lie to the best-fit lines of a probability plot.

Anderson-Darling is used for the least squares and maximum likelihood estimation methods. The smallest Anderson Darling value indicates which distribution best fits the data.

The following table and graphs show that the most appropriate distribution for wall flooring activity is 'Logistics' with the smallest value. For the time data entered, 13 are insufficient and cannot create large differences between distributions.

Table 1. Wall Flooring

Floors	1	2	3	4	5	6
Duration (days)	12,92	13,8	10,25	12,8	12,2	14,5
7	8	9	10	11	12	13
11,75	11,5	12,2	11,9	9,25	10,25	9,75

Table 2. Result of Anderson-Darling Distribution

Goodness-of-Fit	
<b>Anderson-Darling</b>	
Distribution	(adj)
Weibull	1,178
Lognormal	1,230
Exponential	5,108
Loglogistic	1,160
Normal	1,193
Logistic	1,160

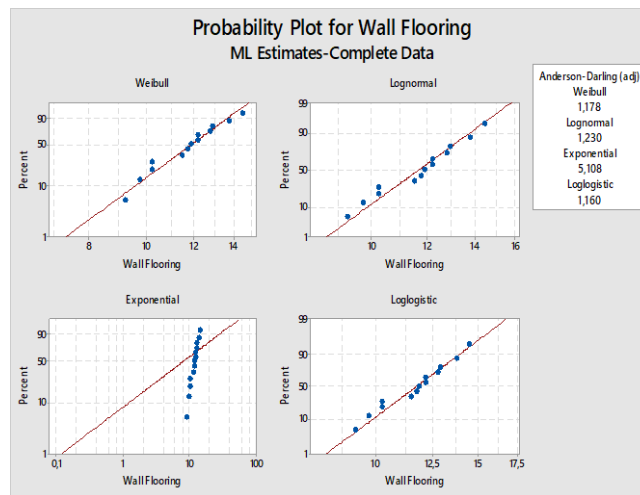


Figure 1. Probability Plot for Wall Flooring

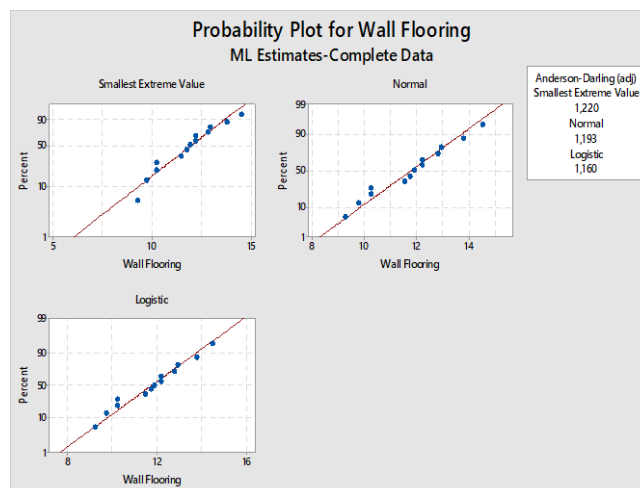


Figure 2. Probability Plot for Wall Flooring

All outputs are given in detail for the first activity. In the above graphs we can observe the probability graphs to determine the appropriateness of the distribution to the data. After determining that the logistic distribution for this activity is best suited to our data, the real time data is adjusted to this distribution and the average completion time of this activity for this building is obtained.

Parametric distribution analysis-right censoring was used for this purpose and 'logistic' was selected for the assumed distribution. If our data include exact time data or if test units do not fail before our study is over, that means our data are right-censored. We can fit one of lots of common distributions to our data which are located in Goodness-of-Fit. According to our results below, parameter estimates, their standard errors, confidence intervals were obtained.

Table 3. Result of Distribution Analysis: Wall Flooring

<p><b>Distribution Analysis: Wall Flooring</b>  <b>Variable: Wall Flooring</b>  <b>Censoring Information Count Uncensored value 13</b>  <b>Estimation Method: Maximum Likelihood</b></p>																													
<p><b>Distribution: Logistic</b>  <b>Parameter Estimates</b></p> <table> <thead> <tr> <th></th> <th>Standard</th> <th>95,0% Normal CI</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>Parameter</th> <th>Estimate</th> <th>Error</th> <th>Lower</th> <th>Upper</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Location</td> <td>11,7942</td> <td>0,435200</td> <td>10,9413</td> <td>12,6472</td> </tr> <tr> <td>Scale</td> <td>0,889830</td> <td>0,203112</td> <td>0,568869</td> <td>1,39188</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Log-Likelihood = -24,169</td> </tr> </tbody> </table>						Standard	95,0% Normal CI			Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper	Location	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472	Scale	0,889830	0,203112	0,568869	1,39188	Log-Likelihood = -24,169				
	Standard	95,0% Normal CI																											
Parameter	Estimate	Error	Lower	Upper																									
Location	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472																									
Scale	0,889830	0,203112	0,568869	1,39188																									
Log-Likelihood = -24,169																													
<p>Goodness-of-Fit                  Anderson-Darling (adjusted) = 1,160</p>																													
<p><b>Characteristics of Distribution</b></p> <table> <thead> <tr> <th></th> <th>Standard</th> <th>95,0% Normal CI</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th></th> <th>Estimate</th> <th>Error</th> <th>Lower</th> <th>Upper</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Mean(MTTF)</td> <td>11,7942</td> <td>0,435200</td> <td>10,9413</td> <td>12,6472</td> </tr> <tr> <td>Standard Deviation</td> <td>1,61397</td> <td>0,368404</td> <td>1,03181</td> <td>2,52459</td> </tr> <tr> <td>Median</td> <td>11,7942</td> <td>0,435200</td> <td>10,9413</td> <td>12,6472</td> </tr> </tbody> </table>						Standard	95,0% Normal CI				Estimate	Error	Lower	Upper	Mean(MTTF)	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472	Standard Deviation	1,61397	0,368404	1,03181	2,52459	Median	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472
	Standard	95,0% Normal CI																											
	Estimate	Error	Lower	Upper																									
Mean(MTTF)	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472																									
Standard Deviation	1,61397	0,368404	1,03181	2,52459																									
Median	11,7942	0,435200	10,9413	12,6472																									



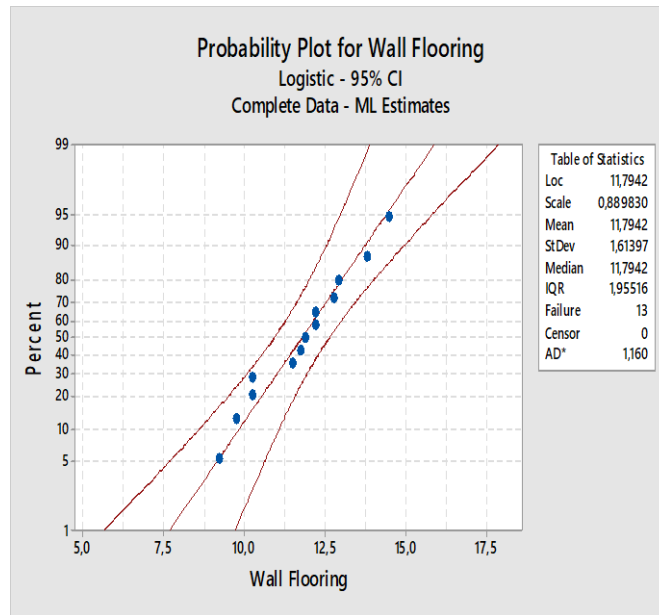


Figure 3. Probability Plot for Wall Flooring, Logistic- 95% CI

In addition, we can observe from the last graph that the time data for wall flooring remains within the 95% confidence interval limits. Nevertheless, the important thing for us is the mean duration of the activity to be obtained from the distribution characteristics. From the sum of these periods to be obtained for each activity, the complete period of completion of all works in the building can be reached.

### 3. Results and Conclusions

For wall flooring, the solution steps and obtaining the required time are described in detail above. Similar applications for all activities were carried out in Minitab and the results are given in the table 2 below.

Table 4. Minitab Outputs of Activities

Activities	Distribution best fits the data	Mean	Standard Deviation
1.Wall flooring	Logistic	11,7942	1,61397
2.Concrete flooring	Lognormal	11,8560	1,20380
3.Interior wall trim	Loglogistic	10,5958	1,10859
4.Electric infrastructure	Loglogistic	11,7584	1,16531
5.Hydraulic infrastructure	Lognormal	11,7476	1,07909
6.Windows	Lognormal	3,47943	0,67251
7.Drywall	Lognormal	6,96070	0,82287
8.Water insulation	Lognormal	5,79893	1,19551
9.Ground leveling	Lognormal	5,79893	1,19551
10.Complete plaster	Lognormal	6,26373	1,40758
11. Tiles wall	Lognormal	6,22609	1,35478
12. Floor tiles	Lognormal	6,28550	1,31217
13.Plaster ceiling	Loglogistic	5,25454	0,29921
14. Cleaning	Weibull	4,46567	0,47619
15.Doors	Logistic	5,27009	0,21853
16.1st floor paint	Weibull	4,46567	0,47619
17.2nd floor paint	Weibull	4,46567	0,47619
18.End of electrical work	Weibull	4,63748	0,51161
19. Plumbing	Logistic	5,12427	0,53776
20.Final cleaning	Weibull	4,46567	0,47619

In this study a housing project consisting of 13 floors was analyzed, the completion times of 20 activities are given for each of these floors and the distribution of the duration of each activity implemented on each floor was obtained. Those activities are repeated 13 times by the same team and with the same equipment.

According to that results, activities mainly fit the Logistic, Log Logistic, Lognormal and Weibull distribution. After determining that which distribution for the activities is best suited to our data, the real time data is adjusted to this distribution and the average completion time of this activity for this building is obtained.

## 4. Conclusion

This paper presents a case study to obtain probability distributions for some basic construction activities from a housing project. Those activities are repeated 13 times by the same team and with the same equipment. The results are given in third part.

According to that results activities mainly fit the Logistic, Log Logistic, Lognormal and Weibull distribution. As we said before for the time data entered, 13 are insufficient and cannot create large differences between distributions.

Based on the average completion time of each activity, the result of the completion time of the entire building lasts approximately 136.7 days.

In future, the resulting distributions will be used for planning of the project. Besides, the number of samples will also be increased and the deviations in the resulting distributions and their causes will be examined.

## Reference

- Avenal, A. (2014). Why Construction Project Management Should be included as a separate undergraduate Program and what topics should cover?. 4.PYYK, Eskişehir, 20.
- Chen, H., Ding, G. and Zhang, J. & Qin, S. (2019). Research on priority rules for the stochastic resource constrained multi-project scheduling problem with new project arrival. *Computers & Industrial Engineering*, 137.
- Gonzalez-Ruiz, J., Peña, A., Duque, E., Patiño, A., Chiclana, F. and Góngora, M. (2019). Stochastic logistic fuzzy maps for the construction of integrated multirates scenarios in the financing of infrastructure projects. *Applied Soft Computing Journal*, 85.
- Ma, Z., Demeulemeester, E., He, Z. and Wang, N. (2019). A computational experiment to explore better robustness measures for project scheduling under two types of uncertain environments. *Computers & Industrial Engineering*, 131, 382–390.
- Creemers, S. (2019). The preemptive stochastic resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 277, 238-247.
- Tao, S., Wu, C., Sheng, Z. and Wang, X. (2018). Stochastic Project Scheduling with Hierarchical Alternatives. *Applied Mathematical Modelling*, 58, 181-202.
- Chen, Z., Demeulemeester, E., Bai, S. and Guo Y. (2018). Efficient priority rules for the stochastic resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 270, 957-967.
- Wanga, Y., He, Z., Kerkhove, L. and Vanhoucke, M. (2017). On the performance of priority rules for the stochastic resource constrained multi-project scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 223-234.
- Ning, M., He, Z., Jia, T. and Wang, N. (2017). Metaheuristics for multi-mode cash flow balanced project scheduling with stochastic duration of activities. *Automation in Construction*, 81, 224–233.
- Wood, D. A. (2017). High-level integrated deterministic, stochastic and fuzzy costduration analysis aids project planning and monitoring, focusing on uncertainties and earned value metrics. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 37, 303-326.
- Ke, H., Maa, W. and Chen, X. (2012). Modeling stochastic project time-cost trade-offs with time-dependent activity durations. *Applied Mathematics and Computation*, 218, 9462-9469.
- Rabbani, M., Ghomi, F., Jolai, F. and Lahiji, N. S. (2007). A new heuristic for resource-constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concept. *European Journal of Operational Research*, 176, 794-808.
- Ke, H. and Liu, B. (2005). Project scheduling problem with stochastic activity duration times. *Applied Mathematics and Computation*, 168, 342-353.
- Salimi, S., Mawlana, M. and Hammad, A. (2018). Performance Analysis of Simulation-Based Optimization of Construction Projects Using High-Performance Computing. *Automation in Construction*, 8, 158-172.
- Ballesteros-Pérez, P., Larsen, G. and González-Cruz, M. (2018). Do Projects Really End Late? On The Shortcomings Of The Classical Scheduling Techniques. *Journal of Technology and Science Education*, 8, 17-33.
- Durucasu, H., Karamaşa, Ç., İcan, Ö., Yeşilaydın G. and Gülcan, B. (2015). Project Scheduling by means of Fuzzy CPM Method: An Implementation in Construction Sector. *Ege Academic Review*, 15, 449-466.
- Bayhan, H., Kanra, Y., Demir, M., Kar, H. and Gürcanlı, G. (2016). Estimation of Production Efficiency of Work Machines at Site with Stochastic Simulation Model. 4. PYYK, Eskişehir.



# Rüzgar ve Dalga İkliminin Modellenmesi: Gökçeada Örneği\*

Asu İnan<sup>1\*\*</sup>, Kağan Cebe<sup>2</sup>, Alper Ankara<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2569-2456)

<sup>2</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0000-1288-1362)

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf19)

**ATIF/REFERENCE:** İnan, A., Cebe, K. & Ankara, A. (2020). Rüzgar ve Dalga İkliminin Modellenmesi: Gökçeada Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 144-151.

## Öz

Rüzgar ve dalga iklimlerinin modellenmesi, kıyı mühendisliği problemlerinin çözümünün ilk adımıdır. Kıyı bölgesinin hidrodinamiğinin anlaşılmasında, kıyı yönetiminin planlanmasında öncelikle rüzgar ve dalga iklimlerin belirlenmesi gereklidir. Rüzgâr ve dalga kaynakları uzun dönem verilere dayalı ve güvenilir olmaz ise yapılacak tasarımlar da güvenilir olamaz. Kullanılan rüzgar verilerinin güvenilirliği, ekonomik ve teknik yönden optimum tasarım yapabilmek için önemli bir önceliktir. Coğrafi bilgi sistemi (CIS) ve bulut hesaplama tabanlı HYDROTAM-3D, üç boyutlu hidrodinamik, türbülans ve taşınım modelidir. HYDROTAM-3D modeli hidrodinamik, dalga ilerlemesi, taşınım, su kalitesi, türbülans, rüzgar ve dalga iklimleri, kıyasal sediman alt modelleri olan, kıyı mühendisliğinin birçok problemine cevap veren bir modeldir. Bu çalışmada Gökçeada'ya uygulanmıştır. Ege Denizi'nde yer alan Gökçeada, Türkiye'nin en büyük adasıdır. Rüzgar verileri olarak Gökçeada Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF (Avrupa Orta Vadeli Tahminler Merkezi) verileri, rüzgar ikliminin HYDROTAM-3D ile modellenmesinde kullanılmıştır. İki farklı veri setinden elde edilen rüzgâr iklimi tahminleri karşılaştırılmıştır. Uzun dönem rüzgar istatistiklerine dayanılarak Gökçeada denizel alanı için rüzgar gülü; aylara, yıllara ve yönlere göre maksimum rüzgar hızları sunulmuştur. Dalga iklimi için, ECMWF verileri kullanılmıştır. Dalga tahminlerinde WAM modeli ve CEM modeli uygulanmış ve tahminler karşılaştırılmıştır. Uygulanan WAM modeli sayısal bir model iken, CEM modeli ampirik bir modeldir ve her ikisi de uzun dönem istatistiğine dayanmaktadır. Her iki dalga modelinin tahminlerine göre belirgin dalga yüksekliği ile dalga periyodu grafiği, aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri, yıllık ve mevsimlik dalga gülü sunulmuştur. Gökçeada denizel alanı için elde edilen rüzgâr ve dalga iklimi tahminleri bölgedeki kıyı yapılarının tasarımında, kıyı mühendisliği problemlerinin çözümünde, kıyı bölgesinin rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyellerinin belirlenmesinde, kamu kurumlarının kıyı alanları yönetimi planlamalarında kullanılabilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Rüzgar iklimi, Dalga iklimi, HYDROTAM-3D, WAM modeli, CEM modeli, Modelleme

## Modeling of Wind and Wave Climate: Gökçeada Case

### Abstract

Numerical modeling of wind and wave climate is the first step for the solutions of the coastal engineering problems. Determination of wind and wave climate has a primary role to understand the hydrodynamics of the coastal zone and plan of the coastal zone management. If the data sets are not based on the long terms and reliable, the designs cannot be reliable. The reliability of the wind data has the important priority to be able to have the optimum solution of the designs economically and technically. The HYDROTAM-3D, which is geographic information system (GIS) and cloud computing based, three dimensional hydrodynamic, turbulence and transport model, has been applied to Gökçeada coastal waters. HYDROTAM-3D is a model, that solves so many problems of coastal engineering. It has hydrodynamic, wave propagation, transport, water quality, turbulence, wind and wave climate, coastal sediment submodules. Gökçeada is the biggest island of Turkey, which is located in the Aegean Sea. Wind data of the meteorological station in Gökçeada and ECMWF (European Center for Medium-Range Weather Forecasts) wind data are used for the wind climate modeling in the HYDROTAM-3D. The predictions of the wind climate based on two different wind data are compared. Wind rose, maximum wind speeds depending on months, years and directions based on the long-term wind statistics for the Gökçeada coastal region are presented. For the prediction of the wave climate, ECMWF wind data has been used. WAM model and CEM model are applied and compared for the wave predictions. WAM model and CEM model are used a numerical method and an empirical method, which are based on long term statistics, respectively. The graph of significant wave height vs. wave period, monthly average

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2569-2456, [asuinan@gazi.edu.tr](mailto:asuinan@gazi.edu.tr)

and extreme significant wave heights, yearly and monthly wave roses are presented based on the predictions of the two wave models. The predictions of wind and wave climates for the Gökçeada coastal region can be used for the design of the coastal structures, solving of coastal engineering problems, determination of the potential of wind and wave energy, planning of coastal zone management of the state agencies for this region.

**Keywords:** Wind climate, Wave climate, HYDROTAM-3D, WAM model, CEM model, Modeling

## 1. Giriş

Bir kıyı alanındaki rüzgâr ve dalga ikliminin belirlenmesi o bölgenin hidrodinamiğinin anlaşılması, kıyı mühendisliği tasarımları, kıyı alanları yönetimi ve planlaması için yapılması gereken çalışmaların temelini oluşturmaktadır.

Rüzgâr ve dalga iklimlerinin güvenilir bir şekilde belirlenebilmesi için, kullanılacak veri serilerinin uzun dönemli ve güvenilir olması gereklidir. Aksi takdirde rüzgâr ve dalga iklimini temel alan çalışmalar ve tasarımlar da etkin çözümlerden uzak olacaktır.

Türkiye kıyılarında genellikle dalgalar, rüzgâr kökenli dalgalardır.

Rüzgâr tahmin verileri için iki ölçüm yöntemi bulunmaktadır: Deniz ve karaya rüzgâr ölçüm aletleri kullanılarak yapılan ölçümler ve rüzgâr basınç farklarından yararlanılarak yapılan ölçümler. Deniz ölçümlerinden daha güvenilir veriler elde edilirken, kara ölçümleri deniz ölçüm verilerinin olmadığı yerlerde belirli katsayılarla çarpılarak, kalibre edilip kullanılabilir. Rüzgâr basınç farklarından yararlanmak daha karmaşık olduğundan kara ve deniz ölçümlerinin olmadığı bir ortamda seçenek olarak düşünülebilir (Buyruk, 2019).

Rüzgâr verileri analiz edilip rüzgâr iklimleri oluşturulduktan sonra, rüzgâr kökenli dalgaların modellenmesi süreci başlar. Bu konuda birçok araştırma yapılmış, modellemeler için ampirik ve sayısal yöntemler önerilmiştir.

En çok kullanılan ampirik modeller, SMP, JONSWAP, SPM ve CEM yöntemleridir.

Dalga tahmini çalışmaları 1940'lı yıllarda ampirik modellerle başlamıştır. İlk dalga sınıflandırması Sverdrup ve Munk tarafından 1947'de yapılmış, ardından Bret Schneider tarafından 1952'de bu verilerin üzerine eklemeler yapılarak model geliştirilmiştir. Ampirik yaklaşımların temelini, etkin dalga kabarma mesafesi ile dalga büyümesi arasındaki yasa oluşturmaktadır. Bu yasa sonucunda sabit bir etkin dalga kabarması mesafesinde sabit bir yönde ve hızda esen rüzgârın oluşturduğu dalgaların büyümesi, etkin dalga kabarma mesafesinin boyutu ile sınırlıdır (Al-Sammaraie, 2019).

1950'li yıllarda spektral yöntemlere geçilmiş ve daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Spektral yöntemler dalgaların frekanslarına dayanmakta ve dalganın kinetik ve potansiyel enerjilerini gözönüne almaktadır. Philips, 1958'de dalganın lineer olarak büyüdüğünü söylemiştir. Pierson ve Moskowitz, 1964'te Philips'in parametrelerini tanımlamış ve Pierson-Moskowitz spektrumunu geliştirmişlerdir. Böylece birinci kuşak dalga modelleri oluşturulmuştur. 1964'ten sonra Hasselmann ve diğerleri, dalga etkileşimini inceleyerek ikinci kuşak dalga modellerini geliştirmişlerdir (Al-Sammaraie, 2019). 1980'de Hasselmann ve diğerleri, üçüncü kuşak dalga modellerini ortaya atmışlardır. İkinci kuşak ve üçüncü kuşak dalga modelleri arasında fark, çözüm yönteminin farklılığıdır. Üçüncü kuşak dalga modelleri, doğrusal olmayan dalga-dalga etkileşimini spektral şeklin kısıtlamalarının çoğunu azaltarak, daha detaylı bir parametrelendirme ile dalga büyümesini modellemektedirler. WAM modeli üçüncü kuşak dalga modeline örnek olarak gösterilebilir (Buyruk, 2019).

## 2. Materyal ve Metot

Gökçeada, Türkiye'nin en büyük adası olup Ege Denizi'nde yer almaktadır (Şekil 1). İklim olarak, Ege ve Marmara Bölgelerinin iklimlerinin kesiştiği bir yerdedir. Oldukça sarp ve engebeli bir arazi yapısına sahip olan ada yüksek tepeler, derin vadilerden oluşur. Gökçeada, Çanakkale iline bağlı olup, 2019 yılı itibariyle yaklaşık 10000 nüfusa sahiptir. Adada üç adet liman bulunmaktadır: Kuzu Limanı, Kaleköy Limanı, Uğurlu Limanı (Gökçeada Tanıtım, 2019).



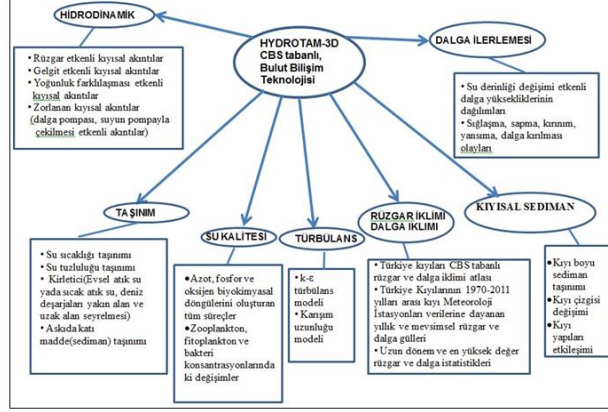
Şekil 1. Gökçeada'nın Konumu (Googlemaps, 2019)

Çalışmada HYDROTAM-3D modeli, rüzgâr ve dalga iklimlerinin belirlenmesi için kullanılacaktır. HYDROTAM-3D, literatürdeki kaynaklarda bulunan analitik ve deneysel sonuçlarla ve saha ölçümleri ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir. Model, üç



boyutlu hidrodinamik ve taşınım modelidir. HYDROTAM-3D, coğrafi bilgi sistemi tabanlıdır ve bulut bilişim mimarisini kullanmaktadır (HYDROTAM-3D, 2019; Yılmaz, 2018; Fidanoğlu Yıldırım vd., 2017; Cebe ve Balas, 2016). HYDROTAM-3D'nin alt modelleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

Bu çalışmada rüzgâr iklimi ve dalga iklimi alt modelleri kullanılmıştır. Rüzgâr alt modelinde, 1970-2016 içerisinde kaydedilmiş meteorolojik verileri saatlik olarak rüzgâr hızı ve yönü grafiksel olarak içinde bulunmaktadır. Diğer veri seti ise ECMWF'in 2000-2016 yılları arasında bulunan 0.10x0.10 derecelik aralıklarla konumlandırılmış Türkiye kıyılarını kapsayan 6'şar saatlik ölçüm verilerinden oluşmaktadır (Buyruk, 2019; HYDROTAM-3D, 2019).



Şekil 2. HYDROTAM-3D alt modelleri (HYDROTAM-3D, 2019)

Türkiye kıyılarında uzun dönem dalga verisi olmadığından ve Türkiye kıyılarındaki dalgaların genellikle rüzgâr kökenli olması dolayısı ile rüzgâr verilerinden dalga iklimine ulaşılmıştır. Bu çalışmada ampirik bir yöntem olan CEM metodu ile sayısal yöntem olan WAM modeli dalga iklimi analizleri için kullanılmıştır.

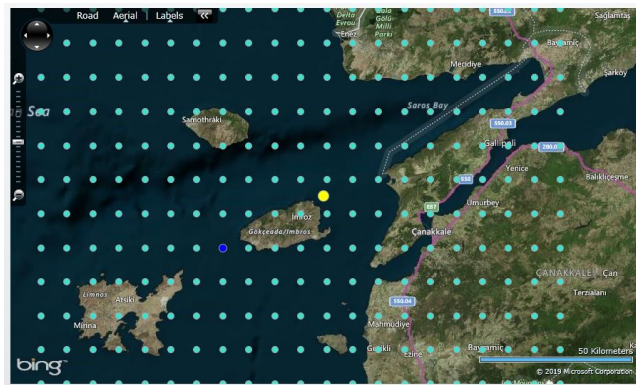
Rüzgâr verilerinden dalga tahmini yapılması amacıyla kullanılan CEM metodunda, etkin dalga kabarma mesafesi ile büyüyen dalga oluşumu ampirik olarak benzeştirilmektedir. WAM modelinde ise belirgin dalga yüksekliği, ortalama dalga yönü, frekansı, yönsel spektrumdan elde edilmektedir (Buyruk, 2019).

Çalışma alanımız olan Gökçeada için Gökçeada Meteoroloji İstasyonu ve ECMWF rüzgâr verileri ile rüzgâr iklimleri belirlenmiştir. Dalga iklimi için ise ECMWF verileri ile devam edilmiş; CEM metodu ve WAM modeli uygulanmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Rüzgâr İklimi

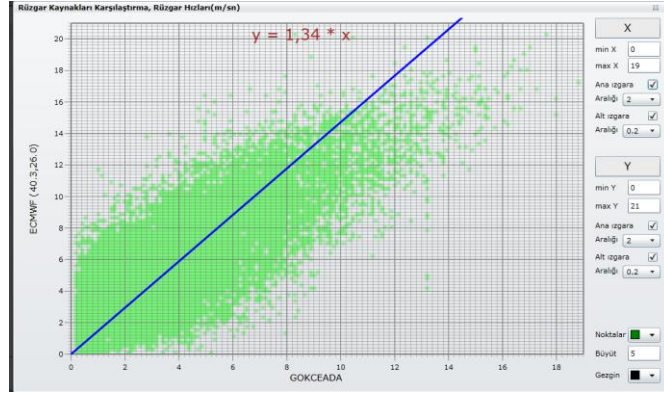
Gökçeada Meteoroloji İstasyonu merkezinde kara istasyonu olup, saatlik rüzgâr verileri ECMWF (40.3N, 26E) (Şekil 2) koordinatının 6 saatlik deniz üstü rüzgâr tahminleri ile karşılaştırılmıştır. İki veri setinin karşılaştırması Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Gökçeada ECMWF Rüzgâr Verilerinin Kullanılacağı Nokta 40.3N 26E (HYDROTAM-3D, 2019)

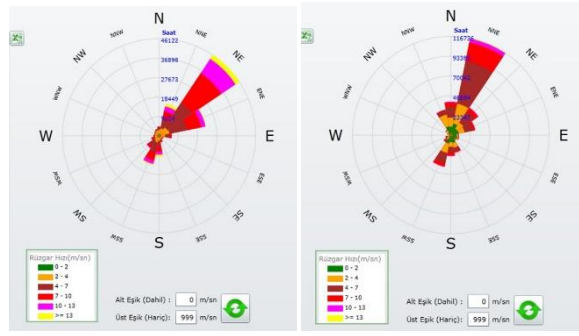
Şekil 4'te Gökçeada için 1972-2016 yılları arasındaki meteoroloji istasyonunun altı saatlik karasal rüzgâr ölçümleri ile 2000-2016 yılları için ECMWF (40.3N, 26E) koordinatının rüzgâr tahminleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4'te ECMWF (40.3N, 26E) koordinatı verilerinin, Gökçeada meteoroloji istasyonu rüzgâr verilerinin yaklaşık 1.34 katı olduğu görülmektedir. Literatürde deniz aşırı rüzgâr, karasal rüzgâr verilerinin 1.5-2.0 katı kadardır (Al-Sammarraie, 2019). Gökçeada kıyı alanı için bu değer 1.34'tür.





Şekil 4. ECMWF ve Gökçeada Meteoroloji İstasyonları Rüzgâr Verilerinin İlişkisi (HYDROTAM-3D, 2019)

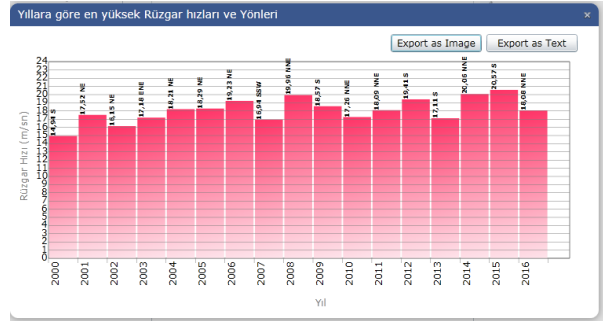
Şekil 5a'da ECMWF rüzgâr tahminleri (40.3N, 26E) hâkim rüzgâr yönünü NE olarak göstermektedir. Şekil 5b'de ise Gökçeada meteoroloji istasyonunun rüzgâr ölçümleri, hâkim rüzgâr yönünün saat yönünde NNE olduğunu göstermektedir.



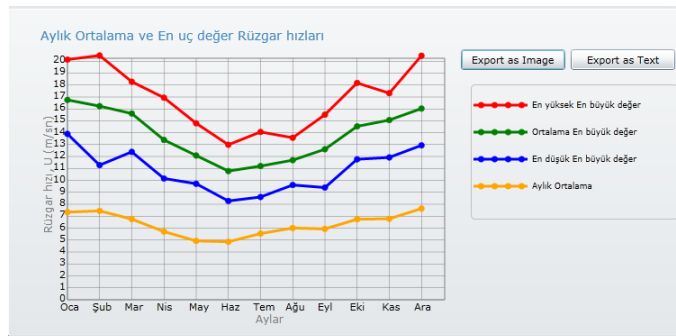
(a) (b)

Şekil 5. a) ECMWF (40.3N,26E) b) Gökçeada Meteoroloji İstasyon verileri b) (HYDROTAM-3D, 2019)

Yıllara göre maksimum rüzgâr hızları Şekil 6'da, aylara göre maksimum rüzgâr hızları Şekil 7'de verilmektedir.



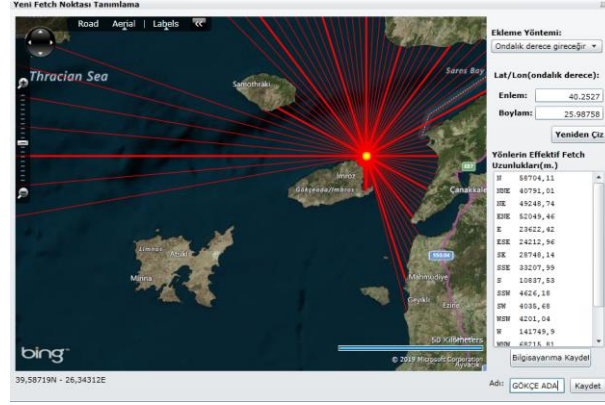
Şekil 6. Yıllara ve Yönlere göre Maksimum Rüzgâr Hızları İstatistiği (HYDROTAM-3D, 2019)



Şekil 7. Maksimum rüzgâr hızları aylara göre (HYDROTAM-3D, 2019)

### 3.2. Dalga İklimi

Gökçeada dalga iklimi çalışmalarında ampirik ve sayısal olmak üzere iki yaklaşım kullanılmıştır. Dalga iklimi analizinde ECMWF'nin rüzgâr verileri kullanılmıştır. İlk yaklaşım ampirik bir yöntem olan CEM metodudur, diğeri sayısal bir yöntem olan WAM modelidir. İlk yaklaşımda ECMWF'nin rüzgâr tahminleri, CEM yöntemine girdi olarak ve WAM modelinde ECMWF'nin sayısal dalga tahminleri dalga istatistikleri için kullanılmaktadır. Şekil 8'de Gökçeada için feç mesafeleri gösterilmektedir. En uzun fetch mesafeleri, W yönü ve ardından N ve ENE'dir.

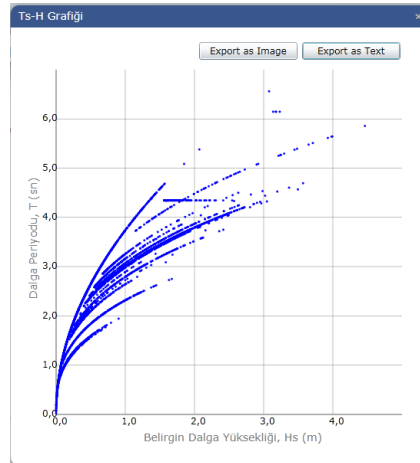


Şekil 8. Gökçeada feç mesafeleri (HYDROTAM-3D, 2019)

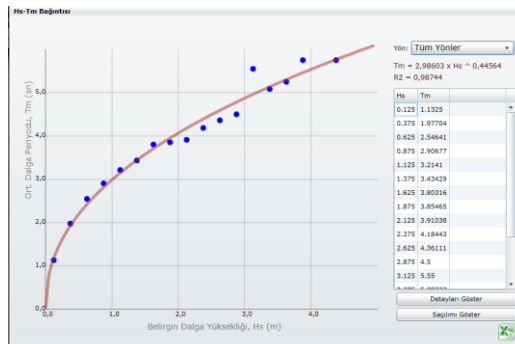
#### 3.2.1. CEM Metodunun Uygulanması

Bu bölümde, CEM ampirik yöntemi ile uygulanan ECMWF (40.3N, 26E) koordinatından elde edilen rüzgar verileri ile uzun vadeli dalga istatistiklerinin sonuçları verilmiştir.

Belirgin dalga yükseklikleri ile dalga periyodu arasındaki ilişkiyi veren saçılma grafiği Şekil 9 ve dağılım grafiği Şekil 10'da gösterilmektedir. CEM metodu ECMWF (40.3 N 26 E) için dalga modeli  $H_s-T$  saçılma grafiği  $H_s-T_s$  bağıntı grafiği Şekil 10'da verilmiştir.

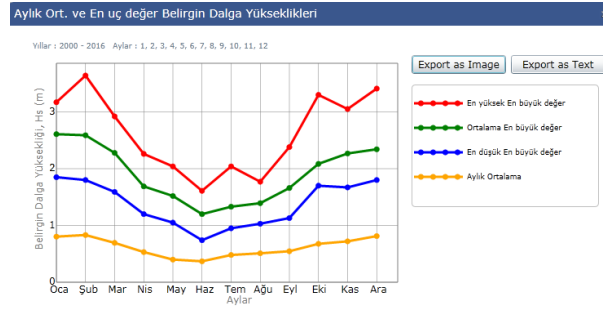


Şekil 9.  $H_s-T$  Saçılma Grafiği (CEM metodu) (HYDROTAM-3D, 2019)



Şekil 10.  $H_s-T_m$  Bağıntısı Grafiği (CEM metodu) (HYDROTAM-3D, 2019)

Şekil 11’de CEM modeline göre aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri gösterilmektedir.



Şekil 11. CEM metoduna göre aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri (HYDROTAM-3D, 2019)

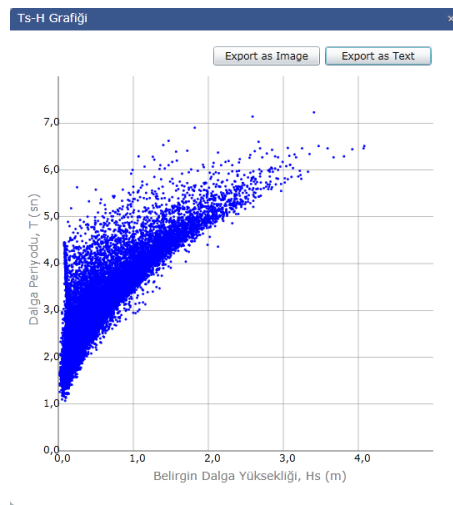
Yıllık dalga gülleri, belirgin dalga yüksekliğinin tüm yıl boyunca değişik yönlerden oluşma oranlarını göstermektedir. Dalgaların nereden geldiğini gösteren yön dilimleri, coğrafi yönlerle aynı seçilmiştir. Dalga yüksekliği 0.5 metreden küçükse, denizin durumu “sakin” olarak kabul edilmektedir. Bu durumda herhangi bir dalga yönü belirtilmemekte ve oluşma oranı dalga gülünün ortasındaki çember içinde verilmektedir. Şekil 12’de CEM metoduna dayalı yıllık ve mevsimsel dalga gülleri gösterilmektedir.



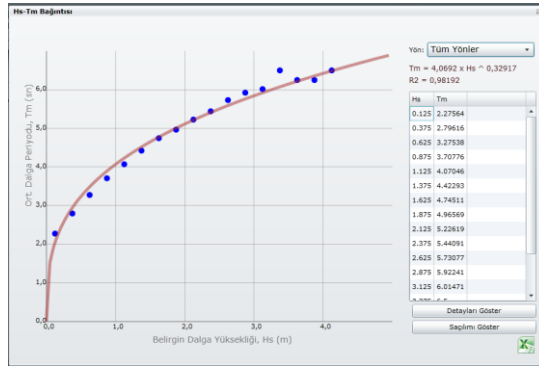
Şekil 12. Yıllık ve mevsimlik dalga gülü (CEM metodu) (HYDROTAM-3D,2019)

### 3.2.2. WAM Modelinin Uygulaması

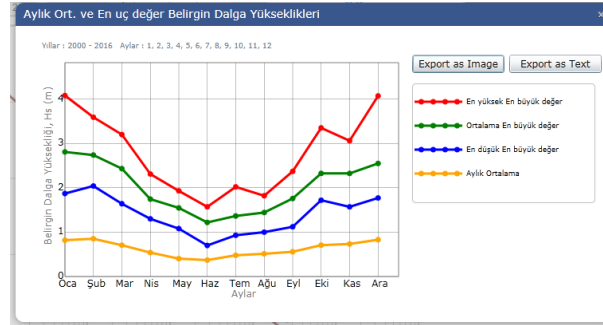
Belirgin dalga yükseklikleri ile dalga periyodu arasındaki ilişkiyi veren saçılma grafiği Şekil 13 ve dağılım grafiği Şekil 14’te gösterilmektedir. WAM Modeli ECMWF (40.3 N 26 E) için dalga modeli  $H_s-T$  saçılma grafiği  $H_s-T_s$  bağıntı grafiği Şekil 10’da verilmiştir. Şekil 15’de WAM modeline göre aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri gösterilmektedir. Şekil 16’da WAM modeline göre yıllık ve mevsimsel dalga gülleri gösterilmektedir.



Şekil 13.  $H_s-T$  Saçılma Grafiği (WAM modeli) (HYDROTAM-3D, 2019)



Şekil 14. Hs-Tm bağıntı grafiği (WAM modeli) (HYDROTAM-3D, 2019)



Şekil 15. WAM modeline göre aylık ortalama ve en uç değer belirgin dalga yükseklikleri (HYDROTAM-3D, 2019)



Şekil 16. Gökçeada için yıllık ve mevsimlik dalga gülü (WAM modeli) (40.3N-26E) (HYDROTAM-3D, 2019)

Gökçeada'da en sık rüzgar esen yön, meteoroloji verilerine göre NE, ECMWF verilerine göre NNE olarak gözlemlenmiştir. Meteoroloji istasyonu ölçümleri karasal ölçümlerdir, ancak ECMWF verileri denizel rüzgâr verileridir. Bu nedenle dalga iklimi çalışması yapılırken güvenilirlik açısından ECMWF verileri kullanılmıştır. Gökçeada dalga iklimi verilerinde iki model uygulanmıştır. Bunlardan birisi CEM ampirik metodu, diğeri ise sayısal metot olan WAM modelidir. Dalga gülüne bakıldığında WAM modelinde %50.8, CEM metodunda ise %16.2 sakin deniz koşulları olduğu görülmektedir. Bölgedeki belirgin dalga yüksekliği Haziran ayında minimum değerdeyken, Ocak-Şubat aylarında maksimum değeri yakalamaktadır. CEM ampirik metodu ve WAM modeli uzun dönem istatistik verilerine uygulandığında baskın dalga yönü NE olarak görülmektedir. Her iki yöntemin tahminleri uyum içindedir.

## 4. Sonuç

Kıyı mühendisliği uygulamalarının çoğu için rüzgâr ve dalga özelliklerinin incelenmesi gereklidir. Uygulamaların çoğu için uzun vadeli rüzgâr ve dalga verileri gerekir. Türkiye Kıyılarında dalga iklimi çalışmalarında kullanılabilecek uzun dönem ölçülmüş dalga verisi bulunmamaktadır. Bugün dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de dalga tahminleri, rüzgâr ölçümlerine ya da modellere dayanmaktadır. Bu çalışmada Gökçeada denizel alanının HYDROTAM-3D alt bölümleri kullanılarak rüzgâr ve dalga iklimi çıkarılmıştır. Gökçeada denizel alanı için elde edilen rüzgâr ve dalga iklimi tahminleri bölgedeki kıyı yapılarının tasarımında, kıyı mühendisliği problemlerinin çözümünde, kıyı bölgesinin rüzgâr ve dalga enerjisi potansiyellerinin belirlenmesinde, kamu kurumlarının kıyı alanları yönetimi planlamalarında kullanılabilecektir.

## Teşekkür

HYDROTAM-3D modeli için DLTM Yazılım Teknolojileri San. ve Tic. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederiz.

## Kaynakça

- Buyruk, T., (2019), *Türkiye Kıyılarındaki Rüzgâr ve Dalga İklimi ile Enerji Potansiyelinin CBS Tabanlı Elektronik Atlası*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Al-Sammarraie K., (2019), *A Comparative Study on the Wave Climate of Southern Aegean Coastline of Turkey.*, MSc Thesis, Atılım University, Institute of Science and Technology, Ankara, Turkey, 2019.
- Gökçeada Tanıtım web sitesi, (2019), [www.gokceada17.com/talkat/gokceada-hakkinda-genel-bilgi\\_1](http://www.gokceada17.com/talkat/gokceada-hakkinda-genel-bilgi_1).
- Googlemaps, (2019), <https://www.google.com/maps/place/G%C3%B6k%C3%A7eada%2F%C3%87anakkale/@39.7669856,25.9396144,8.77z/data=!4m5!3m4!1s0x14b02d44bc69c92b0xd4fbaaf8fe8a67f7!8m2!3d40.1621148!4d25.8285153>
- HYDROTAM-3D, (2019), 3-D Hydrodynamic Transport Model website, <http://hydrotam.com.2019>
- Yılmaz, N., (2018), Modeling of wind climate, wave climate and current pattern in Samsun Bay coastal waters, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(1), 279-297.
- Fidanoğlu Yıldırım, P. İnan, A., Balas, L., Yılmaz, N., Cebe, K., (2017), The need for the integration of land use planning and water quality modelling in the case of Fethiye Bay, *Journal of Polytechnic*, 20 (2), 427-435.
- Cebe, K., Balas, L., (2016), Water quality modelling in Kaş Bay, *Applied Mathematical Modelling*, 40 (3), 1887-1913.





# Havran Baraj Gölüne Dökülen Yüzeysel Akışın SWMM ile Tahmini\*

Kağan Cebe<sup>1\*\*</sup>, Asu İnan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1288-1362)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2569-2456)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf20)

**ATIF/REFERENCE:** Cebe, K. & İnan, A. (2020). Havran Baraj Gölüne Dökülen Yüzeysel Akışın SWMM ile Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 152-160.

## Öz

Yağışlardan dolayı meydana gelen yüzeysel akışın tahmin edilmesi, su kaynaklarıyla ilgili çalışmaların temelidir. Bu sebeple, yağış akış sürecinin benzetimi amacıyla MIKE, BASIN ve SWMM gibi modeller geliştirilmiştir. Yağış türü, miktarı, süresi, sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik faktörlerin yanında, havzadaki arazi kullanım türleri, toprak yapısı, eğim, drenaj güzergâhı ile havzada bulunan göl, rezervuar ve su yapıları gibi fiziksel faktörler de yüzeysel akışa etki eder. Bu çalışmada, 2002 yılında taşkın koruma amacıyla inşa edilmiş olan Havran barajını besleyen Havran çayının havzası (Balıkesir), sayısal yükseklik haritaları ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) araçları kullanılarak belirlenmiştir. Sayısal yükseklik modelleri (SYM/DEM), arazi şekli ve yükseltileri, akarsu drenajı, deseni ve çizgiselliklerini analiz etmek için kullanılmıştır. Drenaj havzası, fiziksel, hidrolojik ve arazi kullanımı parametrelerine göre bölümlendirilmiştir. Alt havzaların belirlenmesinde arazilerin, yükseklik modelleri ve jeolojik haritaları yanında güncel durumunu gösteren 2018 yılı CORINE sayısal haritaları da kullanılmıştır. Havzayı oluşturan alt bölümler sayısallaştırılarak, topografya akış yönü ve birikiminin tespit edilmesi ile yüzeysel akış miktarları hesaplanmıştır. EPA-SWMM, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı - Taşkın Yönetim Modeline göre yağış akış sürecinin modeli oluşturulmuştur. Model, alt havzayı uniform eğime sahip, ortalama genişlikte bir arazi olarak varsayarak, yüzeyde oluşan yüzeysel akışın drenaj havzasına aktarıldığı kabulleri ile hesap yapmaktadır. Buna göre yağış ile gelen su miktarından buharlaşma ve sızma sonucu oluşan kayıplardan sonra kalan miktarı yüzeysel akış eşitliklerinde kullanılmaktadır. Bölgedeki meteoroloji istasyondan elde edilen 5 yıllık veriler ile ortalama günlük yağış miktarları hesaplanmıştır. Sıcaklık, nem, buharlaşma gibi diğer meteorolojik veriler SWMM modelini oluşturmak için kullanılmıştır. Hazırlanan SWMM modeli kullanılarak oluşması muhtemel yüzeysel akış değerleri bu model ile belirlenmiş ve baraja dökülmesi muhtemel mevsimsel yüzeysel akış tahmini yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** SWMM, Yüzeysel Akış, CBS, SYM.

## Estimation of Surface Runoff to Havran Dam Lake by Using SWMM

### Abstract

Estimating the surface runoff due to precipitation is the basis of studies on water resources. Consequently, researchers have developed models such as MIKE, BASIN and SWMM, to simulate the precipitation and surface flow processes. Besides the meteorological factors such as precipitation type, amount, duration, temperature, humidity and wind, physical factors such as land use types, soil structure, drainage route and its slopes, lakes, reservoirs and the water structures in the basin also affect the surface flow. In this study,

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Nevşehir, Türkiye, ORCID: 0000-0003-1288-1362, [kcebe@nevsehir.edu.tr](mailto:kcebe@nevsehir.edu.tr)

the drainage basin of Havran dam, Balıkesir, which is built in 2002 for the purpose of flood protection, is drawn by using numerical altitude maps and geographic information systems (GIS) tools. The study uses digital elevation models (DEM) to analyze land shapes, elevations, stream patterns and lineaments. It divides the drainage basin into subcatchments according to spatial identifiers such as physical and hydrological data, and by taking into consideration land use parameters. In the determination of the subcatchments, CORINE numerical maps showing the land use status of year 2018 as well as SYM/DEM and geological maps are used. The surface flow rates are calculated via digitizing the topography of the subcatchments, flow direction and flow accumulation. A model of surface flow process is built by using EPA-SWMM, United States Environmental Protection Agency – Storm Water Management Model. The model assumes the subcatchment as a surface with uniform slope and average width. Accordingly, the remaining amount after evaporation and seepage losses from precipitation is the surface flow transferred to the drainage system. By using this model, the seasonal surface flow drained into the lake is simulated according to the rainfall intensity and other meteorological data such as temperature, humidity, evaporation obtained from the regional stations.

**Keywords:** SWMM, Surface Runoff, GIS, DEM.

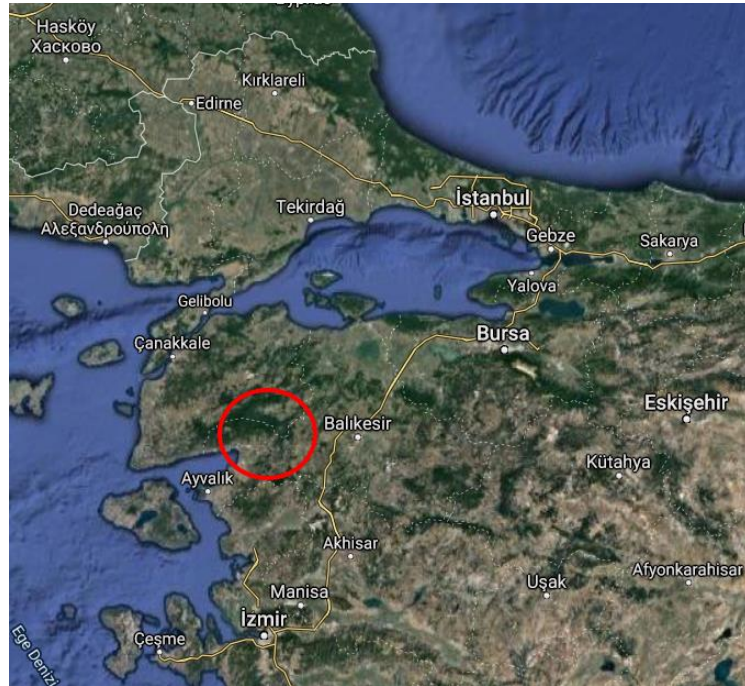
## 1. Giriş

Su kütlesini çevreleyen havzadaki arazilerde yağışlar ile birlikte oluşan yüzeysel akışlar yoluyla havzanın bağlı olduğu su kütlelerine ulaşır. Yüzeysel akışı, yağış türü, miktarı, süresi, sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi meteorolojik faktörlerin yanında, havzadaki arazi kullanım türleri, toprak yapısı, eğim, drenaj güzergâhı ile havzada bulunan göl, rezervuar ve su yapıları gibi fiziksel faktörler de belirler.

Literatürde ortaya konmuş çok sayıda yağış-taşkın modeli bulunmaktadır. US Soil Conservation Service tarafından geliştirilen SCS (soil complex cover) metodunda yüzeysel akış, taşkın katsayısı olarak tanımlanan bir katsayı yardımı ile hesaplanmaktadır (SCS, 1986; Chen, 1982). HEC, HEC-RAS, HSPF, BASINS, WMS gibi taşkın modellerinde ise yüzeysel akışın drenaj güzergâhının taşkının gecikmesindeki etkisi göz önüne alınmakta, birim hidrograf metodu gibi istatistiksel yaklaşımlar kullanılmaktadır (Nelson ve diğ., 1994; USEPA, 2019; Feldman, 1981). SWAT ve SWMM gibi kompleks taşkın modellerinde zamana bağlı olarak hesaplanan yüzeysel akış miktarı yanında arazi kullanımından kaynaklanan ve yüzeysel akışla birlikte taşınan kirletici miktarları da hesaplanabilmektedir (Daniel, 2011).

Havran çayı, Balıkesir ili sınırlarında Kaz dağları'nın güney yamaçları, Madra dağı'nın batı ve kuzey yamaçlarındaki derelerin birleşmesiyle oluşan ve Edremit Körfezi'nden Ege denizine dökülen, yıllık ortalama 86 hm<sup>3</sup>/yıl akışa sahip bir akarsudur (BİKTM, 2020; BÇŞİM, 2020). Havran Çayı'nın uzunluğu 36 km, vadi uzunluğu 44,5 km, havzasının çevresi 138 km, alanı 570 km<sup>2</sup>'dir (BİKTM, 2020). Havran çayı üzerinde 1528, 1904, 1958, 1964, 1968, 1980 ve 1981 yıllarında taşkın olayı görülmüştür (Özdemir ve Bird, 2009).

Havran Barajı (Şekil 1), 3.060ha'lık bir alana sulama hizmeti vermek ve taşkından koruma amacı ile inşa edilmiştir. Baraj, Havran çayı üzerinde kurulmuş, kil çekirdekli kaya gövde dolgu tipinde bir barajdır. Barajın inşaatına 1995 yılında başlanmış ve 2010 yılında tamamlanmıştır Barajın, talvegten yüksekliği 64m'dir. Normal su kotunda göl hacmi 66hm<sup>3</sup>, göl yüzey alanı ise 3,15 km<sup>2</sup>'dir (BÇŞİM, 2020).



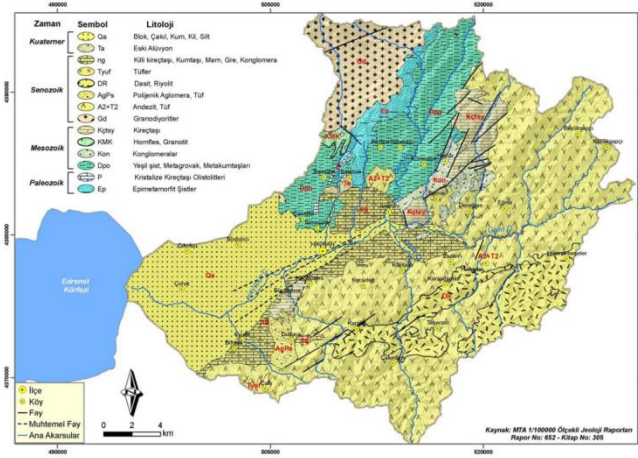
Şekil 1. Havran barajı konumu (Googlemaps, 2020)





## 2.2. Jeolojik Yapı

Ağıl ve Gelin deresinin aktığı alt havza çoğunlukla andezit ve tüf türü kırıklı ve gevşek yapıda kayalardan oluşmaktadır. Değirmen ve Pınar deresi alt havzasında, andezit ve tüf oluşumları yanı sıra, killi kireçtaşı, kumtaşı ve marn türü zeminlere rastlanılmaktadır. Kabaklık ve Tosun deresi alt havzasında yer yer dasit ve riylit türü yapılar bulunmaktadır (MTA, 1989). Havzanın jeolojik haritası Şekil 4'de gösterilmektedir.

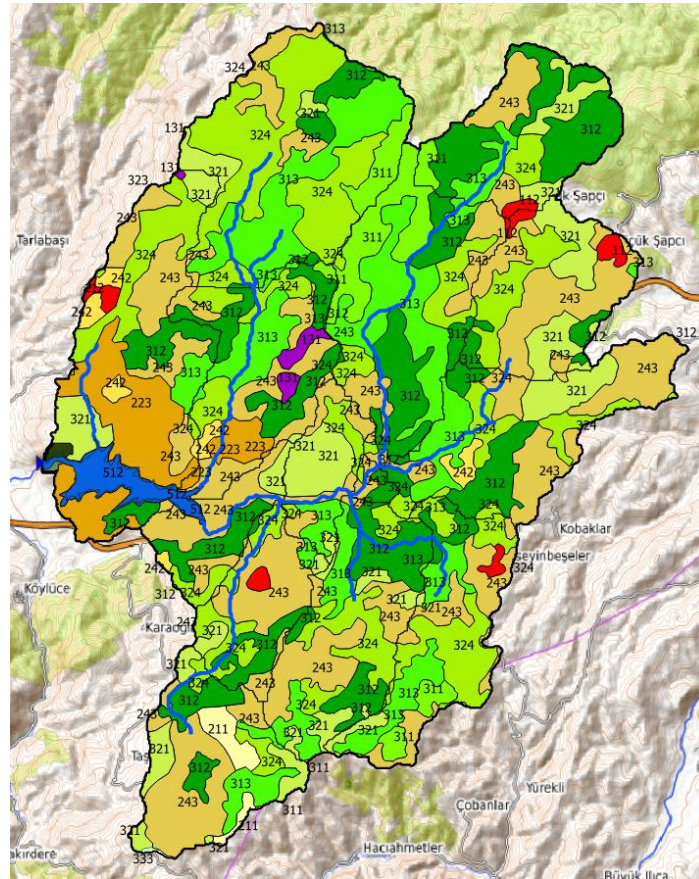


Şekil 4. Havzanın jeoloji haritası (MTA, 1989)

## 2.3. Arazi Kullanım Türleri

Yüzeysel deşarjların ve akarsuların havzalarını oluşturan alanların belirlenmesinde arazilerin güncel durumunu gösteren 2018 yılı CORINE sayısal haritaları kullanılmıştır (EEA, 2018). Alt havzalardaki arazi kullanım biçimleri Şekil 5.'de gösterilmektedir.

CORINE verileri kullanılarak yapılan çalışmaya göre Havran baraj gölüne ait 18.785,12 ha'lık havzada, ormanlık ve yarı doğal alanların toplamı 12.402,71ha, tarım alanlarının toplamı 6.125,23ha, şehir yapıları ve maden sahalarının toplamı ise 257,18ha olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5. Arazi kullanım haritası (EEA, 2018)

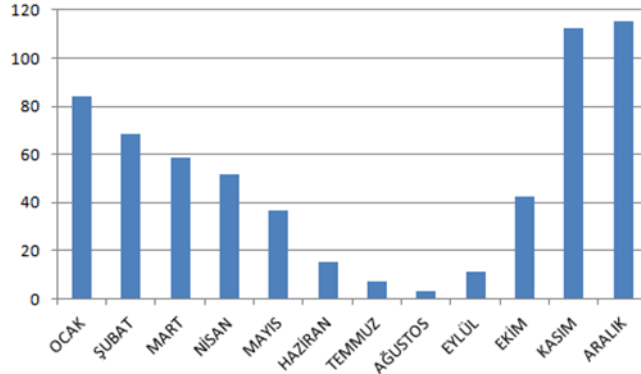
Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları havzanın %26,25'ini, bitki değişim alanları %19,78'ini, iğne yapraklı ormanlar ise %17,17'sini kapladığı görülmüştür. Havzadaki arazi kullanım türleri Tablo.1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Havzadaki arazi kullanım türleri (EEA, 2018)

Düzye 3	CORINE kodu	Alan (ha)	Yüzde %	Sembol rengi
Kesikli şehir yapısı	112	174,43	0,93	
Maden çıkarım sahaları	131	82,74	0,44	
Sulanmayan ekilebilir araziler	211	141,57	0,75	
Zeytinlikler	223	859,94	4,58	
Karışık tarım alanları	242	193,51	1,03	
Doğal bitki örtüsü ile bulunan tarım alanları	243	4930,21	26,25	
Geniş yapraklı ormanlar	311	706,87	3,76	
İğne yapraklı ormanlar	312	3224,76	17,17	
Karışık ağaç ormanları	313	2748,17	14,63	
Doğal çayırliklar	321	1756,65	9,35	
Sklerofil bitki örtüsü	323	0,47	0,00	
Bitki değişim alanları	324	3715,75	19,78	
Seyrek bitki alanları	333	3,85	0,02	

## 2.4. Meteorolojik Verilerin Derlenmesi

Bölge yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğüne bağlı Burhaniye meteoroloji istasyonundan temin edilen veriler ile 5 yıllık ortalama yağış miktarları hesaplanmıştır.



Şekil 6. Ortalama Aylık Yağış (mm)

Baraj gölü havzasının batısında bulunan Burhaniye istasyonundan elde edilen veriler ile bölgeye ait 5 yıllık ortalama sıcaklık ve buharlaşma miktarları hesaplanmıştır. Tablo 2'de aylık ortalama sıcaklık ve buharlaşma miktarları gösterilmektedir.

Tablo 2. Ortalama Sıcaklık (°C) ve Ortalama Buharlaşma (mm)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Ort. Sıcaklık	6,8	6,9	9,4	14,5	17,8	24,2	27,5	26,7	22,8	16,5	11,4	8,6
Ort. Buharlaşma	-	-	-	3,30	5,23	8,07	9,99	9,25	6,13	3,17	1,40	1,18

## 2.5. Akım Verileri

Gelin deresi üzerinde Havran barajının bugün bulunduğu mevkide (27° 11' 25''D ve 39° 34' 20''K), 1969 yılından 2003 yılında barajın inşasına kadar 408 nolu akarsu gözlem istasyonu (AGI) ölçüm yapmıştır. 408 nolu AGI'den elde edilen 30 yıllık akış debilerine ait aylık ortalama değerler Tablo 4'de verilmiştir.



Tablo 3. Aylık Ortalama Debi (m<sup>3</sup>/s)

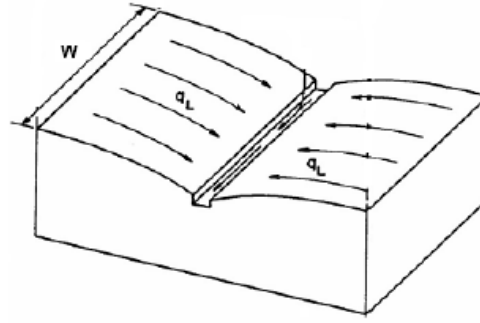
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Aylık Ortalama Debi (m <sup>3</sup> /s)	2,0459	2,4779	1,9946	1,3642	0,6179	0,2245	0,0102	0,0031	0,0040	0,0807	0,4768	1,9530

## 2.6. SWMM ile Yüzeysel Akışın Modellenmesi

SWMM modeli ile yağışta yere düşen miktarın (yağmur suyu ve/ veya kar) sızma, buharlaşma gibi süreçlerden kalan miktarının yüzeysel akış ile drenajının hesabı yapılmaktadır. SWMM ile yağışın toplandığı havza birden fazla düzensiz şekilli alt-havzaya bölünebilmekte ve bu şekilde alt-havzalara farklı hidrolojik, hidrolik ve kullanım amacı atanabilmektedir.

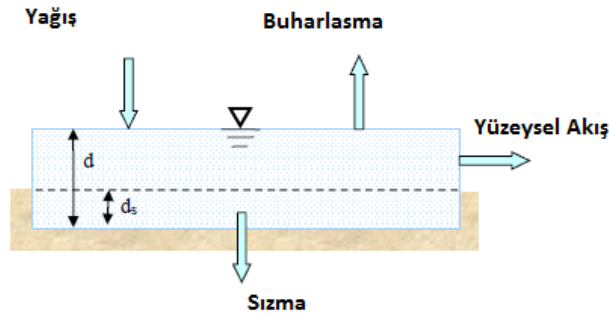
SWMM yüzeysel akışın hesabı için doğrusal olmayan bir rezervuar modeli kullanır. Doğrusal olmayan rezervuar modeli tanımına göre alt-havzada yağış (yağmur, kar vb.) ile gelen su miktarında buharlaşma ve sızma ile kayıplardan sonra kalan miktarının göllenme oluşturduğu kabulü yapılmaktadır. Alt-havzada oluşan göllenmedeki suyun baskılanan depolama derinliği üzerinde kalan kısmı yüzeysel akışa geçmektedir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi model, alt-havzayı uniform S eğimine sahip, W ortalama genişliğinde bir arazi olarak varsayarak, yüzeyde oluşan yüzeysel akışın bir drenaj havzasına aktarıldığı kabulleri ile hesap yapmaktadır.



Şekil 7. İdeal Alt-Havza (Rossman, 2015)

Doğrusal olmayan rezervuar modeli (Şekil 8.) tanımına göre alt-havza yağış (yağmur, kar ve diğ.) ile gelen su miktarında buharlaşma ve sızma ile kayıplardan sonra kalan miktarının d derinliğinde göllenme oluşturduğu kabulü yapılmaktadır. Alt-havzada oluşan göllenmedeki suyun baskılanan depolama derinliği (d\_s) üzerinde kalan kısmı yüzeysel akışa geçmektedir.



Şekil 8. Doğrusal Olmayan Alt-havza Rezervuar Modeli (Rossman, 2015)

Kütlenin korunumu denkleminde göre t zamanında d derinliğindeki net değişim, alt-havzadaki girdilerin ve çıktıların arasındaki farka eşittir. Bu eşitlik ile ifade edilmektedir (Rossman, 2015).

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - g \quad (1)$$

Burada tüm değişkenler birim alan için olmak üzere, i yağış hızı (mm/s), e yüzeysel buharlaşma hızı (mm/s), f sızma hızı (mm/s), q yüzeysel akış hızı (mm/s)'dir. Alt-havza yüzeyindeki akışın, W genişliğinde ve S eğimine sahip dikdörtgen kesitli kanal içerisinde (d-d\_s) yüksekliğindeki uniform bir akım gibi davrandığı varsayımı yapılmaktadır. Bu akıma ait debisi Manning eşitliği ile aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{1}{n} S^{1/2} R^{2/3} A_x \quad (2)$$

Bu denklemde Q yüzeysel akış debisi (m<sup>3</sup>/s), S ortalama arazi eğimi (m/m), R hidrolik yarıçap (m), A<sub>x</sub> kanal kesit alanıdır (m<sup>2</sup>) ve Ax = W. (d-d<sub>s</sub>) şeklinde ifade edilebilir. Birim alan için hesaplanan q debisi ise aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir.

$$q = \frac{w \cdot s^{1/2}}{A \cdot n} (d - d_s)^{5/3} \quad (3)$$

Eşitlik kütle korunumu denkleminde yerine konulduğunda aşağıdaki hali almaktadır.

$$\frac{\delta d}{\delta t} = i - e - f - \frac{w \cdot s^{1/2}}{A \cdot n} (d - d_s)^{5/3} \quad (4)$$

Eşitlik (4) doğrusal olmayan bir diferansiyel eşitliktir ve bilinen i, e, f, ds, W, S, A ve n parametreleri için her zaman adımı için d derinliği sayısal olarak SWMM modeli içerisinde çözülmektedir (Rossman, 2015).

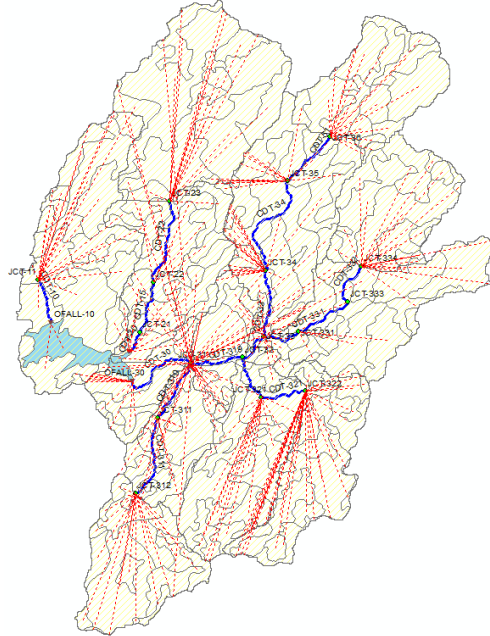
## 2.6. Hidrolik ve Hidrolojik Parametreler

Arazideki hidrolojik hesap birimleri, havzanın jeolojik yapısı, CORINE arazi kullanım türleri ve topografyaya göre belirlenmiştir. Hidrolojik hesap birimlerine ait hidrolik parametreler literatür araştırmalarına göre ortalama değerler olarak tespit edilmiştir. Tablo 4'de arazi kullanım türüne göre SWMM modelinde atanan geçirimsiz alan yüzdeleri bulunmaktadır.

Tablo 4. Arazi Kullanımına Göre Geçirimsiz Alanlar

	Geçirimsiz alanların yüzdesi (%) (USEPA, 2014)	Depolama olmayan geçirimsiz alanlar (%)	Geçirimsiz alanların Manning katsayısı (Yen, 2001)	Geçirimli alanların Manning katsayısı (Yen, 2001)	Geçirimsiz alanların depolama yüksekliği (mm)	Geçirimli alanların depolama yüksekliği (mm)
Kesikli şehir yapısı	51	25	0,030	0,075	1,27	2,54
Maden çıkarım sahaları	10	25	0,030	0,032	1,27	5,08
Sulanmayan ekilebilir araziler	2	10	0,030	0,12	1,27	7,62
Tarım alanları ve zeytinlikler	2	10	0,030	0,055	1,27	5,08
Ormanlar ve bitki değişim alanları	1,9	10	0,030	0,35	1,27	7,62

Bölgede yüzeysel akışın gerçekleştiği drenaj güzergâhları topografik haritalar üzerinde tespit edilerek SWMM programında işlenmiş, GIS üzerinden yaklaşık uzunlukları belirlenerek kaydedilmiştir (Şekil 9.)



Şekil 9. Yüzeysel Akımların Toplanma Noktaları, Drenaj Güzergâhları ve Deşarj Noktaları

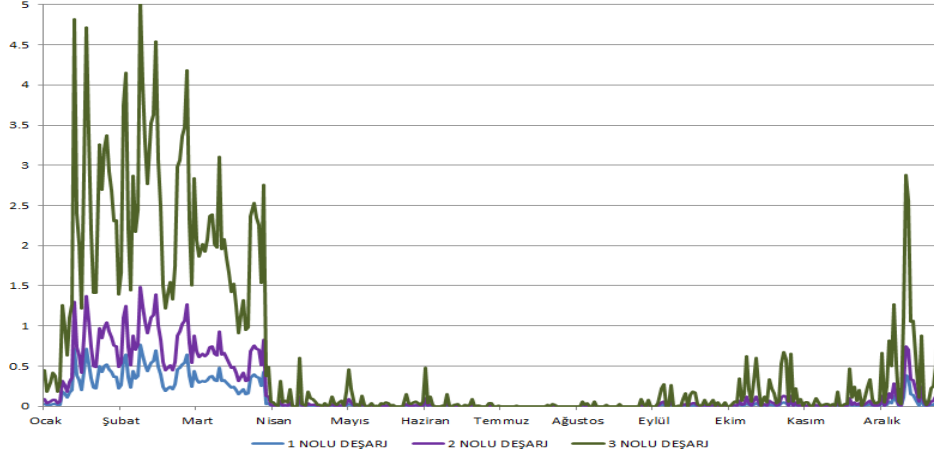
## 3. Bulgular

Havran baraj gölüne ait havza üzerinde SWMM modeli ile bir yıllık bir simülasyon yapıldığında yıl boyunca toplam 754,39mm yağış gerçekleştiği görülmüştür. Tüm havzada toplam yağışın 65.183,34m<sup>3</sup>'lük kısmı ise yüzeysel akışa geçmektedir. 1, 2 ve 3 nolu Deşarj noktalarından baraj gölüne deşarj edilen yüzeysel akışların yıllık ortalama ve maksimum değerleri Tablo 5'de sunulmaktadır.

Tablo 5. SWMM Modeli Yüzeysel Akışlar

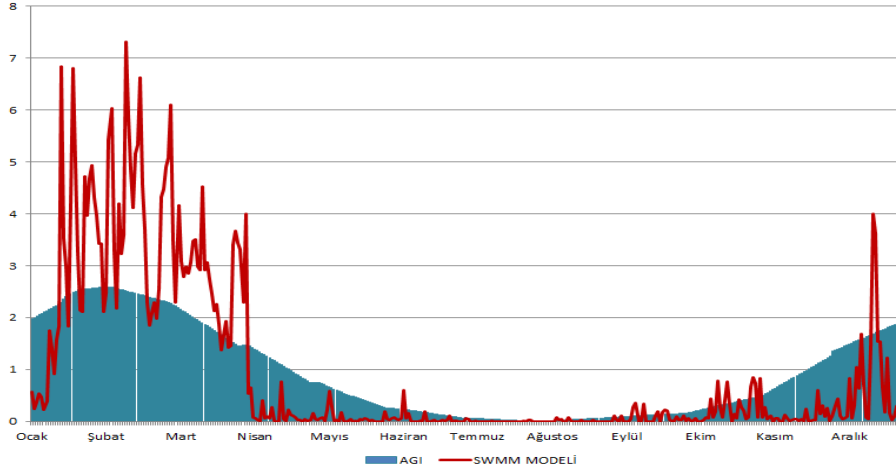
Deşarj Noktası	Maks. Debi (m <sup>3</sup> /s)	Ort. Debi (m <sup>3</sup> /s)
1	0,763	0,097
2	1,485	0,202
3	5,064	0,675

Pınar deresinin göle döküldüğü Deşarj 1’de maksimum debi 0,763m<sup>3</sup>, Değirmen deresinin deşarj noktası olan Deşarj 2’de 1,485 m<sup>3</sup>, en büyük alt havzaı içeren ve 3 adet kolu bulunan Gelin deresinin döküldüğü Deşarj 3 noktasında ise maksimum 5,064m<sup>3</sup> debi oluştuğu hesaplanmıştır. Yüzeysel akışların deşarj noktalarında hesaplanan debilere ait zaman grafiği Şekil 10’da sunulmaktadır.



Şekil 10. 1, 2,3 Nolu Deşarj Noktalarındaki Deşarj Miktarları

Ortalama yağış verileri ile SWMM modeli aracılığıyla hazırlanan modele göre Havran baraj gölüne dökülen ortalama yüzeysel akış, AGI’nin 30 yıllık ortalama ölçüm değerleri ile Şekil 11’de kıyaslanmıştır.



Şekil 11. Baraja Deşarj Edilen Toplam Yüzeysel Akış

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada Havran baraj gölüne ait havza SRTM sayısal yükseklik haritalarıyla belirlenmiş, yüzeysel akışları göle deşarj eden akarsulara ait güzergâhlar sayısal haritalara işlenmiştir. Bölgenin yağış, sıcaklık ve buharlaşma değerleri, Burhaniye meteoroloji istasyonundan temin edilen verilerin 5 yıllık ortalamaları alınarak elde edilmiştir. Baraj gölüne dökülen yüzeysel akış miktarının tespiti için havza, bölgenin topografik durumu, jeolojik yapısı ve arazi kullanım biçimlerine göre oluşturulan hidrolojik birimlere ayrılmıştır. SWMM yazılımı kullanılarak tüm havza için hidrolojik işlem birimleri tanımlanarak bir yıllık simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonucunda modelden hesaplanan yüzeysel akışlar, bölgede bulunan AGI verileri ile karşılaştırılmış ve mevsimsel ortalama değerlere yakın olduğu tespit edilmiştir.

CBS yöntemleri kullanan SWMM gibi hidroloji ve taşkın yazılımları, geniş havzalarda yapılacak hidrolojik hesapların değerlendirilmesi açısından pratik bir araç sağlamaktadır. Bu tür modellemelerde ihtiyaç duyulan veriler bölgesel meteoroloji istasyonlarından sağlanabilmektedir. Alana ait hidrolik parametrelerin değerlendirilmesi açısından sayısal CORINE arazi kullanım haritalarından yararlanılmıştır. Arazi kullanım biçimlerine dayalı olarak hidrolojik değişkenlerin tanımlanması modelleme sırasında pratik bir yaklaşım sağlamaktadır.

## Kaynakça

- ASCE, American Society of Civil Engineers. (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems*, New York, USA.
- BÇŞİM, Balıkesir Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. (2020). Balıkesir İli 2018 Yılı Çevre Durum Raporu, Balıkesir Valiliği, Mayıs 2019. Erişim tarihi: 12 Şubat 2020, [https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bal-kes-r\\_2018\\_cdr\\_rev-ze-20190807131228.pdf](https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bal-kes-r_2018_cdr_rev-ze-20190807131228.pdf)
- BİKTİM, Balıkesir İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü. (2020). Fiziki Özellikler, Erişim tarihi: 12 Şubat 2020. <https://balikesir.ktb.gov.tr/TR-65836/fiziki-ozellikler.html>.
- Chen, C. L. (1982). “An evaluation of the mathematics and physical significance of the Soil Conservation Service curve number procedure for estimating runoff volume”, *Proc., Int. Symp. on Rainfall Runoff Modeling*, Water Resources Publ., Littleton, Col., 387–418.
- Daniel, E. (2011). “Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review”, *The Open Hydrology Journal*, 5: 26-50. DOI: 10.2174/1874378101105010026.
- EEA, European Environment Agency. (2018). Corine Land Cover 2018 (Version 20), Copenhagen, Denmark.
- Feldman, A.D. (1981). “HEC Models for Water Resources System Simulation: Theory and Experience”, *Advances in Hydroscience*, ed. Chow, V. T., 12: 297-423, New York. DOI: 10.1016/B978-0-12-021812-7.50010-9
- Googlemaps. (2020). [Online]. Available: <https://www.google.com/maps/place/Havran+Baraj%C4%B1/@39.5747409,27.1703675,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x14b0cad2b8e48bc3:0x737eb8483383274a!8m2!3d39.5747368!4d27.1725562>
- MTA, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. (1989). *1:100000 Ölçekli Açın-sama Nitelikli Türkiye Jeoloji Haritaları Serisi, Ayrılık – G3 Paftası*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- NASA. (2020). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Collection User Guide, Available: [https://lpdaac.usgs.gov/documents/13/SRTM\\_Quick\\_Guide.pdf](https://lpdaac.usgs.gov/documents/13/SRTM_Quick_Guide.pdf)
- Nelson, E.J., Jones, N.L., and Miller, A.W. (1994). “An algorithm for precise drainage basin delineation”, *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 120 (3): 298-312.
- Özdemir, H. and Bird, D. (2009). “Evaluation of Morphometric Parameters of Drainage Networks Derived from Topographic Maps and DEM in Point of Floods”, *Environmental Geology*, 56: 1405–1415. DOI: 10.1007/s00254-008-1235-y
- Rossman, L. A. (2015). *Stormwater Management Model Reference Manual, Volume-I Hydrology*, USEPA, EPA/600/R-15/162.
- SCS, Soil Conservation Service. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*, Tech., rel.55, Washington, DC, USA.
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (2014). *Estimating Change in Impervious Area (IA) and Directly Connected Impervious Areas (DCIA) for New Hampshire Small MS4 Permit*. Small MS4 Permit Technical Support Document, USEPA Region I, Boston, MA, USA. Available: <http://www.epa.gov/region1/npdes/stormwater/nh/NHDCIA.pdf>
- USEPA, United States Environmental Protection Agency. (2019). BASINS 4.5 (Better Assessment Science Integrating point & Non-point Sources) Modeling Framework, National Exposure Research Laboratory, RTP, North Carolina.
- Yen, B.C. (2001). “Hydraulics of Sewer Systems”, *Chapter 6 in Stormwater Collection Systems Design Handbook*, L.M. Mays, ed., McGraw-Hill, New York, USA.



# LSTM Hiperparametrelerinin Ses Tanıma Performansına olan Etkilerinin Araştırılması\*

Yeşim Dokuz<sup>1†</sup>, Zekeriya Tüfekçi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Computer Engineering Department, Nigde Omer Halisdemir University, Nigde, Turkey (ORCID: 0000-0001-7202-2899)

<sup>2</sup> Computer Engineering Department, Cukurova University, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0001-7835-2741)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf21)

**ATIF/REFERENCE:** Dokuz, Y., & Tüfekçi, Z. (2020). Investigation of the Effect of LSTM Hyperparameters on Speech Recognition Performance. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 161-168.

## Öz

Bilgisayara dayalı hesaplamalı metotlar ve donanım teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte, bilgisayarlar ses tanıma ve görüntü işleme gibi zor görevlerin üstesinden gelme konusunda daha güçlü hale gelmiştir. Ses tanıma, hesaplamalı veya analitik yöntemler kullanarak ses sinyallerinin metinsel karşılığını çıkarma görevidir. Ses tanıma aksanlar ve diller arasındaki değişkenlikler, güçlü donanım gereksinimleri, doğru modellerin üretilmesi için büyük veri setlerine olan ihtiyaç ve ses kalitesini etkileyen çevresel faktörlerden dolayı zor bir problemdir. Son yıllarda, Grafıksel İşleme Birimleri gibi donanım cihazlarının yükselen veri işleme yetenekleri yardımıyla derin öğrenme metotları, özellikle Özyinelemeli Sinir Ağları (ÖSA – Recurrent Neural Networks, RNN) ve RNN'in bir varyantı olan LSTM (Long Short Term Memory – Uzun Kısa Dönem Hafıza), ses tanıma alanında çok yaygın ve kabul gören metotlar haline gelmişlerdir. Literatürde, RNN ve LSTM ses tanıma ve ses tanımanın uygulamaları için katman sayısı, gizli katman sayısı ve yığın boyutu gibi çeşitli parametrelerle kullanılmaktadır. Kullanılan bu parametre değerlerin hangi kriterlere göre seçildiği ve bu parametre değerlerinin daha sonraki çalışmalarda da kullanılabilirliği ise incelenmemiştir. Bu çalışmada, LSTM hiperparametrelerinin ses tanıma performansına olan etkileri hata oranları ve derin mimari maliyeti dikkate alınarak incelenmiştir. Her bir parametre ayrı olarak değerlendirilmiş ve bu esnada diğer parametreler sabit tutulmuş ve parametrelerin ses verisi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlarda, daha düşük hata oranları ve daha iyi ses tanıma performansı elde edebilmek için her parametrenin seçilen eğitim seti için farklı değerlere sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, LSTM için en uygun parametrelerin seçilmesinden önce ses veri kümesi üzerinde farklı deneyler yapılarak her bir parametre için en uygun değer bulunması gerektiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ses tanıma, Derin Öğrenme, RNN, LSTM, LSTM hiperparametreleri

## Investigation of the Effect of LSTM Hyperparameters on Speech Recognition Performance

### Abstract

With the recent advances in hardware technologies and computational methods, computers became more powerful for analyzing difficult tasks, such as speech recognition and image processing. Speech recognition is the task of extraction of text representation of a speech signal using computational or analytical methods. Speech recognition is a challenging problem due to variations in accents

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Nigde Omer Halisdemir University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Nigde, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7202-2899, [vtorun@ohu.edu.tr](mailto:vtorun@ohu.edu.tr)



and languages, powerful hardware requirements, big dataset needs for generating accurate models, and environmental factors that affect signal quality. Recently, with the increasing processing ability of hardware devices, such as Graphical Processing Units, deep learning methods became more prevalent and state-of-the-art method for speech recognition, especially Recurrent Neural Networks (RNNs) and Long-Short Term Memory (LSTMs) networks which is a variant of RNNs. In the literature, RNNs and LSTMs are used for speech recognition and the applications of speech recognition with various parameters, i.e. number of layers, number of hidden units, and batch size. It is not investigated that how the parameter values of the literature are selected and whether these values could be used in future studies. In this study, we investigated the effect of LSTMs hyperparameters on speech recognition performance in terms of error rates and deep architecture cost. Each parameter is investigated separately while other parameters remain constant and the effect of each parameter is observed on a speech corpus. Experimental results show that each parameter has its specific values for the selected number of training instances to provide lower error rates and better speech recognition performance. It is shown in this study that before selecting appropriate values for each LSTM parameters, there should be several experiments performed on the speech corpus to find the most eligible value for each parameter.

**Keywords:** Speech recognition, Deep learning, RNNs, LSTMs, LSTMs hyperparameters.

## 1. Introduction

Speech recognition is the task of extraction of a textual transcription of an uttered speech by a computation process (Yu and Deng, 2016). Speech recognition is an important interdisciplinary area that combines linguistics, natural language processing, computer science, signal processing, and electrical engineering. Speech recognition has various application areas, such as voice interface systems, speaker identification, speech-to-text processing, and text-to-speech conversion.

Speech recognition is a challenging task due to several reasons. First of all, developing a unified model for all speakers from all accents of a language is a difficult problem. Second, speech recognition systems require powerful computational infrastructures. Third, more data are needed for achieving a good recognition accuracy, however, generating new datasets for new languages is costly. Fourth, background noise, microphone quality, speaker variations and other factors affect speech recognition systems. Deep learning systems are gained much attention to answer many of these challenges.

Deep learning is a set of algorithms that model high-level abstractions in data by using deep graphs with multiple transformations (Yu and Deng, 2016). Deep learning gained attention in scientific domains when Graphical Processing Units (GPUs) became more powerful and have high performance on computation tasks. Deep learning systems with GPUs processing abilities are being standard processing systems for complex tasks, such as speech recognition, image processing, and natural language processing.

In speech recognition, deep learning systems are utilized in acoustic model generation, feature extraction phase, and language model generation parts. Recurrent Neural Networks (RNNs) and Long Short Term Memory (LSTMs) networks which is a variant of RNNs became a state-of-the-art method in deep learning based speech recognition due to their sequential processing ability.

RNNs is one of the deep learning architectures which is efficient in processing sequential data inputs, like time series, or speech signals (Graves *et al.*, 2013). RNNs processes one input at a time and generates results at every time step. Fig. 1 presents a sample structure of an RNNs architecture. However, training RNNs is problematic because of the exploding or vanishing gradient problem at back-propagation process. To overcome this limitation, Long Short Term Memory (LSTMs) structure is proposed.

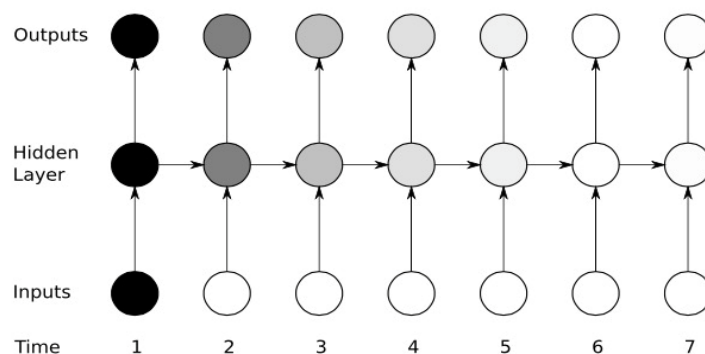


Fig. 1 Basic structure of RNNs

LSTMs is a special kind of RNN architecture which is capable of forgetting previous inputs that is not useful for current output (Graves *et al.*, 2013b). For defining usefulness of previous inputs, LSTMs proposes three gates to the network structure, input, forget and output gates. These gates carry several information between time steps and with the help of these gates exploding or vanishing gradient problem can be solved. LSTMs are also successfully applied in speech recognition tasks.

The application of RNNs and LSTMs in speech recognition has a wide range of variety. Many previous studies used RNNs and LSTMs for calculation of posterior probabilities which is performed by Gaussian mixture model (GMM) in classical speech recognition systems and have complexity in model generation. Recently, end to end systems gained attention in deep learning based speech recognition systems which use deep learning architectures at each part of speech recognition task.

In the literature, many studies are present for speech recognition using deep learning architectures. The most used architectures are RNNs and Convolutional Neural Networks (CNNs), but other architectures, such as Deep Neural Networks (DNNs), Deep Belief Networks (DBNs), and Deep Auto Encoder (DAE), are also used. In speech recognition using RNNs, Graves et al. (2013) proposed a deep recurrent neural network that uses LSTMs architecture that has 1 to 5 hidden layers. Miao et al. (2015) proposed an end-to-end speech recognition system that uses weighted finite-state transducers (WFSTs) and bidirectional LSTMs deep architecture. Hori et al. (2017) investigated the impact of RNNs language models on the performance of end-to-end speech recognition with character-based and word-based language models. Wang et al. (2019) proposed an RNN-T (RNN Transducer) method for Chinese Large Vocabulary Continuous Speech Recognition (LVCSR) to simplify training process and achieve good performance. Liu et al. (2018) proposed a limited-memory Broyden Fletcher Goldfarb Shannon (L-BFGS) optimization technique for RNNs language models to handle slow convergence of stochastic gradient descend optimization. He et al. (2019) investigated the use of end-to-end speech recognition with RNNs transducer for on-device streaming speech recognition tasks. Sainath et al. (2019) improved the performance of He et al. (2019) by using a two pass deep architectures. Gao et al. (2019) proposed and described a speech recognition hardware system that uses a delta RNNs accelerator (DeltaRNN) that is implemented on a Xilinx Zynq-7100 FPGA device to enable low latency RNNs computation. Toshniwal et al. (2018) proposed a single end-to-end speech recognition system that works on 9 different Indian languages. Lee et al. (2018) presented methods to accelerate RNNs language models for online speech recognition systems.

When the literature studies are analyzed, all of them have different configurations, optimization algorithms, and architectures for deep learning systems. Besides, all of these studies select hyperparameters for deep learning architecture based on their computation power. Thus, real effect of deep learning architectures on speech recognition performance is not easily observed from the literature. In this study, we investigated the effect of RNNs LSTMs hyperparameters on speech recognition performance. In particular, batch size, number of layers, number of hidden units, and number of epochs are evaluated on accuracy of speech recognition system.

The rest of this study is organized as follows. Section 2 presents the speech recognition problem, RNNs and LSTMs deep learning architectures, LSTMs hyperparameters, and the speech corpus. Section 3 presents the experimental results and discussion. Section 4 presents the conclusions.

## 2. Materials and Methods

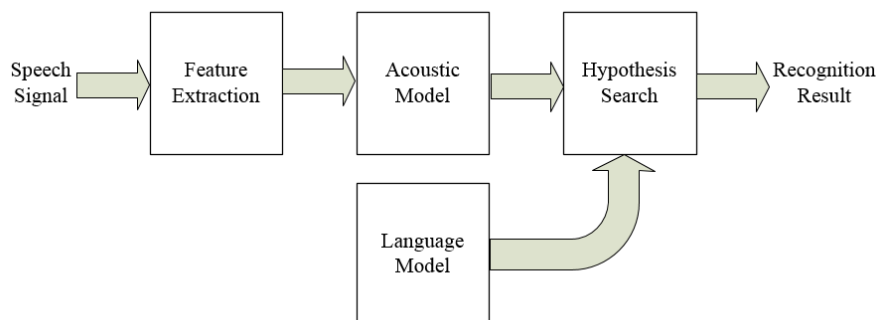
In this section, first speech recognition problem is presented. Then, RNNs and LSTMs are introduced and LSTMs hyperparameters are presented. Finally, the speech corpus that is used in this study is presented.

### 2.1. Speech Recognition Problem

Speech recognition is the task of generating a textual transcription of an audio signal recorded from a speaker (Yu and Deng, 2016). Speech recognition systems became more prevalent in daily life of people with the increase of success rates of these systems. Speech recognition has many application areas, including voice interface systems, keyword search systems, data entry tasks, speaker identification, speech-to-text processing, and text-to-speech conversion, mobile applications, personal assistants, and digital annotation systems.

Speech recognition is challenging due to several reasons. First, speech recognition systems require big speech corpuses which include many accents of the languages. However, current speech corpuses are for only limited number of languages and accents. Second, speech recognition systems require powerful computational infrastructures to be able to analyze huge amount of speech data. Third, more data are needed for achieving a good recognition accuracy, however, generating new datasets for new languages is costly. Fourth, speech signals are complex and have many distorting factors, such as background noise, microphone quality, speaker based variations.

Speech recognition systems have three main steps (Yu and Deng, 2016). In first step, feature extraction process is performed on raw audio signals. Noise removal, signal conversion to feature domain, and feature extraction are performed in feature extraction. In second step, acoustic model and language model are processed. Acoustic model takes extracted features as inputs and generates an acoustic model score for variable-length feature space. Language model estimates language model score for the words in training corpus. In third step, hypothesis search combines acoustic model score and language model score to generate final score and text transcription of the audio signal. The basic speech recognition steps are presented in Figure 2.



*Fig. 2 Steps of speech recognition*

Traditional speech recognizers are based on hidden Markov models (HMMs) with Gaussian mixture model (GMM) emission distributions, n-gram language models, and use beam search for decoding. HMM acoustic models assume that all audio frames are independent given the hidden sequence. Also, GMM could have a very high number of Gaussians and this impacts the recognition model to be very complex. For these reasons and recent success of deep learning architectures, speech recognition systems started using deep learning architectures, especially Recurrent Neural Networks, rather than GMM HMM systems.

**2.2. Recurrent Neural Networks (RNNs)**

Recurrent Neural Networks (RNN) is a type of deep learning architectures which is capable of handling large sequential inputs (Graves *et al.*, 2013). Main idea behind RNN is to extract outputs of current time step based on current input and previous inputs with weighted manner. this approach is beneficial for several tasks which needs information about previous inputs, such as speech recognition, natural language processing. The weights of input-to-hidden, hidden-to-hidden, and hidden-to-output do not change along the network.

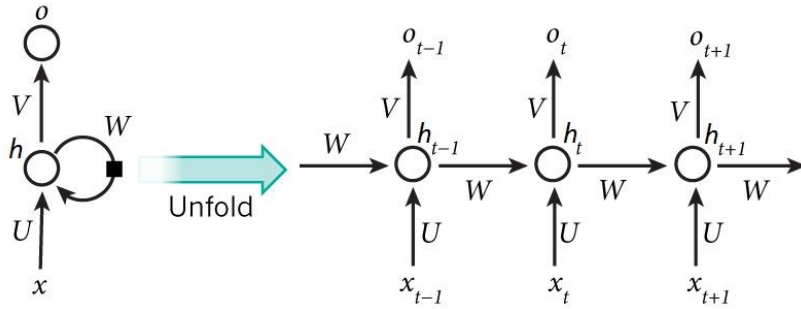


Fig. 3 An RNN (left) and unfolded over time (right)

Fig. 3 presents an RNN architecture which is unfolded over three time instances.  $x$ ,  $h$  and  $o$  are input, hidden state and output vectors and  $U$ ,  $W$  and  $V$  are weights of input, previous hidden states and current hidden state values, respectively.  $h_t$  and  $o_t$  are calculated based on (1) and (2).  $\sigma_h$  and  $\sigma_o$  are activation functions of hidden state and output vectors which regulate effect of input and hidden state instances.  $b_h$  and  $b_o$  are biases of hidden state and output vectors.

$$h_t = \sigma_h(Ux_t + Wh_{t-1} + b_h) \tag{1}$$

$$o_t = \sigma_o(Vh_t + b_o) \tag{2}$$

There are several things to note in RNN architecture. First is, hidden state of the nodes,  $h_t$  in this case, is the memory of the network which passes information through time steps. Second,  $U$ ,  $W$  and  $V$  are same for all time steps of the network. Third, there is no need to provide output for every time steps.

The basic RNNs structure is a useful model but has several limitations for many applications. Simple RNNs may have gradients which either increase or decrease exponentially over time. Thus the basic RNNs are difficult to train, and in practice can only model short-range effects. Long-term dependency and back propagation through time training are the most important weaknesses of RNNs. To overcome these limitations LSTMs network is proposed.

**2.3. Long-Short Term Memory RNNs (LSTM RNNs)**

LSTMs is a special kind of RNNs model which is proposed to overcome long-term dependency problem of classical RNNs (Graves *et al.*, 2013b). In a standard LSTMs network, there exists three layers, input, LSTMs and output layers. Input layers carries information of each time step to LSTMs layer. LSTMs layer produces outputs for every input instance and provides to the output layer. For this purpose, LSTMs proposes three gates; input, forget and output gates. These gates provide which proportion of the data will be allowed to pass on them.

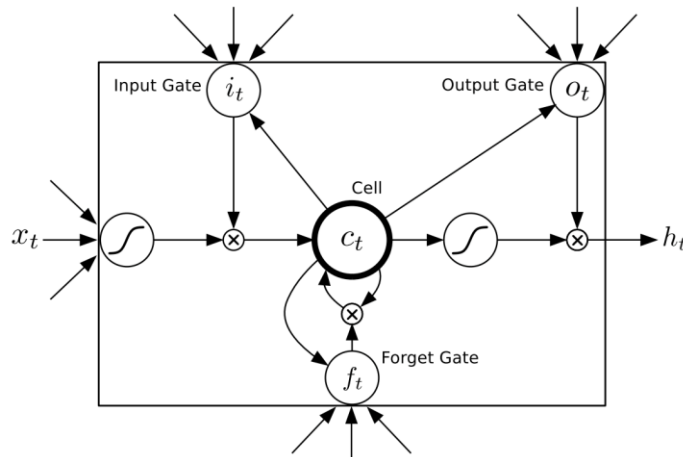


Fig. 4 LSTMs structure with gates

Fig. 4 presents a basic LSTMs network with gates.  $x$ ,  $c$ ,  $h$  and  $o$  are input, cell, hidden state and output vectors.  $i$ ,  $f$  and  $o$  present input, forget and output gates. Equations (3) to (7) show how to calculate each vector. The weight matrices present the weights of denoted two parts connections, i.e.  $W_{xi}$  denotes the weight of input to input gate connection.

$$i_t = \sigma(W_{xi}x_t + W_{hi}h_{t-1} + W_{ci}c_{t-1} + b_i) \quad (3)$$

$$f_t = \sigma(W_{xf}x_t + W_{hf}h_{t-1} + W_{cf}c_{t-1} + b_f) \quad (4)$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \sigma(W_{xc}x_t + W_{hc}h_{t-1} + b_c) \quad (5)$$

$$o_t = \sigma(W_{xo}x_t + W_{ho}h_{t-1} + W_{co}c_t + b_o) \quad (6)$$

$$h_t = o_t \sigma(c_t) \quad (7)$$

The proposed gates provide LSTMs to decide which information to write, store, or read from and to cells by using activation functions and weights.

### 2.3.1. LSTM Hyperparameters

LSTMs has several hyperparameters that affect performance of deep learning systems regardless of the application area. These hyperparameters are the values that modify LSTMs structure and can help achieve better performance with the same dataset. The main and the most important hyperparameters of LSTMs are listed and explained below:

- **Number of Layers:** This hyperparameter controls the number of layers of which deep learning systems will be built. When the number of layers are increased, the deep learning could better handle variations in the feature space but also complexity of the structure increases.
- **Number of Hidden Units:** This hyperparameter controls the number of hidden units that will be constructed on LSTMs. When the number of hidden units are increased, the more backward dependencies could be handled by the deep learning system, but also it increases complexity.
- **Batch Size:** This hyperparameter controls the number of samples that will be evaluated together before updating weights. When the batch size increases more complex systems and overfitting problems could occur. Contrarily when the batch size is decreased, the performance of deep learning systems would be lower.

### 2.4. The Speech Corpus

In this study, the CSTR VCTK (Centre for Speech Technology Voice Cloning Toolkit) corpus is used (Veaux *et al.*, 2017). The corpus includes 109 native English speakers with different accents. Each speaker has around 400 recording of sentences. We used a part of the corpus due to the limitation of our computational background. Random 10000 records are selected from all of the speakers for training dataset. Also, for test purposes random 1024 recordings are selected from the corpus that is not in training dataset.

Before the speech recognition is performed, several pre-processing steps are applied to prepare the recordings to deep learning system. First of all, Mel Frequency Cepstral Coefficients (MFCC) features of the audio files are extracted using sample rate of 8000. In MFCC feature extraction step, we used 25 milliseconds of window length and 10 milliseconds of window step. We removed all punctuation characters from the text files of audio recordings to better model MFCC features with the text transcriptions.

## 3. Results and Discussion

In this section experimental evaluation of LSTMs hyperparameters on VCTK corpus is presented. The hyperparameters of number of layers, number of hidden units, batch size, and the number of samples are used for evaluation. Each hyperparameter is evaluated while other hyperparameters remain constant.

### 3.1. Effect of Number of Layers

In this experiment, the effect of number of layers on speech recognition performance is evaluated. Number of hidden units, batch size, and number of samples are set to 200, 32, and 4096, respectively. Number of layers is selected as 1, 2 and 3, and label error rate and train cost are calculated. The effect of number of layers is presented in Figure 5 and Table 1.

Table 1. Effect of number of layers on test datasets

Number of Layers	Test Cost	Test LER
1	55.62	0.46
2	42.44	0.35
<b>3</b>	<b>36.22</b>	<b>0.29</b>
4	37.65	0.29
5	48.44	0.39

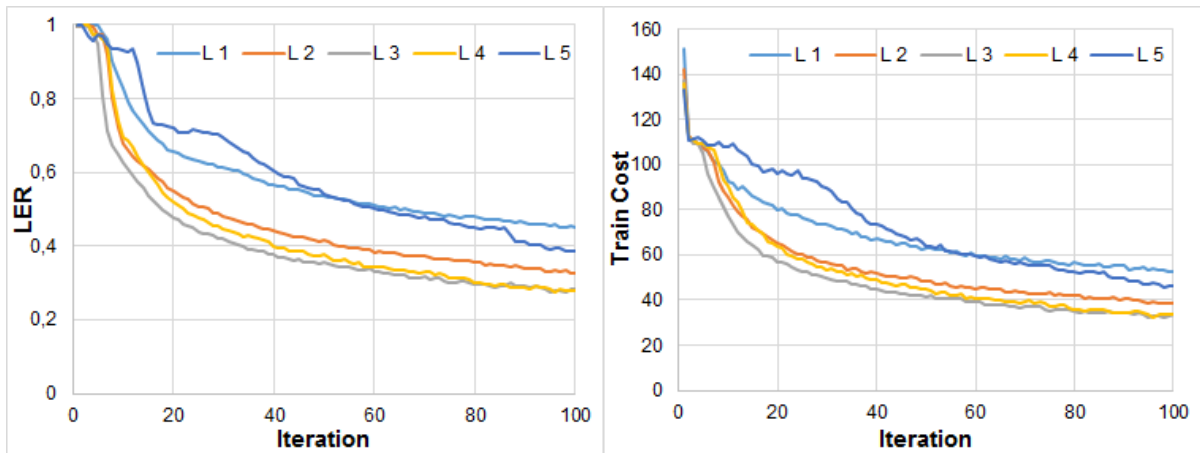


Fig. 5 Effect of number of layers on a) LER, b) train cost

As can be seen in Figure 5, as the number of layers increase, the deep networks become more accurate for both LER and train cost. However, after 4 layers, the increase of number of layers decrease the performance of the deep network. The best performance is observed at 4 layers followed with 3 layers, and 1 layer and 5 layer deep networks perform worst for speech recognition task.

### 3.2. Effect of Number of Hidden Units

In this experiment, the effect of number of hidden units on speech recognition performance is evaluated. Number of layers, batch size, and number of samples are set to 3, 32, and 4096, respectively. Number of hidden units is selected as 50, 100, 150, 200 and 250, and label error rate and train cost are calculated. The effect of number of hidden units is presented in Figure 6 and Table 2.

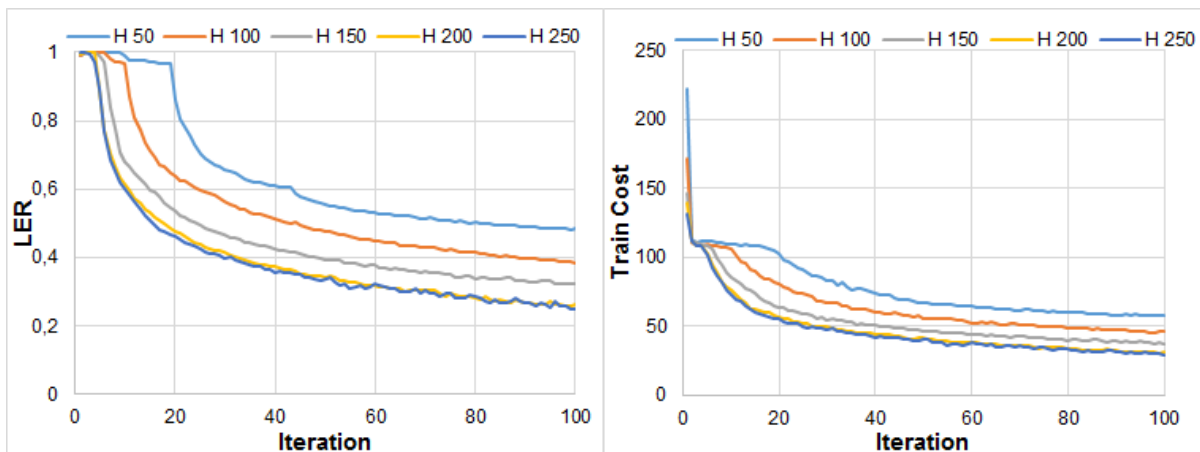


Fig. 6 Effect of number of hidden units on a) LER, b) train cost

Table 2. Effect of number of hidden units on test datasets

Number of Hidden Units	Test Cost	Test LER
50	58.54	0.48
100	46.31	0.39
150	41.69	0.34
200	34.37	0.27
<b>250</b>	<b>31.91</b>	<b>0.27</b>

As can be seen in Figure 6, as the number of hidden units increase, the accuracy of the deep networks increases too for both LER and train cost. However, after 200 hidden units, the accuracy keeps constant and do not increase. The best performances are observed for the number of hidden units of 200 and 250.

### 3.3. Effect of Batch Size

In this experiment, the effect of batch size on speech recognition performance is evaluated. Number of layers, number of hidden units, and number of samples are set to 3, 200, and 4096, respectively. Batch size is selected as 8, 16, 32 and 64, and label error rate and train cost are calculated. The effect of batch size is presented in Figure 7 and Table 3.



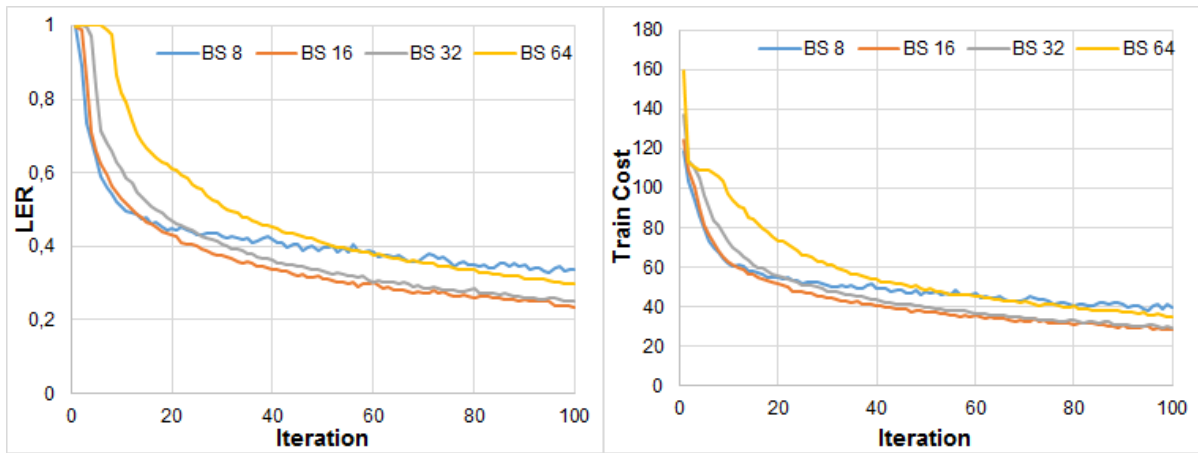


Fig. 7 Effect of batch size on a) LER, b) train cost

Table 3. Effect of batch size on test datasets

Batch Size	Test Cost	Test LER
8	40.71	0.35
16	34.68	0.28
<b>32</b>	<b>33.19</b>	<b>0.26</b>
64	40.73	0.31

As can be seen in Figure 7, the batch sizes of 16 and 32 provide better results than other batch sizes. Lower and higher batch sizes cause the deep networks perform worse and result higher LER and train costs.

## 4. Conclusion

In this study, we investigated the effect of RNNs LSTMs hyperparameters on speech recognition performance. In particular, number of layers, number of hidden units, and batch size are evaluated on performance of deep learning based speech recognition system. When the results are evaluated, all of the hyperparameters have impact on performance of speech recognition. When number of layers are increased, the performance increases until 3 and 4 layers. After 3 and 4 layers, the performance gets worse in our setup. When number of hidden units are increased, the performance of the system gets better. However, the improvement gets smaller with the increase of number of hidden units. When batch size is increased, the performance of the system gets better until 32 batch size. After batch size of 32, the performance of the system gets worse.

When the evaluation results of this study is investigated, all hyperparameters have effect on the performance of LSTMs for speech recognition. For our setup, best performance is observed for number of layers of 3, number of hidden units of 250, and for batch size of 32. The outcome of this study is that when using LSTMs for speech recognition, several experiments should be performed to find best LSTMs hyperparameters.

## References

- Gao, C., Braun, S., Kiselev, I., Anumula, J., Delbruck, T., & Liu, S. C. (2019, May). Real-time speech recognition for IoT purpose using a delta recurrent neural network accelerator. In 2019 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) (pp. 1-5). IEEE.
- Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013, May). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 6645-6649). IEEE.
- Graves, A., Jaitly, N., & Mohamed, A. R. (2013b, December). Hybrid speech recognition with deep bidirectional LSTM. In 2013 IEEE workshop on automatic speech recognition and understanding (pp. 273-278). IEEE.
- He Y., Sainath T. N., Prabhavalkar R., McGraw I., Alvarez R., Zhao D., Rybach D., Kannan A., Wu Y., Pang R., Liang Q., Bhatia D., Shanguan Y., Li B., Pundak G., Sim K. C., Bagby T., Chang S., Rao K., and Gruenstein A. (2019, May). Streaming end-to-end speech recognition for mobile devices. In ICASSP 2019-2019 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 6381-6385). IEEE.
- Hori, T., Watanabe, S., Zhang, Y., & Chan, W. (2017). Advances in joint CTC-attention based end-to-end speech recognition with a deep CNN encoder and RNN-LM. arXiv preprint arXiv:1706.02737.
- Lee, K., Park, C., Kim, N., & Lee, J. (2018, April). Accelerating recurrent neural network language model based online speech recognition system. In 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 5904-5908). IEEE.
- Liu, X., Liu, S., Sha, J., Yu, J., Xu, Z., Chen, X., & Meng, H. (2018, April). Limited-memory bfgs optimization of recurrent neural network language models for speech recognition. In 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 6114-6118). IEEE.

- Miao, Y., Gowayyed, M., & Metze, F. (2015, December). EESSEN: End-to-end speech recognition using deep RNN models and WFST-based decoding. In 2015 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU) (pp. 167-174). IEEE.
- Sainath T. N., Pang R., Rybach D., He Y., Prabhavalkar R., Li W., Visontai M., Liang Q., Strohman T., Wu Y., McGraw I., and Chiu C.-C. (2019). Two-Pass End-to-End Speech Recognition, In INTERSPEECH 2019, Graz, Austria, 2019.
- Toshniwal, S., Sainath, T. N., Weiss, R. J., Li, B., Moreno, P., Weinstein, E., & Rao, K. (2018, April). Multilingual speech recognition with a single end-to-end model. In 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4904-4908). IEEE.
- Veaux C., Yamagishi J., and MacDonald K. (2017, 04/02/2020). Cstr vctk corpus: English multi-speaker corpus for cstr voice cloning toolkit. Available: <https://datashare.is.ed.ac.uk/handle/10283/2651>.
- Wang, S., Zhou, P., Chen, W., Jia, J., & Xie, L. (2019, November). Exploring RNN-Transducer for Chinese speech recognition. In 2019 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC) (pp. 1364-1369). IEEE.
- Yu, D., & Deng, L. (2016). Automatic Speech Recognition: A Deep Learning Approach. Springer.



# Ses Tanıma için Derin Öğrenme Mimarileri Üzerine Derleme\*

Yeşim Dokuz<sup>1,†</sup>, Zekeriya Tüfekçi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Computer Engineering Department, Nigde Omer Halisdemir University, Nigde, Turkey (ORCID: 0000-0001-7202-2899)

<sup>2</sup> Computer Engineering Department, Cukurova University, Adana, Turkey (ORCID: 0000-0001-7835-2741)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf22)

**ATIF/REFERENCE:** Dokuz, Y., & Tüfekçi, Z. (2020). A Review on Deep Learning Architectures for Speech Recognition. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 169-176.

## Öz

Derin öğrenme, çeşitli algoritmalar kullanarak çok sayıda işlem katmanından oluşan derin mimariler yardımıyla veri kümelerinin modelini çıkarmaya çalışan makine öğrenmesi alanının bir alt alanıdır. Derin öğrenme mimarilerinin başarılı uygulamaları ve popülerliğinden dolayı, derin öğrenme sistemleri ses tanıma alanında da kullanılmaya başlanmıştır. Araştırmacılar bu mimarileri ses tanıma ve ses tanımanın uygulamalarında, örneğin ses duygu tanıma, ses etkinliği tespiti ve konuşmacı tanıma ve doğrulama, ses girdileri ve çıktıları arasındaki modellerin daha iyi kurulması ve ses tanıma sistemlerinin hata oranlarının düşürülmesi amaçlarıyla kullanmışlardır. Literatürde, ses tanıma sistemleri için derin öğrenme mimarilerini kullanan çok sayıda çalışma yapılmıştır. Literatürde yapılmış olan çalışmalar ses tanıma ve uygulamaları için derin öğrenme mimarilerinin kullanılmasının pek çok ses tanıma alanı için fayda sağladığını ve hata oranlarını düşürerek daha iyi performans elde edilmesini sağladığını göstermiştir. Bu çalışmada, ilk olarak, ses tanıma probleminden ve ses tanıma adımlarından bahsedilmiştir. Daha sonra, derin öğrenme tabanlı ses tanıma için yapılmış olan çalışmalar incelenmiştir. Özellikle, derin öğrenme mimarilerinden olan Derin Sinir Ağları (DSA), Evrişimli Sinir Ağları (ESA) ve Özyinelemeli Sinir Ağları (ÖSA) ve bu mimarilerden üretilmiş olan hibrit yaklaşımlar değerlendirilmiş ve bu mimarilerin ses tanıma ve ses tanımanın uygulama alanlarındaki kullanımları ile ilgili literatürdeki çalışmalar değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, hata oranları ve ses tanıma performansı açısından tüm mimariler arasında en yaygın olarak kullanılan ve en güçlü derin öğrenme mimarisinin ÖSA olduğu gözlemlenmiştir. ESA ise diğer bir başarılı derin öğrenme mimarisidir ve ses tanıma performansı ve hata oranları açısından ÖSA ile yakın sonuçlar üretmektedir. Ayrıca, hibrit derin öğrenme mimarilerinin de gittikçe yaygın hale geldiği ve ses tanıma hata oranlarını düşürebildiği gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ses tanıma, Derin Öğrenme, DSA, ESA, ÖSA, Hibrit mimariler

## A Review on Deep Learning Architectures for Speech Recognition

### Abstract

Deep learning is a branch of machine learning that uses several algorithms which tries to model datasets by using deep architectures with many processing layers. With the popularity and successful applications of deep learning architectures, they are being used in speech recognition, as well. Researchers utilized these architectures for speech recognition and its applications, such as speech emotion recognition, voice activity detection, and speaker recognition and verification to better model speech inputs with outputs and to reduce error rates of speech recognition systems. Many studies are performed in the literature that use deep learning architectures for speech recognition systems. The literature studies show that using deep learning architectures for speech recognition and its applications provide benefits for many speech recognition areas and have ability to reduce error rates and provide better performance.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Nigde Omer Halisdemir University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Nigde, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7202-2899, [vtorun@ohu.edu.tr](mailto:vtorun@ohu.edu.tr)

In this study, first of all, we explained speech recognition problem and the steps of speech recognition. Then, we analyzed the studies related to deep learning based speech recognition. In particular, deep learning architectures of Deep Neural Networks, Convolutional Neural Networks, and Recurrent Neural Networks and hybrid approaches that use these architectures are evaluated and the literature studies related to these architectures for speech recognition and the application areas of speech recognition are investigated. As a result, we observed that RNNs are the most utilized and powerful deep learning architecture among all of the deep learning architectures in terms of error rates and speech recognition performance. CNNs are other successful deep learning architectures and have closer results with RNN in terms of error rates and speech recognition performance. Also, we observed that new deep architectures that use either hybrid of DNNs, CNNs, and RNNs or other deep learning architectures are getting attention and have increasing performance and could reduce error rates in speech recognition.

**Keywords:** Speech recognition, Deep learning, DNNs, CNNs, RNNs, Hybrid architectures.

## 1. Introduction

Speech recognition is the task of processing audio files and converting text transcription of the input audio files (Yu and Deng, 2016). Speech recognition gained attention with the availability of high performance computing systems, presence of more data for training speech recognition systems, and the effective use of new computer science methods and algorithms for speech recognition, such as deep learning architectures. With the use of deep learning architectures, speech recognition achieved massive performance, and the speech recognition systems became a part of people's daily lives.

Deep learning is a branch of machine learning that uses a set of algorithms that attempt to model high-level abstractions in data by using a deep graph with multiple processing layers, composed of multiple linear and non-linear transformations (Dahl et al., 2011; Yu and Deng, 2016). Deep learning provides automatic selection and ranking of features in the datasets with efficient algorithms. Deep learning architectures had tremendous success in speech recognition, image processing, natural language processing, and sequence prediction.

Deep learning has several deep architectures, such as Deep Neural Networks (DNNs), Convolutional Neural Networks (CNNs), and Recurrent Neural Networks (RNNs) which are widely utilized to be used in speech recognition systems (Yu and Deng, 2016). DNNs and CNNs are feed-forward architectures that contain multiple layers of transformations and nonlinearity with the output of each layer that are feeding subsequent layer. RNNs is a recurrent architecture that has both forward pass which transfers information to subsequent layers and recurrent pass that processes past information and current input together.

With the successful studies that use deep learning architectures for speech recognition, deep learning gained much attention in speech recognition domain. Researchers investigated the use of DNNs, CNNs, and RNNs for both acoustic modelling, and also for end-to-end speech recognition systems. In the literature, the studies consider using deep learning architectures for end-to-end speech recognition have impact and provided better performance. Also, researchers consider proposing hybrid strategies that are combinations of deep learning architectures.

In this study, we analyzed the studies related to deep learning based speech recognition. First, mostly utilized and popular deep learning architectures of DNNs, CNNs, and RNNs are explained, and then the literature studies related to these architectures for speech recognition are investigated. The modifications of each architecture for achieving better speech recognition performance are researched, and also the applications of speech recognition, such as speech emotion recognition, voice activity detection, and speaker verification, are researched for each architecture. Also, hybrid architectures that use more than one deep learning architecture for speech recognition are analyzed.

The rest of this study is organized as follows. Section 2 presents the speech recognition problem and steps of speech recognition. Section 3 presents deep learning architectures of DNNs, CNNs, and RNNs. Section 4 presents the studies related to these architectures and also hybrid architectures. Section 5 presents the discussion about the literature studies.

## 2. Speech Recognition

Speech recognition is the task of producing a text transcription of the audio signal from a speaker (Yu and Deng, 2016). Speech recognition gained attention recently, with the help of computation power of computing devices, presence of more data, and increasing success rates of speech recognition systems. Speech recognition has several possible applications, such as voice search, personal digital assistance, smart home environments, and mobile communications.

Formally, speech recognition problem can be explained as given in Equation (1) (Yu and Deng, 2016). Given a sequence of  $t$  vectors of acoustic information  $X = x_1 \dots x_t$  that we assume encodes a sequence of  $T$  words  $w = w_1 \dots w_t$ . The aim of speech recognition is to find the best transcription hypothesis  $w$  according to some learned scoring function  $s(w, X)$ :

$$\hat{w} = \underset{w}{\operatorname{argmax}} \quad s(w, X) \quad (1)$$

A typical speech recognition system consists of four modules, namely, signal processing and feature extraction, acoustic model, language model, and hypothesis search (Yu and Deng, 2016). Signal processing and feature extraction module takes audio signal as input and removes noises, converts the signal to feature domain, and extracts features from the audio. The acoustic model takes features as input and phonetic knowledge and generates an acoustic model score for the variable-length feature sequence. The language model estimates the probability of a hypothesized word sequence by using the correlation between words in a training

corpus. The performance of language model could be improved with providing domain knowledge to the model. The hypothesis search component combines acoustic model and language model scores and the hypothesized word sequence, and outputs the word sequence with the highest score as the recognition result. Basic speech recognition flow is presented in Figure 1 with respect to these four modules.

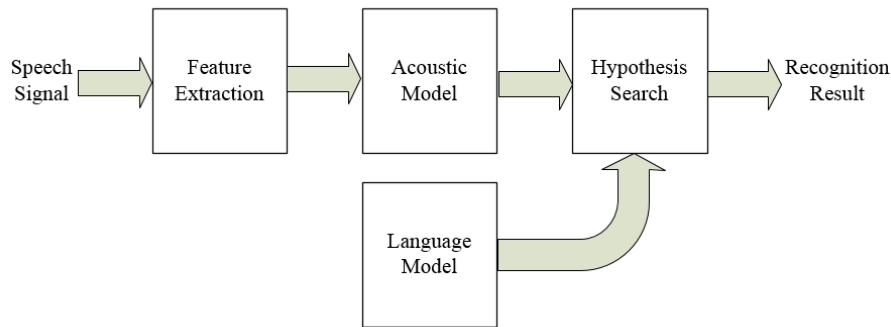


Figure 1: Basic flowchart of speech recognition

### 3. Deep Learning Architectures

In this section, we introduced Deep Neural Networks, Convolutional Neural Networks, and Recurrent Neural Networks which are highly preferred and successful deep learning architectures in speech recognition and its applications.

#### 3.1. Deep Neural Networks

Deep Neural Networks (DNN) are a type of Artificial Neural Networks (ANN) with multiple layers between input and output layers (Dahl et al., 2011; Dahl et al., 2013). The main aim of DNN is to find a proper mathematical modelling for a given input to obtain the output. In exploration of mathematical explanation, DNN considers both linear and non-linear relations of input and hidden vectors to achieve the desired output. Figure 2 presents an example of a DNN structure.

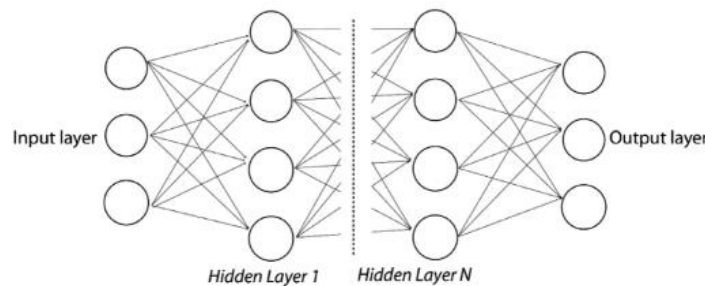


Figure 2 Example of a DNN structure

DNN are powerful for modelling complex non-linear relationships of input-output pairs. Because the DNN have multiple hidden layers and have many neurons in the layers, the DNN have the ability to model and process multiple features. DNN are strong alternatives to ANN, however have two main challenges. First of all, the error is propagated to first layers and the effect of the error to other layers is minor. Second, the learning process of DNN is slow due to complex and high-order matrix multiplications.

#### 3.2. Convolutional Neural Networks

Convolutional Neural Networks (CNN) are a type of deep learning architectures that is specialized to be mostly used in analysing visual datasets (Abdel-Hamid et al., 2014). In CNN, layers are utilized to perform one specific job, i.e. convolution, or sub-sampling, and then the network is connected to a fully connected deep architecture to produce an output. In each convolution and sub-sampling layers, the higher level features are extracted from the input images and the output becomes more accurate. A sample CNN architecture is presented in Fig. 2.

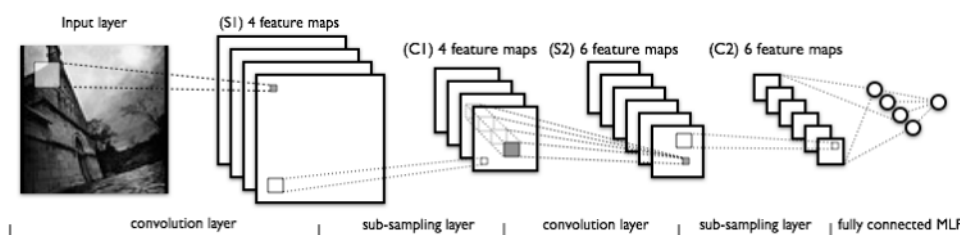


Fig. 2 Example of a CNN architecture



CNN are successful architectures in image analysis and processing, because they have the ability to exploit spatial and temporal correlation in the datasets. Convolution layer explores useful local features from the input data, and sub-sampling layer gets the features and summarizes the results. With the help of these steps, CNN have the ability to extract features automatically.

CNN have some challenges based on their operation and result extraction. First of all, the process of CNN is black-box and the interpretation and explanation are hard. Second, selecting appropriate hyper-parameter values are important for the performance of CNN. Third, efficient training of CNN requires powerful computational resources. Fourth, CNN perform poorer performance with noisy and un-labelled datasets.

### 3.3. Recurrent Neural Networks

Recurrent Neural Networks (RNN) is a type of deep learning architectures which is capable of handling large sequential inputs (Graves et al., 2013). Main idea behind RNN is to extract outputs of current time step based on current input and previous inputs with weighted manner. this approach is beneficial for several tasks which needs information about previous inputs, such as speech recognition, natural language processing. The weights of input-to-hidden, hidden-to-hidden, and hidden-to-output do not change along the network.

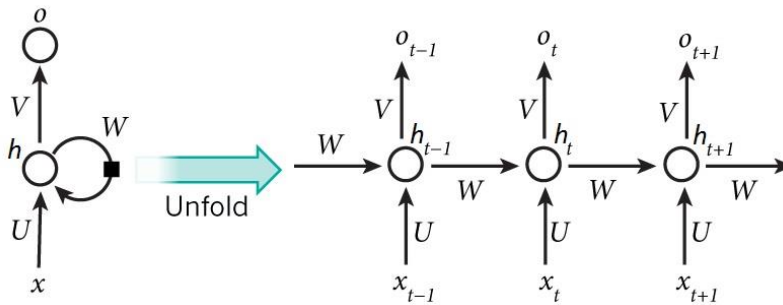


Fig. 3 An RNN (left) and unfolded over time (right)

Fig. 3 presents an RNN architecture which is unfolded over three time instances.  $x$ ,  $h$  and  $o$  are input, hidden state and output vectors and  $U$ ,  $W$  and  $V$  are weights of input, previous hidden states and current hidden state values, respectively.  $h_t$  and  $o_t$  are calculated based on (1) and (2).  $\sigma_h$  and  $\sigma_o$  are activation functions of hidden state and output vectors which regulate effect of input and hidden state instances.  $b_h$  and  $b_o$  are biases of hidden state and output vectors.

$$h_t = \sigma_h(Ux_t + Wh_{t-1} + b_h) \quad (1)$$

$$o_t = \sigma_o(Vh_t + b_o) \quad (2)$$

There are several things to note in RNN architecture. First is, hidden state of the nodes,  $h_t$  in this case, is the memory of the network which passes information through time steps. Second,  $U$ ,  $W$  and  $V$  are same for all time steps of the network. Third, there is no need to provide output for every time steps.

## 4. Deep Learning Architectures for Speech Recognition

In this section, the studies related to deep learning architectures that are used on speech recognition are presented. First, each deep learning architecture is investigated, and then hybrid approaches that combine more than one deep learning architectures are presented.

### 4.1. Deep Neural Networks for Speech Recognition

Deep neural networks are used in speech recognition systems as an alternative approach mainly for acoustic modelling. With the successful application of DNNs in speech recognition, the studies have emerged that use DNNs for improving accuracy of speech recognition systems and obtaining better performance.

Dahl et al. (2011) proposed a context-dependent pre-trained DNN approach for acoustic model of speech recognition and compared with Gaussian Mixture Model (GMM) and DNN-HMM approach outperformed GMM-HMM approach. Yu et al. (2013) proposed Kullback–Leibler divergence (KLD) regularization adaptation technique for context-dependent DNN-HMM for better speech recognition performance. Seltzer et al. (2013) investigated the performance of DNN-based acoustic models and proposed three methods to improve accuracy for noise robust speech recognition. Jaitly et al. (2012) proposed to use deep belief networks (DBN) for pre-training DNNs for DNN-HMM hybrid speech recognition systems and reported that proposed approach outperformed GMM-HMM baseline. Dahl et al. (2013) investigated the behaviour of DNNs using rectified linear units (ReLU) and dropout and reported that using ReLU and dropout improves performance of speech recognition systems.

In the literature, some studies focus on applications of speech recognition using DNNs. Han et al. (2014) proposed to use DNNs to extract high level features for speech emotion recognition. Lalitha et al. (2019) proposed a DNN based perceptual speech feature extraction approach for emotion recognition. Lei et al. (2014) proposed a framework for speaker recognition using i-vector models and DNNs. Snyder et al. (2016) proposed an end-to-end speaker verification system that consists of DNNs that take variable length speech segments and maps into a speaker embedding, and they reported that proposed system outperformed i-vector based baseline in

equal error-rate (EER) by 13%, average. Variani et al. (2014) investigated the use of DNNs for a small footprint text-dependent speaker verification. Zen et al. (2013) proposed a speech synthesis scheme that is based on DNNs and they reported that DNN based speech synthesis system outperform HMM based baseline.

## **4.2. Convolutional Neural Networks for Speech Recognition**

Convolutional neural networks are one of popular deep architectures for speech recognition due to their ability to reduce spectral variations and to model spectral correlations of speech signals. CNNs use spectrogram of speech signals that is represented as an image and recognize speech based on these features. CNNs are proposed as an alternative to DNN based speech recognition and achieved better performance with its architecture (Sainath et al., 2013).

Sainath et al. (2013) explored configurations of CNN, such as convolution layer count, optimal number of hidden units, best pooling strategy, and best input feature type, for obtaining better performance than DNN for large vocabulary continuous speech recognition. Sercu et al. (2016) proposed a very deep CNN approach that consists of 14 weight layers and applied multilingual speech recognition task on the generated deep architectures. Abdel-Hamid et al. (2014) proposed a CNN based speech recognition system to reduce error rate using limited-weight-sharing scheme to better model speech features. Qian et al. (2016) proposed a very deep CNN model for noise robust speech recognition and investigated best configurations for proposed deep CNN model for noise robust speech recognition. Zhang et al. (2017) proposed an end-to-end speech recognition system that is based on CNNs with Connectionist Temporal Classification (CTC) approach without using a recurrent layer for obtaining computationally efficient model and competitive results. Palaz et al. (2015) investigated the use of CNNs to large vocabulary speech recognition which takes raw speech signals as inputs and the proposed approach outperformed classical DNN based speech recognition system.

Several studies consider using CNNs for applications of speech recognition. Mao et al. (2014) utilized CNN for learning affect-salient features for speech emotion recognition using two-phase learning. Badshah et al. (2017) used CNN for extracting discriminative features for speech emotion recognition using spectrograms of input speech signals. Thomas et al. (2014) utilized CNNs as acoustic models for speech activity detection (SAD) in mismatched acoustic conditions using noisy radio communication channels data. Swietojanski et al. (2014) used CNNs for large vocabulary distant speech recognition using the data from single distant microphone and multiple distant microphones and CNN outperformed DNN and GMM in terms of Word Error Rate (WER). Fu et al. (2016) proposed two signal-to-noise-ratio (SNR) aware algorithms for modelling CNN for speech enhancement and the proposed model outperformed DNN for denoising performance. Torfi et al. (2018) proposed a 3D CNN model for adaptive feature learning for text independent speaker verification.

## **4.3. Recurrent Neural Networks for Speech Recognition**

Recurrent neural networks are the mostly preferred and utilized deep learning architecture due to their ability to model sequential data, including speech recognition. RNNs could model long-term dependencies between features of input datasets and produce output based on past observations. This approach is beneficial for speech recognition tasks, because in speech recognition, the output of a frame is dependent on past frames of observations. RNNs and Long-Short Term Memory (LSTM) RNNs, which is an improved and modified version of RNNs, have the best performance for speech recognition tasks over all deep learning architectures and are preferred among other alternatives.

Graves et al. (2013) investigated the use of deep LSTM RNNs for speech recognition to achieve state-of-the-art results and reported that their deep LSTM model achieved best phoneme error rate. Graves et al. (2013b) investigated the use of deep bidirectional LSTM architecture as an acoustic model to NN-HMM hybrid speech recognition system and achieved equal performance with previous studies. Graves and Jaitly (2014) proposed an end-to-end speech recognition system that do not require phonetic representation using a combination of LSTM and CTC objective function. Sak et al. (2015) proposed techniques that improve performance of LSTM RNNs as acoustic models for LVSR and resulted that stacking frames and reducing frame rate provides more accurate models and faster decoding. Li and Wu (2015) proposed a deep LSTM to obtain performance improvement and applied on large vocabulary telephone speech recognition task and resulted that deep LSTM strategy provide better performance. Miao et al. (2015) proposed an end-to-end speech recognition system that uses weighted finite-state transducers (WFSTs) and bidirectional LSTM deep architecture. Sak et al. (2014) proposed a distributed training for LSTM using stochastic gradient descent on a cluster of machines and reported that their proposed system outperformed DNN. Lu et al. (2016) proposed an efficient learning rate schedule method that improves the accuracy of large vocabulary speech recognition.

Many studies focus on using RNNs for applications of speech recognition. Mirsamadi et al. (2017) investigated using RNNs for automatically extracting emotion-related features for speech emotion recognition by using both short-time frame-level emotional features and temporal aggregation of such features. Maas et al. (2012) investigated the use of deep recurrent auto encoder neural network for noise reduction in automatic speech recognition. Weninger et al. (2015) proposed an LSTM RNN framework that are trained by an optimal speech reconstruction objective for speech enhancement in noise robust speech recognition. Weninger et al. (2014) investigated the use of LSTM RNNs on training, network architecture and representation of features for regression based single-channel speech separation. Hughes and Mierle (2013) proposed a multi-layer RNN model for voice activity detection that outperforms larger baseline GMM with a hand-tuned state machine (SM) system. Sun et al. (2015) investigated the use of Deep Bidirectional LSTM RNN (DBLSTM RNN) for voice conversion which is able to model temporal correlations between speech frames. Zen and Sak (2015) proposed a unidirectional LSTM with recurrent output layers for low-latency speech synthesis system.

#### **4.4. Hybrid Approaches for Speech Recognition**

Although one deep learning architecture is sufficient for gaining good performance for speech recognition systems and applications, some studies consider using a hybrid of two or more deep learning architectures to achieve better performance. Trigeorgis et al. (2016) proposed a framework that combines CNNs and LSTMs to automatically learn best feature representation from raw speech signals for speech emotion recognition. Lim et al. (2016) investigated the use of concatenated architecture from CNNs and RNNs for extracting better features than hand-crafted features for speech emotion recognition. Zhao et al. (2018) proposed an end-to-end CNNs and RNNs based model for catching local variations in both time and frequency domains for speech enhancement. Hori et al. (2017) proposed an end-to-end model using CNNs as encoder and LSTMs as language model for speech recognition which reduced the error rate. Chan et al. (2015) utilized RNNs and DNNs for increasing speech recognition performance on embedded devices by building a large RNNs acoustic model and pass this model to DNNs for speech recognition. Chen et al. (2018) proposed a 3D attention-based CRNN deep learning architecture which takes MFCC with deltas and delta-deltas as input for speech emotion recognition. Wu et al. (2016) proposed a deep model in which CNNs and DNNs extract visual cues and acoustic features, and BiLSTMs model higher level dependencies among features and visual information. Sainath et al. (2015) combined CNNs, LSTMs, and DNNs into a unified deep learning system, which is named as CLDNN, for taking advantage of each architecture and achieved better performance than LSTM which is considered as strongest architecture of these three alternatives in speech recognition. Wang et al. (2019) proposed CNN-BLSTM-CTC deep learning hybrid model for Mandarin speech recognition. They employed CNN for learning of local speech features, BLSTM for learning past and future dependencies, and CTC for decoding purposes and claim that their proposed method outperformed best existing model.

#### **5. Discussion**

In this paper, we reviewed the studies that consider using deep learning architectures for speech recognition. First, the most utilized deep learning architectures of Deep Neural Networks (DNNs), Convolutional Neural Networks (CNNs), and Recurrent Neural Networks (RNNs) are presented, and then the studies that use these networks for speech recognition are investigated. When the investigated studies are evaluated, it is observed that there are many studies present for each deep learning architecture, especially those that use RNNs and LSTMs. DNNs are preferred as a hybrid method for HMMs and CNNs are utilized when spectrograms are used as input for speech features, while RNNs are utilized when using raw speech signals, such as MFCC features. However, hybrid architectures are getting attention recently, which has more potential and achieves better performance in speech recognition tasks with respect to using only one deep architecture. Using a hybrid deep architecture provides the utilization of benefits of each deep learning architecture which results better performance, but also requires much hard work for training such architectures. As a result, when the investigated studies are examined for speech recognition, new deep architectures that use either hybrid of reviewed architectures or other deep learning architectures are getting attention.

As applications of speech recognition, speech emotion recognition is the uttermost studied application, which tries to discover emotions in the input speech data. Also, speech enhancement, speech separation, voice activity detection, and speaker identification and verification are other widely studied applications. Deep learning architectures have many benefits and are successfully utilized on the applications of speech recognition.

#### **References**

- Abdel-Hamid, O., Mohamed, A. R., Jiang, H., Deng, L., Penn, G., & Yu, D. (2014). Convolutional neural networks for speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on audio, speech, and language processing*, 22(10), 1533-1545.
- Badshah, A. M., Ahmad, J., Rahim, N., & Baik, S. W. (2017, February). Speech emotion recognition from spectrograms with deep convolutional neural network. In 2017 international conference on platform technology and service (PlatCon) (pp. 1-5). IEEE.
- Chan, W., Ke, N. R., & Lane, I. (2015). Transferring knowledge from a RNN to a DNN. arXiv preprint arXiv:1504.01483.
- Chen, M., He, X., Yang, J., & Zhang, H. (2018). 3-D convolutional recurrent neural networks with attention model for speech emotion recognition. *IEEE Signal Processing Letters*, 25(10), 1440-1444.
- Dahl, G. E., Yu, D., Deng, L., & Acero, A. (2011). Context-dependent pre-trained deep neural networks for large-vocabulary speech recognition. *IEEE Transactions on audio, speech, and language processing*, 20(1), 30-42.
- Dahl, G. E., Sainath, T. N., & Hinton, G. E. (2013). Improving deep neural networks for LVCSR using rectified linear units and dropout. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 8609-8613). IEEE.
- Fu, S. W., Tsao, Y., & Lu, X. (2016, September). SNR-Aware Convolutional Neural Network Modeling for Speech Enhancement. In *INTERSPEECH 2016*, San Francisco, USA (pp. 3768-3772).
- Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013, May). Speech recognition with deep recurrent neural networks. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 6645-6649). IEEE.
- Graves, A., Jaitly, N., & Mohamed, A. R. (2013b, December). Hybrid speech recognition with deep bidirectional LSTM. In 2013 IEEE workshop on automatic speech recognition and understanding (pp. 273-278). IEEE.
- Graves, A., & Jaitly, N. (2014, January). Towards end-to-end speech recognition with recurrent neural networks. In *International conference on machine learning*, Beijing, China (pp. 1764-1772).
- Han, K., Yu, D., & Tashev, I. (2014). Speech emotion recognition using deep neural network and extreme learning machine. In *Fifteenth annual conference of the international speech communication association INTERSPEECH 2014*, Singapore.
- Hori, T., Watanabe, S., Zhang, Y., & Chan, W. (2017). Advances in joint CTC-attention based end-to-end speech recognition with a deep CNN encoder and RNN-LM. arXiv preprint arXiv:1706.02737.

- Hughes, T., & Mierle, K. (2013, May). Recurrent neural networks for voice activity detection. In 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (pp. 7378-7382). IEEE.
- Jaitly, N., Nguyen, P., Senior, A., & Vanhoucke, V. (2012). Application of Pretrained Deep Neural Networks to Large Vocabulary Speech Recognition. In Thirteenth Annual Conference of the International Speech Communication Association INTERSPEECH 2012, Portland, OR, USA.
- Lalitha, S., Tripathi, S., & Gupta, D. (2019). Enhanced speech emotion detection using deep neural networks. *International Journal of Speech Technology*, 22(3), 497-510.
- Lei, Y., Scheffer, N., Ferrer, L., & McLaren, M. (2014, May). A novel scheme for speaker recognition using a phonetically-aware deep neural network. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 1695-1699). IEEE.
- Li, X., & Wu, X. (2015, April). Constructing long short-term memory based deep recurrent neural networks for large vocabulary speech recognition. In 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4520-4524). IEEE.
- Lim, W., Jang, D., & Lee, T. (2016, December). Speech emotion recognition using convolutional and recurrent neural networks. In 2016 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA) (pp. 1-4). IEEE.
- Lu, L., Zhang, X., & Renais, S. (2016, March). On training the recurrent neural network encoder-decoder for large vocabulary end-to-end speech recognition. In 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 5060-5064). IEEE.
- Maas, A., Le, Q. V., O'neil, T. M., Vinyals, O., Nguyen, P., & Ng, A. Y. (2012). Recurrent neural networks for noise reduction in robust ASR. INTERSPEECH 2012, Portland, OR, USA.
- Mao, Q., Dong, M., Huang, Z., & Zhan, Y. (2014). Learning salient features for speech emotion recognition using convolutional neural networks. *IEEE transactions on multimedia*, 16(8), 2203-2213.
- Miao, Y., Gowayyed, M., & Metze, F. (2015, December). EESN: End-to-end speech recognition using deep RNN models and WFST-based decoding. In 2015 IEEE Workshop on Automatic Speech Recognition and Understanding (ASRU) (pp. 167-174). IEEE.
- Mirsamadi, S., Barsoum, E., & Zhang, C. (2017, March). Automatic speech emotion recognition using recurrent neural networks with local attention. In 2017 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 2227-2231). IEEE.
- Palaz, D., Doss, M. M., & Collobert, R. (2015, April). Convolutional neural networks-based continuous speech recognition using raw speech signal. In 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4295-4299). IEEE.
- Qian, Y., Bi, M., Tan, T., & Yu, K. (2016). Very deep convolutional neural networks for noise robust speech recognition. *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 24(12), 2263-2276.
- Sainath, T. N., Mohamed, A. R., Kingsbury, B., & Ramabhadran, B. (2013, May). Deep convolutional neural networks for LVCSR. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 8614-8618). IEEE.
- Sainath, T. N., Vinyals, O., Senior, A., & Sak, H. (2015, April). Convolutional, long short-term memory, fully connected deep neural networks. In 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4580-4584). IEEE.
- Sak, H., Senior, A., Rao, K., & Beaufays, F. (2015). Fast and accurate recurrent neural network acoustic models for speech recognition. INTERSPEECH 2015, Dresden, Germany.
- Sak, H., Senior, A., & Beaufays, F. (2014). Long short-term memory based recurrent neural network architectures for large vocabulary speech recognition. the INTERSPEECH 2014, Singapore.
- Seltzer, M. L., Yu, D., & Wang, Y. (2013, May). An investigation of deep neural networks for noise robust speech recognition. In 2013 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (pp. 7398-7402). IEEE.
- Sercu, T., Puhersch, C., Kingsbury, B., & LeCun, Y. (2016, March). Very deep multilingual convolutional neural networks for LVCSR. In 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4955-4959). IEEE.
- Snyder, D., Ghahremani, P., Povey, D., Garcia-Romero, D., Carmiel, Y., & Khudanpur, S. (2016, December). Deep neural network-based speaker embeddings for end-to-end speaker verification. In 2016 IEEE Spoken Language Technology Workshop (SLT) (pp. 165-170). IEEE.
- Sun, L., Kang, S., Li, K., & Meng, H. (2015, April). Voice conversion using deep bidirectional long short-term memory based recurrent neural networks. In 2015 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP) (pp. 4869-4873). IEEE.
- Swietojanski, P., Ghoshal, A., & Renals, S. (2014). Convolutional neural networks for distant speech recognition. *IEEE Signal Processing Letters*, 21(9), 1120-1124.
- Thomas, S., Ganapathy, S., Saon, G., & Soltau, H. (2014, May). Analyzing convolutional neural networks for speech activity detection in mismatched acoustic conditions. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 2519-2523). IEEE.
- Torfi, A., Dawson, J., & Nasrabadi, N. M. (2018, July). Text-independent speaker verification using 3d convolutional neural networks. In 2018 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME) (pp. 1-6). IEEE.
- Trigeorgis, G., Ringeval, F., Brueckner, R., Marchi, E., Nicolaou, M. A., Schuller, B., & Zafeiriou, S. (2016, March). Adieu features? end-to-end speech emotion recognition using a deep convolutional recurrent network. In 2016 IEEE international conference on acoustics, speech and signal processing (ICASSP) (pp. 5200-5204). IEEE.



- Variani, E., Lei, X., McDermott, E., Moreno, I. L., & Gonzalez-Dominguez, J. (2014, May). Deep neural networks for small footprint text-dependent speaker verification. In 2014 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4052-4056). IEEE.
- Wang, D., Wang, X., & Lv, S. (2019). End-to-End Mandarin Speech Recognition Combining CNN and BLSTM. *Symmetry*, 11(5), 644.
- Weninger, F., Erdogan, H., Watanabe, S., Vincent, E., Le Roux, J., Hershey, J. R., & Schuller, B. (2015, August). Speech enhancement with LSTM recurrent neural networks and its application to noise-robust ASR. In *International Conference on Latent Variable Analysis and Signal Separation* (pp. 91-99). Springer, Cham.
- Weninger, F., Hershey, J. R., Le Roux, J., & Schuller, B. (2014, December). Discriminatively trained recurrent neural networks for single-channel speech separation. In 2014 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP) (pp. 577-581). IEEE.
- Wu, Z., Sivadas, S., Tan, Y. K., Bin, M., & Goh, R. S. M. (2016). Multi-modal hybrid deep neural network for speech enhancement. arXiv preprint arXiv:1606.04750.
- Yu, D., Yao, K., Su, H., Li, G., & Seide, F. (2013, May). KL-divergence regularized deep neural network adaptation for improved large vocabulary speech recognition. In 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (pp. 7893-7897). IEEE.
- Yu, D., & Deng, L. (2016). *Automatic Speech Recognition A Deep Learning Approach*. Springer.
- Zhang, Y., Pezeshki, M., Brakel, P., Zhang, S., Bengio, C. L. Y., & Courville, A. (2017). Towards end-to-end speech recognition with deep convolutional neural networks. arXiv preprint arXiv:1701.02720.
- Zhao, H., Zarar, S., Tashev, I., & Lee, C. H. (2018, April). Convolutional-recurrent neural networks for speech enhancement. In 2018 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 2401-2405). IEEE.
- Zen, H., Senior, A., & Schuster, M. (2013, May). Statistical parametric speech synthesis using deep neural networks. In 2013 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (pp. 7962-7966). IEEE.
- Zen, H., & Sak, H. (2015, April). Unidirectional long short-term memory recurrent neural network with recurrent output layer for low-latency speech synthesis. In 2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP) (pp. 4470-4474). IEEE.





## Uçak - Yıldırım Etkileşimi\*

Eren Can Kişeci<sup>1\*\*</sup>, Elmas Salamcı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0388-5575)

<sup>2</sup> Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2856-9402)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf23)

**ATIF/REFERENCE:** Kişeci, E. C. & Salamcı, E. (2020). Uçak - Yıldırım Etkileşimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 177-187.

### Öz

Yıldırım doğal bir elektriksel boşalma olayıdır. Yüksek akım ve gerilimin ani boşalması çevresi için tehlikeli sonuçlar doğurabilmektedir. Genellikle yıldırımlar bulutlar arasında, bulutun kendi içinde veya bulutla yeryüzü arasında gerçekleşir. Seyir halindeki hava araçları da yıldırım çarpma riskiyle karşı karşıyadır. Ticari havayolu uçakları kabaca her yıl iki defa yıldırım çarpmasına maruz kalmaktadır. Dolayısıyla yıldırım çarpması uçaklar için alışılmamış bir tehlike değildir ve uçuş güvenliğini hissedilebilir derecede tehlikeye sokabilmektedir. İletkenliği geleneksel metallere göre çok daha az olan yada iletkenlik özelliği bulunmayan karbon elyaf, cam elyaf, aramid elyaf gibi malzemelerin takviye olarak kullanıldığı kompozit malzemelerin havacılık sektöründe kullanımının artması, yıldırım kaynaklı hasarların riskini ve şiddetini arttırmaktadır. Uçakları yıldırım çarpması kaynaklı yanma, erime, patlama, delinme, delaminasyon, yakıt buharının alev alması vb. doğrudan etkilere ve aviyoniklerde bozulma ve hasarlara neden olan dolaylı etkilere karşı korumak gerekmektedir. Bu nedenle, yıldırım çarpma mekanizmasını ve uçakla yıldırım arasındaki etkileşimi anlamak gerekmektedir. Günümüze kadar bu konuda birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada yıldırım-uçak etkileşimini anlamak amacıyla uçaklarda yıldırım çarpma vakalarıyla ilgili istatistiksel verilere değinilmiştir. Ek olarak, yıldırım çarpma mekanizmasının uçakta nasıl meydana geldiği ve uçak yapısalıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Uçakların yıldırımdan korunması amacıyla belirlenen ve evrensel olarak da kullanılan yıldırım parametreleri ve uçakların yıldırım bölgelerinin belirlenme süreçleri ve kıstaslarına değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yıldırım Çarpması, Uçak Yıldırım Etkileşimi, Yıldırım Parametreleri, Yıldırım Bölgeleri, Yıldırım Kaynaklı Hasarlar.

## Aircraft – Lightning Interaction

### Abstract

Lightning is a natural electrical discharge phenomenon. Sudden discharge of high current and voltage can have dangerous consequences for the environment. Usually lightning strikes between clouds, inside the cloud itself, or between the cloud and the earth. On board aircraft are also at risk of lightning strikes. Commercial airline planes are exposed to lightning strikes roughly twice a year. Therefore, lightning strike is not an unusual danger for aircrafts and can endanger the flight safety. The increase in the use of composite materials in reinforcing compositions of materials such as carbon fiber, glass fiber, aramid fiber, whose conductivity is much less than conventional metals, or which do not have conductivity, increases the risk and severity of damage due to lightning. It is necessary to protect aircrafts against direct effects such as combustion, melting, explosion, puncture, delamination, ignition of fuel vapors etc. caused by lightning strikes and indirect effects that cause disruption and damage in avionics. It is necessary to protect the aircraft against the direct and indirect effects of lightning strike. Therefore, it is necessary to understand the lightning strike mechanism and the interaction between aircraft and lightning. To date, many studies have been done on this subject and in this study, statistical data on lightning strikes of aircrafts have been mentioned in order to understand the lightning-aircraft interaction. In

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Eren Can Kişeci: Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-0388-5575, [eren.kiceci@gmail.com](mailto:eren.kiceci@gmail.com)

addition, how the lightning strike mechanism occurred on the aircraft and its effects on aircraft structures were examined. Lightning parameters, which are determined to protect the aircraft from lightning and used universally, and the determination processes and criteria of the lightning zones of the aircraft are mentioned.

**Keywords:** Lightning Strike, Aircraft Lightning Interaction, Lightning Parameters, Lightning Zones, Lightning Damages.

## 1. Giriş

Yıldırım atmosferdeki ya da yeryüzündeki iki elektriksel olarak yüklü bölgenin geçici olarak yüklerinin eşitlendiği, doğal olarak gerçekleşen bir elektrostatik boşalmadır. Yıldırım anlık olarak gigajoule mertebesinde enerji bırakılmasına neden olur. Yıldırım çarpması esnasında boşalmanın yakınında gazlar genişler ve şok dalgası nedeniyle basınçta ani bir artış yaşanır. Yıldırımların çarptığı nesnelere büyük boyutta ısıya ve manyetik kuvvetlere maruz kalırlar. Yüklü bir alana yakın geçen uçak elektriksel bir boşalma başlatabilir. Yıldırım, bir ışık parıltısı, genellikle yanma kokusu ve gürültü ile birlikte görülür. Yıldırım çarpması yolcular ve mürettebat için korkutucu olabilir, ancak bir uçağa önemli fiziksel hasar nadirdir. Hasar genellikle antenlere, pusulalara, aviyoniklere ve kabuklarda meydana gelir. Alüminyum alaşımının iletken özellikleri nedeniyle, gövde Faraday kafesi gibi davranır ve yıldırım akımının uçağın iç bölgelerine girmesini engeller. Bununla birlikte, uçağın radom ve kuyruk dengeleyicilerine ve kontrol mekanizmalarına ve yüzeylerine zarar veren çok sayıda yıldırım çarpması olayı olmuştur [1], [2]. Boeing 787 ve Airbus A350 gibi daha yeni uçaklar, karbon elyaf gibi daha yüksek oranda kompozit malzemelerden üretildiğinden gövde ve kanatların elektriksel iletkenliğini düşmüştür. Üreticiler ayrıca, uçağın dış kısmında iyi iletkenlik sağlamak için kompozit malzemeye daha iletken metal medya ekleyerek bir çözüm geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada uçaklarla-yıldırım etkileşiminin anlaşılması amacıyla; havacılıkta yıldırım çarpma olayları, yıldırım oluşma mekanizmaları, yıldırımdan korumanın sağlanmasında kullanılan kritik yıldırım parametreleri ve yıldırım bölgelerinin tanımları, ayrıca yıldırım çarpmasının uçak yapılarında meydana getirdikleri hasar tiplerine değinilmiştir.

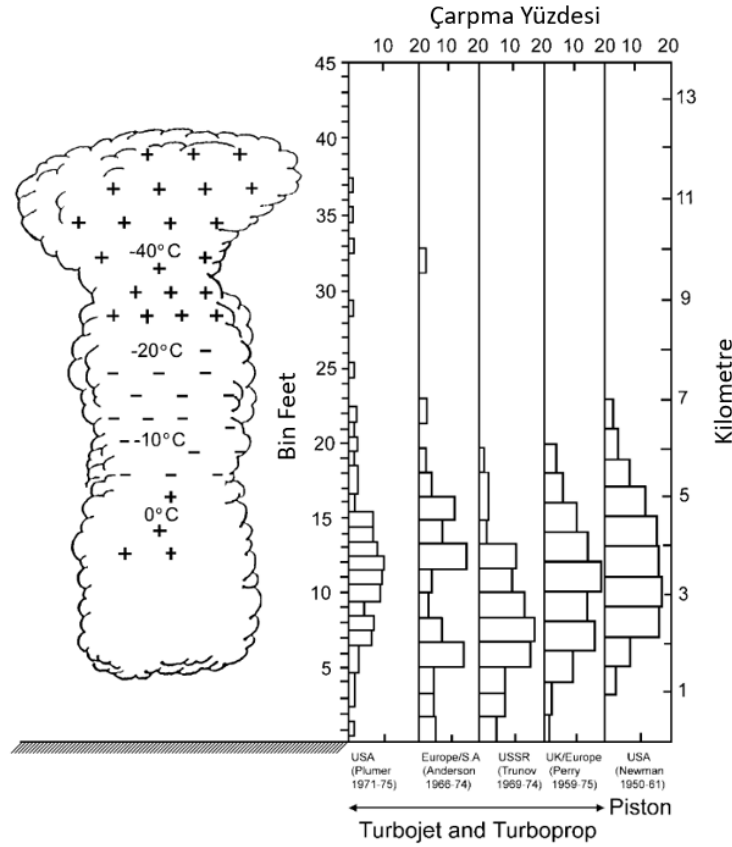
## 2. Havacılıkta Yıldırım Çarpma İstatistikleri

İstatistiksel değerler incelendiğinde, yaklaşık olarak yılda iki kere ticari uçaklara yıldırım çarptığı görülmektedir [3-5]. Tablo 1'de, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ticari uçaklarının 1950 ve 1974 yılları arasında maruz kaldıkları yıldırım çarpma vakalarına ait çalışmalar verilmiştir. Bu çalışmalarda, toplam uçuş süreleri için uçakların farklı kısımlarına çarpan yıldırım sayıları görülmektedir. Görüldüğü üzere, yıldırım çarpma sıklığı yaklaşık olarak her 3000 uçuş saatinde bir gerçekleşmektedir. Uçuş irtifası, yıldırım çarpma olaylarında önemli bir parametredir. Ayrıca, kötü hava koşulları ve uçuş rotaları da yıldırım çarpması olaylarını etkilemektedir. Bu nedenle, askeri uçaklar güvensiz hava koşulları ve değişen uçuş rotalarından dolayı sivil uçaklara göre yıldırım çarpması olaylarına daha çok maruz kalmaktadır.

Şekil 1'de, irtifaya bağlı olarak uçakların maruz kaldığı yıldırım çarpma vakalarıyla ilgili beş çalışma verilmiştir. Görüldüğü üzere, yıldırım çarpma vakaları sıklıkla bulut seviyesi veya daha altı seviyelerde gerçekleşmektedir. Bu nedenle, uçaklar daha çok kalkış ve iniş sırasında yıldırıma maruz kalmaktadır. Pistonlu uçaklar, turbojet ve turboprop uçaklara göre daha düşük irtifalarda (10,000 ~ 15,000 feet) seyretmektedir ve bundan dolayı yüzdesel olarak daha fazla çarpmaya maruz kalmaktadır [6].

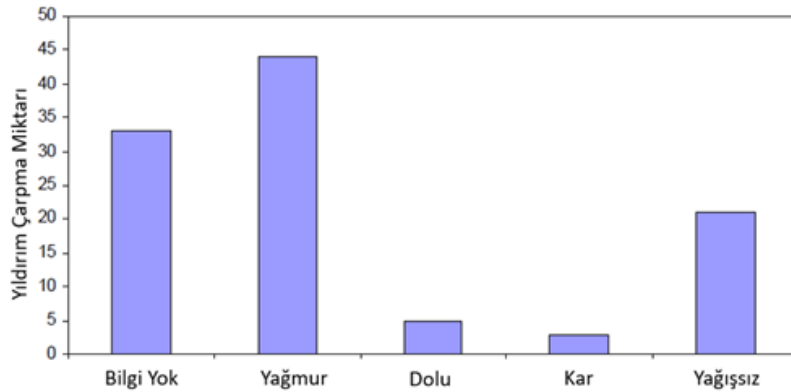
Tablo 1. ABD ticari uçaklarının 1950 - 1974 yılları arasında maruz kaldığı yıldırım çarpma vakaları [6]

	Newman (1950-1961)		Perry (1959-1974)		TOPLAM		
	Çarpma	Saat	Çarpma	Saat	Çarpma	Saat	Ortalama
<b>Piston</b>	808	2000000	-	-	808	2000000	2475
<b>Turboprop</b>	109	415000	280	876000	389	1291000	3320
<b>Jet</b>	41	427000	480	1314000	521	1741000	3340
<b>Tümü</b>	958	2842000	760	2190000	1718	5032000	2930



Şekil 1. Uçakların irtifaya bağlı olarak maruz kaldıkları yıldırım çarpması vakaları [6]

Yıldırımlar genellikle yağmurlu havalarda görülen bir olaydır. Şekil 2’de verildiği üzere, yağış olmadığı durumlarda da sıklıkla yıldırım çarpmalarının gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca kar veya dolu yağışı olduğu günlerde de yıldırım çarpmalarına rastlanmaktadır [7].



Şekil 2. Yıldırım Çarpması Hava Koşulları İlişkisi [7]

Şekil 3’te Lufthansa filosunun kompozit parçalarının tecrübe ettiği hasarlar gösterilmiştir. Verilen istatistikte Lufthansa’nın toplam filosunun 2006 yılında aldığı hasarların nedenleri belirtilmiştir ve yıldırım vakaları bakım-onarım bakış açısıyla ele alınmıştır [8]. Uçaklarda kaydedilen hasarların %17’den fazlasının yıldırım kaynaklı olduğu görülmektedir. Bu nedenle, yıldırım kaynaklı hasarlar bakım-onarım maliyetlerinin önemli bir parçasıdır.

İncelenen Lufthansa verileri 2006 yılına aittir ve bu filoda ağırlıklı olarak alüminyum gövde yapıları kullanılmaktaydı. Uçaklarda sadece dengeleyiciler, hareketli yüzeyler gibi bazı kısımlarda kompozit yapılar yer almaktaydı. Ancak buna rağmen kompozitlerin kullanıldığı bileşenlerde, yıldırımdan kaynaklı hasarların arttığı görüldü. All Nippon Havayolları’nın 767 uçağının saha tecrübelerindeki raporlarına göre, yıldırımdan dolayı oluşan hasarların yaklaşık olarak %70’inin onarıma ihtiyacı olanlar hasarlar olduğu görülmüştür [9]. Bakım - onarım masraflarını azaltmak uçak endüstrisi için önemli bir ihtiyaçtır. Bu nedenle, uçak gövdelerinde tamamıyla kompozit malzemelerin kullanılması yıldırım kaynaklı hasarları arttıracaktır [10].



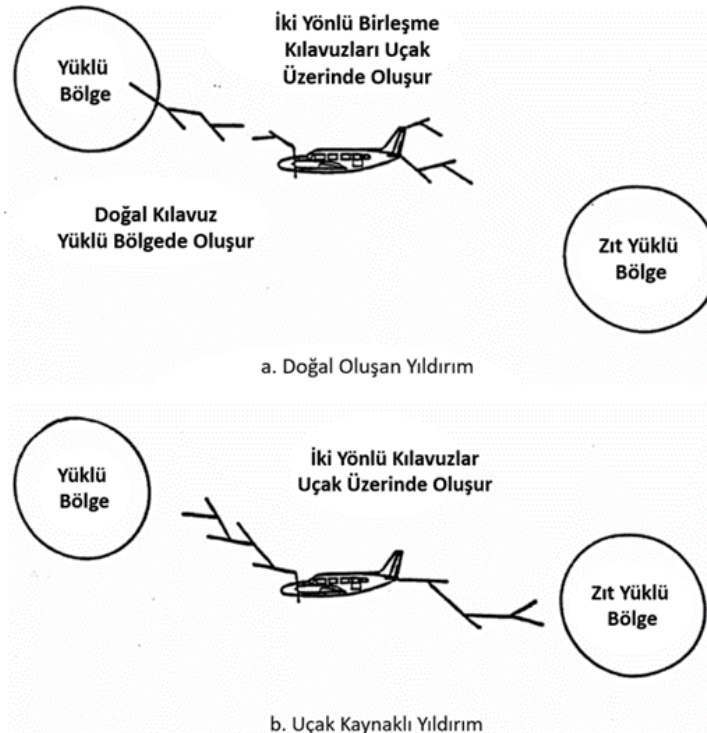
Şekil 3. Lufthansa filosunun kompozit parçalarının tecrübe ettiği hasarlar [8]

### 3. Uçak Yıldırım Arayüzü

Birbirine zıt polariteye sahip iki yüklü bölgenin, yüksek iletken bir hat boyunca elektriksel olarak boşalmasıyla yıldırım oluşur. Genellikle yıldırım, aşağı-yukarı yönlü hareket eden ve kılavuz adım olarak adlandırılan kıvılcımların şarjlı bölgeden yollanmasıyla başlar. Bu kılavuz adım, bir hava aracından, buluttan veya yeryüzündeki bir yapıdan kaynaklı olabilmektedir.

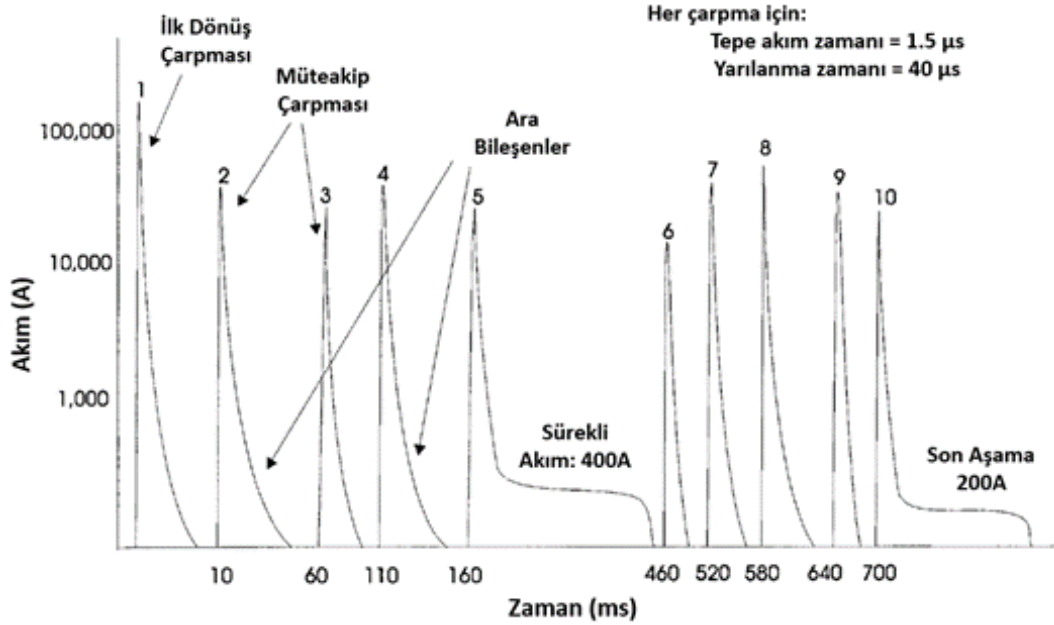
Çevredeki gazların termal olarak iyonlaşmasının sonucunda havada kılavuz oluşur. İki yüklü alanın arasındaki boşluğu bir araya getirerek doldurduktan sonra kılavuz nötralize olur. Bu olay geri dönüş çarpması olarak isimlendirilir. Bu süreçte kılavuz kanal çok yüksek elektrik akımının geçtiği iyonize bir patikaya dönüşür [11]. Bu enerji havanın ani genişlemesine ve akabinde geri dönüş çarpması formunda yoğun şimşek ve akustik şok meydana getirir. Bu mekanizma pozitif ve negatif yükler için gerçekleşebilir. Yıldırım deşarjı pozitif yükler gönderirse pozitif yıldırım, negatif yükler yollar ise negatif yıldırım olarak nitelenir. Eldeki verilere göre negatif yıldırımlar daha sık görülmektedir. Negatif yani elektron iyonlarının daha hızlı olması, fiziksel hasarı daha fazla ve müdahalesi daha zor sonuçlar meydana getirir [3], [6].

Yıldırım çarpması uçaklarda iki farklı mekanizma sonucu meydana gelir. Bunlar doğal yıldırımlar ve uçakla tetiklenen yıldırımlar şeklindedir. Şekil 4'te iki etkileşim mekanizması da tasvir edilmiştir. Uçakla tetiklenen etkileşimde, iki zıt yüklü bölge arasında uçmakta olan uçak etrafında elektrik alanı etkileyerek yıldırımın kendi üzerinde başlamasına neden olmasıyla meydana gelir. Uçak zıt yüklü bölgeler arasında seyir halinde iken normalde oluşan bir yıldırıma denk gelerek yıldırım çarpmasına da maruz kalabilir. Her iki yıldırım oluşma mekanizmasında da uçak sınır bölgelerinin şekilleri ve malzemeleri önemli rol oynamaktadır. Hava deniz seviyesinde ve yağışsız koşullarda  $3 \times 10^3$  kV/m bozulma dayanımına sahiptir. Uçağın gökyüzünde bulunması bu bozunma değerinin düşürür. Radom, kanat uçları, motor kapakları, dikey ve yatay dengeleyiciler yıldırım çarpma ihtimalinin yüksek olduğu uçak bölümleridir. Yıldırım kanalının uçakla buluştuğu noktaya bağlanma noktası adı verilir. Bu nokta yüklü bulutla yüksüz yeryüzü arasında geçiş noktası görevini yerine getirir.



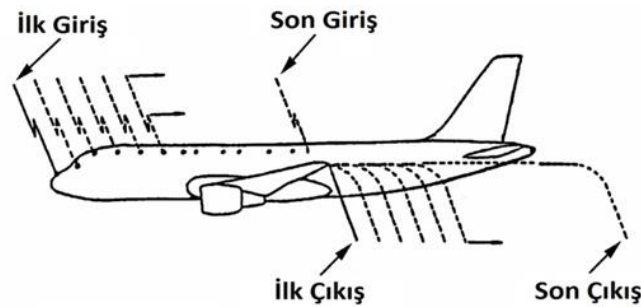
Şekil 1. Yüklü bölgeler arasında uçağa çarpan yıldırımın oluşma mekanizmaları [12]

Yüklü bölge ve uçak arasında yıldırım kanalı kurulduğunda yüksek miktarda enerji uçağa doğru akar. Elektriksel akım dalga formları özellikle girişim enerjisinin temsili için kullanılır. Yıldırım akım miktarının belirlenmesi bulut – bulut arasındaki etkileşimlerin ölçülmesinin zorluğu nedeniyle bulut – yeryüzü arasındaki yıldırımlardan elde edilir. Şekil 5'te tipik bir yıldırım akım dalga formu görülmektedir [4]. Yıldırım darbe akımları itici ve sürekli olarak iki sınıfa ayrılabilir. Yıldırım çarpması genellikle 1-11 arası itici çarpmaların meydana gelmesiyle sonlanır. İlk çarpma 200kA kadar yüksek olabilir. İlk çarpmayı takip eden geri dönüş çarpmaları genellikle 100kA'dan daha düşük amperlerde gerçekleşir. Çarpmalar 0-500  $\mu$ sn arasında bir sürede sonlanır. Müteakip çarpmalar daha yüksek yükselme oranına ve daha düşük tepe değerlerine eğilimlidir. Bazı çarpmaların devamında sürekli akım transferi gerçekleşebilir. 100-400 A gibi görece düşük olan bu akım değerleri 100msn uzun sürmesi nedeniyle göz ardı edilemeyecek miktarda enerjinin aktarılmasına neden olur.



Şekil 5. Yıldırım akım dalga formu modeli [4]

Uçak seyir halindeyken yıldırım çarptığında, çarpma bölgesi uçağın hızı nedeniyle sabit kalmayıp sürekli kayabilir. Bu kayma olayına süpürülme kanalı denir ve Şekil 6'da görüldüğü gibi birden fazla noktada çarpma meydana gelebilir. Bu kanalda yıldırım çarpması düzenli hareket etmez daha çok ayırık düzensiz adımlar halinde ilerler. Şekil 7'de metalik yüzeyde süpürülme kanalı nedeniyle oluşan bağımsız yanık izleri görülmektedir. Süpürülme kanalı, yıldırımın sadece uçağın sınır bölgelerine çarpmasına rağmen geride kalan bölgeleri de tehlikeye sokması nedeniyle korunması gereken yüzeylerin artmasına neden olur.



Şekil 6. Süpürülme kanalı bağlantı noktalarının karakteristik patikası [12]

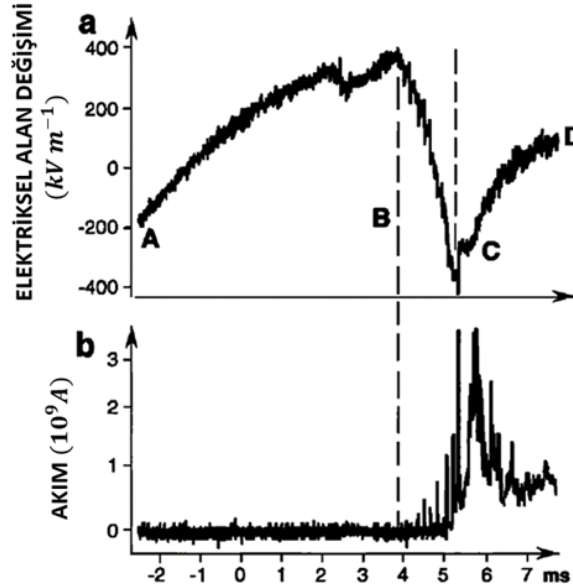




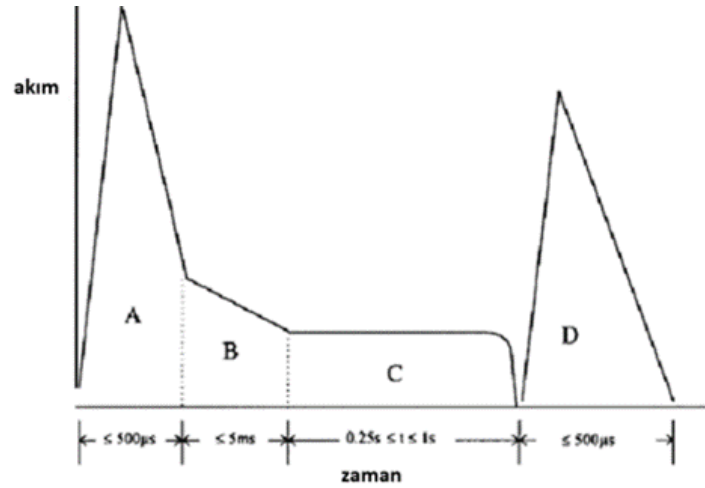
Şekil 7. Metalik uçak kabuğu üzerinde süpürülme kanalı kaynaklı yıldırım çarpması hasarları [9]

#### 4. Yıldırım Dalga Şekilleri ve Etki Bölgelerinin Belirlenmesi

Yıldırım çarpmalarını anlamak ve çarpmalara karşı önlem almak amacıyla kritik dalga formu parametreleri denilen özellikler sınıflandırılmıştır. Uzun bina yapılarının çatılarına yerleştirilen dirençli paralel devreler yardımıyla yıldırım kaynaklı voltaj ve akım değerleri ölçülür. Elde edilen veriler üzerinde çeşitli sadeleştirmeler yapılarak yıldırım kaynaklı tepe akımı ve verilen enerji gibi çeşitli parametreler hesaplanabilir. Bu konuda yapılan çalışmalara ve sonuçlarına birçok farklı kaynaktan ulaşılabilmektedir [3], [13-15]. Seyir halinde bulunan bir hava aracında ise bu işlem daha zordur. 1960'lerden bu zamana kadar birçok araştırmada uçak özelinde meydana gelen yıldırım çarpma verileri toplanmaya çalışılmıştır [5]. Bu kapsamda uçaklar elektriksel alan değişimini kayıt eden, manyetik alan yoğunluğunu ölçen, akımı miktarını kayıt altına alan çeşitli ekipmanlar ve özel kameralarla donatılıp yıldırımların çokça meydana geldiği fırtına bulutlarına doğru uçurulmuşlardır. Şekil 8'de tipik olarak bu uçuşlarda elde edilen elektriksel alan değişimi ve akım grafikleri gösterilmektedir [16]. Elde edilen ölçüm verileri kullanılabilir hale getirilmesi amacıyla Şekil 9'da gösterilen ideal dalga ve dalga parametrelerine indirgenir.



Şekil 8. C-160 uçağında ölçülen yıldırım kaynaklı veriler; elektrik alan değişimi (a), akım miktarı (b) burunda akım verisi [16]



• A BİLEŞENİ (İlk Geri Dönüş Çarpması)

Tepe Değer	: 200kA (±10%)
Verilen Enerji	: $2 \times 10^6 A^2s$ (±20%)(in 500μs)
Toplam Süre	: ≤ 500μs

• B BİLEŞENİ (Yarı Değerli Akımı)

Maks. Yük Aktarımı	: 10 Coulombs (±10%)
Ortalama Genlik	: 2kA (±20%)
Toplam Süre	: ≤ 5ms

• C BİLEŞENİ (Sürekli Akım)

Genlik	: 200 – 800A
Yük Aktarımı	: 200 Coulombs (±20%)
Toplam Süre	: 0.25s – 1s

• D BİLEŞENİ (Müteakip Geri Dönüş Çarpması)

Tepe Değer	: 100kA (±10%)
Verilen Enerji	: $0.25 \times 10^6 A^2s$ (±20%)(in 500μs)
Toplam Süre	: ≤ 500μs

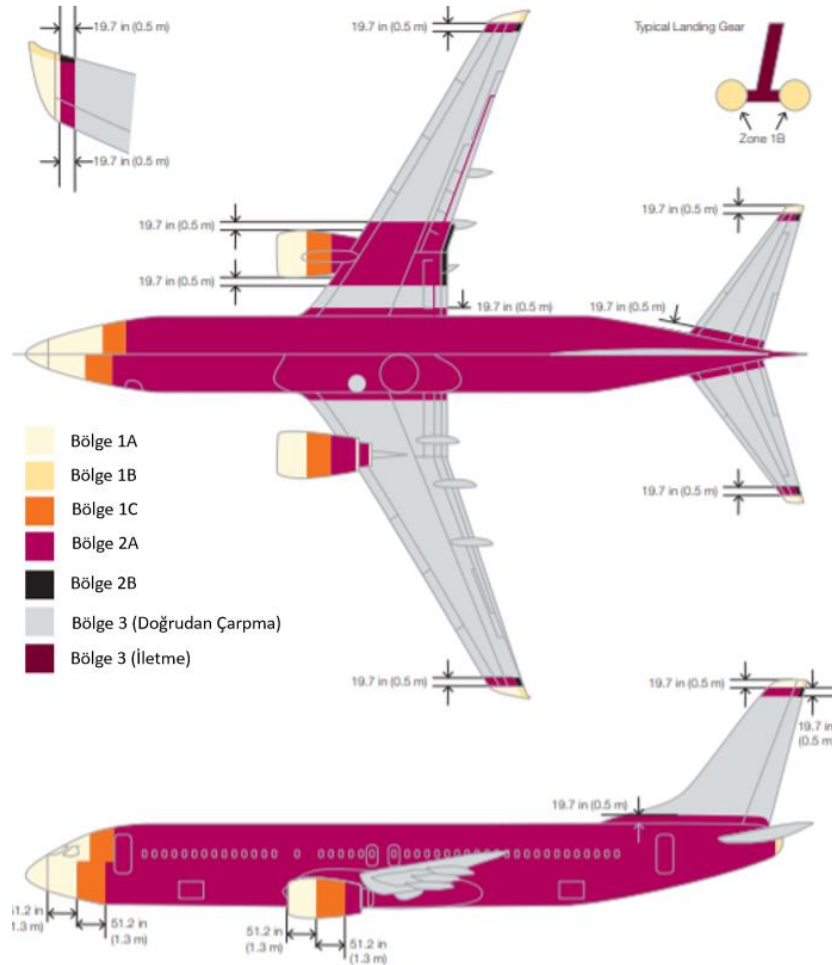
Şekil 9. Yıldırım testleri için dalga form bileşenleri [4]

Yıldırımın uçak üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerinin incelenmesi için gerçekleştirilecek şiddetli doğal yıldırım çarpmalarını temsil edebilecek ideal akım bileşenlerinin belirlenmesi gerekir. Amerikan Otomotiv Mühendisleri Birliği (SAE) havacılık sektörüyle ilgili yayınladığı ARP yayın serisinde yıldırım çarpması ile ilgili uygulamalara yer vermiştir. ARP5412 ile yıldırımların etkilerinin testlerle anlaşılabilmesi amacıyla gerekli olan yıldırım dalga form parametrelerini yayınlamışlardır [4]. Bu veriler voltaj dalga formları ve akım dalga form bilgilerini içermektedir. İdeal voltaj dalga formlarının kullanılması yıldırım bağlantısının anlaşılması konusunda kullanılacak olan elektrik alanın ifade edilmesi için kullanılır. Voltaj yükseldikçe, elektriksel alan elektriksel kırılıma uğrayacağı ana kadar artmaktadır. Kırılma, cam elyaf gibi yalıtkan bir kabuğun açılması ya da yalıtkan bir yüzeyde patlama olarak gerçekleşebilir. Genel olarak, voltaj dalga formları dielektrik kırılmaların çalışmasında tercih edilir. Akım dalga formları ise, direnç ısınması gibi akım baskın olguların değerlendirilmesi için gereklidir. Doğal bir yıldırımın hem voltaj hem akım özelliklerinin test laboratuvarlarında aynı anda simüle edilebilmesi oldukça zordur. Bu nedenle test amacına göre iki olgudan birinin seçilmesi gerekmektedir. Metal/kompozit malzemeler üzerindeki fiziksel hasarı görmek için, akım kaynaklı direnç ısınmalarına sebep olan akım dalga formları uygulanmalıdır. Tablo 2’de A, B, C ve D ideal akım bileşenlerini yıldırımın doğrudan etkilerinin çalışılması konusunda kullanılmaktadır.

Tablo 2. Dolaylı yıldırım etkilerinin testi için kullanılan akım bileşenlerinin tanımları [12]

Parçalar	Tanımlar
Parça A	200kA'lık yüksek akımlı ilk geri dönüş çarpması, $2 \times 10^6 A^2 s$ değerinde verilen enerji, düşük irtifalarda daha sık rastlanan $50 \mu s$ 'den düşük yükseliş zamanı ve kısa süreli ( $< 500 \mu s$ )
Parça A <sub>h</sub>	150kA tepe akımı değerinde geçiş bölgesinin ilk geri dönüş çarpması, $2 \times 10^6 A^2 s$ değerinde verilen enerji, $37.5 \mu s$ 'den düşük yükseliş zamanı ve kısa süreli ( $< 500 \mu s$ )
Parça B	2kA değerinde orta değer akımlı, ilk geri dönüş çarpması ve/veya yeniden çarpmalar
Parça C	200A ve 800A arasında akım genliği olan sürekli akım, 0.25 ve 1.0s arasında sürer, 200 coulomb yük transferi, büyük yük aktarımını temsil eder
Parça C*	C bileşeninin modifiye edilmiş hali, ortalama 400A'dan daha fazla akım taşır.
Parça D	100kA değerinde yüksek akımlı mütakip çarpma, $25 \mu s$ 'e kadar yükseliş zamanı ve kısa süreli

Yıldırımın yoğunluğu ve oluşum sıklığı uçak yüzeyinde çarptığı yere bağlıdır. Dolayısıyla, tasarımcılar ilk çarpma ve ikinci çarpma arasındaki yoğunluk, olası yerler, süpürülmüş çarpma etkilerinin farkında olmalıdırlar Voltaj değişimi üzerinde yapılan araştırmalar sayesinde hava araçlarının hangi bölgelerinin hangi yıldırım çarpmalarına maruz kalabileceği tahmin edilebilmektedir. ARP5414 ile yardımıyla tipik bir hava aracı için yıldırım bölgeleri çıkarılabilir. Şekil 10'da örnek bir taşıma uçağı için yıldırım bölgeleri tasvir edilmiştir [1]. Tablo 3'de yıldırım bölgelerinin kısa tanımları verilmiştir. Yüksek çarpılma ihtimali olan burun, dikey dengeleyici gibi uçak uç bölgeleri Bölge 1 olarak ifade edilir ve bu bölgelerde şiddeti en fazla olan A yıldırım dalgası dikkate alınır. Daha az riskli bölgeler, Bölge 2 olarak sınıflandırılır ve şiddeti daha az olan D yıldırım dalgaları bu bölgelerin değerlendirilmesi için tercih edilir. Bölge 1 ve Bölge 2 gibi yıldırım çarpmasının olası olduğu bölgeler arasında kalan kısımlar Bölge 3 olarak sınıflandırılır ve çarpma yaşanmasa da yıldırım kaynaklı yüksek akımların taşınma olasılığı bölgelerdir.



Şekil 10. Tipik bir yolcu uçağının yıldırım bölgeleri [1]

Tablo 3. Yıldırım bölgeleri ve kısa tanımları [12]

Yıldırım Bölgesi	Tanım
1A	İlk geri dönüş çarpması bölgesi
1B	Uzun tutunmalı ilk geri dönüş çarpması bölgesi
1C	İlk geri dönüş çarpması için geçiş bölgesi
2A	Süpürülmüş çarpma bölgesi
2B	Uzun flaş tutunmalı süpürülmüş çarpma bölgesi
3	1A, 1B, 1C, 2A veya 2B bölgesine dahil olmayan ve yıldırım kanalı ile buluşması olası olmayan bölgeler

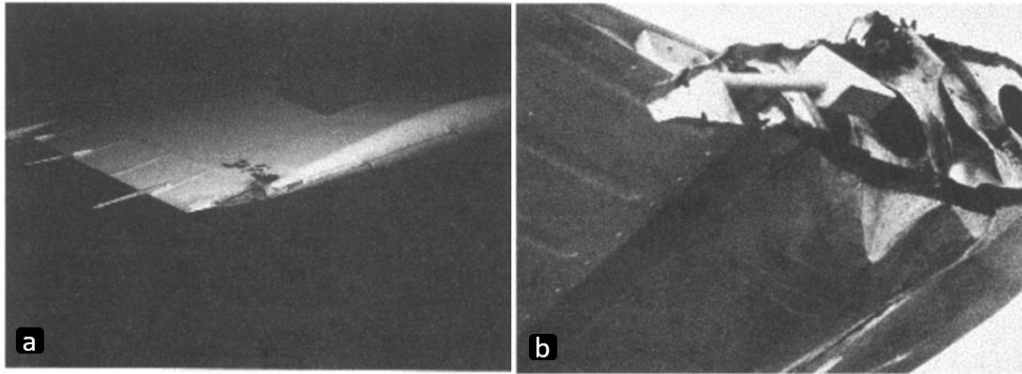
Tablo 4. Yıldırım bölgeleri ve bu bölgelerde kullanılacak test dalga form takımları [12,17]

Yıldırım Bölgesi	Akım Bileşenleri
1A	A, B, C*
1B	A, B, C, D
1C	A <sub>h</sub> , B, C*, D
2A	D, B, C*
2B	D, B, C
3 <sup>†</sup>	A, B, C, D
† Akım katı bir bağlantı ile uygulanır, ark kullanılmaz	

## 5. Uçak Yapılarında Yıldırım Kaynaklı Hasarlar

Yıldırım çarpmalarının uçakta oluşturduğu etkiler iki başlık altında toplanır. Bunlar dolaylı ve doğrudan etkilerdir. Doğrudan etkiler uçak yapılarında ve/veya uçak ekipmanlarında fiziksel hasarlara neden olan etkilerdir. Yüksek akım nedeniyle uçak parçalarında buharlaşma, yanma, erime, havaya uçuş, ayrışma vb. etkiler doğrudan etkilere örnek olarak verilebilir. Ayrıca uçak içerisinde geçmekte olan borulama ve kablaj benzeri iletken sistemlerde yüksek akım geçmesi kaynaklı hasarlarda doğrudan etkiler altında incelenmektedir. Ekipman ve elektriksel devrelerde meydana gelen süreksizlikler ve dalgalanma kaynaklı sorunlar ise dolaylı etkiler altında işlenir.

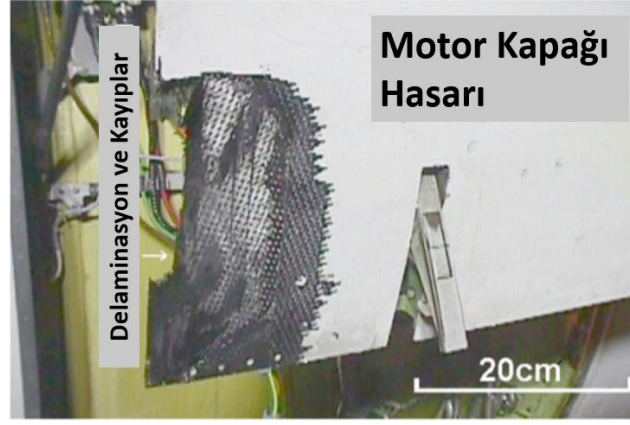
Uçak yapıları düşünülürken, doğrudan etkiler daha fazla önem arz etmektedir. Hem geleneksel metalik yapılarda hem de kompozit malzemeden üretilen parçalarda ciddi hasarlar meydana gelebilmektedir. Bu hasarlar; direnç ısınması, çarpma noktasında süblimleşme, erime, bağlantı noktalarında ark atlaması, manyetik kuvvet kaynaklı etkiler, çarpma esnasında oluşan şok dalgası ve yakıt tankının patlaması gibi farklı formlarda ayrı ayrı ya da aynı çarpmada topluca gerçekleşebilir [6], [18-20]. Şekil 11.'de yıldırım çarpmasının metalik uçak parçaları üzerinde oluşturduğu örnek bir hasar görülmektedir. Şekil 11a'da uçak kabuğu üzerine takılan bir saptırıcıda meydana gelen hasar, Şekil 11b'de ise cam elyaftan üretilen kanat ucunun yıldırım çarpması sonucu oluşturduğu şok dalgası kaynaklı hasar bariz biçimde görülmektedir [21].



Şekil 11. Yıldırım çarpması kaynaklı hasar alan metalik uçak parçaları; saptırıcı hasarı (a), kanat ucu hasarı (b) [21]

Şekil 12. ve Şekil 13.'de ise kompozit malzemelerden üretilen uçak parçalarında meydana gelen hasarlar görülmektedir [10]. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozitlerden oluşan parçalarda, yüksek yıldırım akımı kaynaklı; ayrışma, delaminasyon, reçinenin yanması ve parça köşelerinin yok olması söz konusudur. Bu tip hasarlarda klasik kompozit tamir yöntemlerinin kullanılmaması sonucu parçaların tamamen değiştirilmesi gerekmektedir.





Şekil 12. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit motor kapağında yıldırım kaynaklı hasar [10]



Şekil 13. Karbon elyaf takviyeli polimer kompozit kanatçık parçasında yıldırım kaynaklı hasarlar [10]

#### 4. Sonuç

Yüksek akım ve gerilimin ortaya çıktığı yıldırım olayı çevresine zarar verdiği gibi seyir halindeki bir uçağa da çarparak ciddi hasarlara neden olabilir. Yıldırımlar uçakları doğrudan ve dolaylı birçok etki altında bırakır. Bu etkilerden korunmak amacıyla yıldırımın uçakla olan etkileşimini anlamak gerekir. Yıldırım mekanizmasının uçakla olan etkileşimini, uçakta meydana gelen yıldırım kaynaklı hasarları, uçakların yıldırımdan korunması için oluşturulan yıldırım parametreleri ve parametrelerin kullanım esaslarına bu çalışma kapsamında değinilmiştir. Tüm bu bilgilerin farkındalığında uçakların yıldırıma karşı optimum şekilde korunmasının geliştirilmesi ve yıldırım çarpmasının uçaklar için bir risk olmaktan çıkması için gerekli çalışmalara devam edilmesi havacılık sektörü için son derece önem arz etmektedir.

#### Kaynakça

- [1] Sweers, G., Birch, B., & Gokcen, J. (2012). Lightning strikes: protection, inspection, and repair. *Aero Magazine*, 4, 19-28.
- [2] Maggio, Christopher R.; Marshall, Thomas C.; Stolzenburg, Maribeth (2009). "Estimations of charge transferred and energy released by lightning flashes". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 114 (D14): D14203.
- [3] Gabrielson, B. C. (1988). *The aerospace engineer's handbook of lightning protection*. Interference Control Technologies.
- [4] ARP5412, S. A. E. (2005). Aircraft lightning environment and related test waveforms. *Society of Automotive Engineers, Aerospace Recommended Practice, PA, Revised, 2*.
- [5] Uman, M. A., & Rakov, V. A. (2003). The interaction of lightning with airborne vehicles. *Progress in Aerospace Sciences*, 39(1), 61-81.
- [6] Fisher, F. A., Plumer, J. A., & Perala, R. A. (1989). *Aircraft lightning protection handbook*. LIGHTNING TECHNOLOGIES INC PITTSFIELD MA.
- [7] O'Loughlin, J. B., & Skinner, S. R. (2004). *General aviation lightning strike report and protection level study*. Office of Aviation Research, Federal Aviation Administration.
- [8] Blohm, H. (2007). *Lufthansa Perspectives on Safe Composite Maintenance Practices*. Presented at the FAA Damage Tolerance and Maintenance Workshop, May 9th – 11th, 2007, Amsterdam.
- [9] Nakayama, N. (2009, June). Field experience: Lightning strike damage of ANA B767. In *4th FAA/EASA/Boeing/Airbus Joint Workshop on Safety and Certification, Tokyo*.
- [10] Yamanaka, J. (2009, June). JAL Perspective on Application & Field Experiences for Composite Structure. In *3rd FAA/EASA/Industry Composite Damage Tolerance and Maintenance Workshop*.
- [11] Bazelyan, E. M., & Raizer, Y. P. (1997). *Spark discharge*. CRC press.



- [12] ARP5414, S. A. E. (2018). Aircraft Lightning Zoning. *Society of Automotive Engineers, Aerospace Recommended Practice, PA, Revised*
- [13] Uman, M. A. (2001). *The lightning discharge*. Courier Corporation.
- [14] Heidler, F., Zischank, W., Flisowski, Z., Bouquegneau, C., & Mazzetti, C. (2008, June). Parameters of lightning current given in IEC 62305-background, experience and outlook. In *29th International Conference on Lightning Protection* (Vol. 23, p. 26).
- [15] Rachidi, F. (2004). The quandary of direct measurement and indirect estimation of lightning current parameters. *Impulse*, 7(24), 11.
- [16] Moreau, J. P., Alliot, J. C., & Mazur, V. (1992). Aircraft lightning initiation and interception from in situ electric measurements and fast video observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 97(D14), 15903-15912.
- [17] ARP5416, S. A. E. (2005). Aircraft Lightning Test Methods. *Society of Automotive Engineers, Aerospace Recommended Practice, PA*
- [18] Plumer, J. A. and Robb, J. D. (1982). The Direct Effects of Lightaing on Aircraft. *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatability*, EMC-24(2), pp. 158-172.
- [19] Reid, G. W. (1993). Mechanical damage to aircraft structures from lightning strikes. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 207(1), 1-14.
- [20] Rupke, E. (2002). Lightning direct effects handbook. *Lightning Technologies Inc., Pittsfield*.
- [21] Tudor, D. (2001). *A review of the severe lightning threat* (No. 2001-01-2888). SAE Technical Paper.



# Sıralı Kontrol; Giriş Şekillendirme (Input Shaping) ve PID Kontrolü Bir Araya Getiren Yeni Bir Kontrol Yöntemi\*

Onur Örnek<sup>1\*\*</sup>, H. Ali Ertaş<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-9879-0674)

<sup>2</sup> Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye (ORCID: 0000-0002-8788-9011)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf24)

**ATIF/REFERENCE:** Örnek, O. & Ertaş, H. A. (2020). Sıralı Kontrol; Giriş Şekillendirme (Input Shaping) ve PID Kontrolü Bir Araya Getiren Yeni Bir Kontrol Yöntemi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 188-196.

## Öz

Dinamik sistemler çalışmaları esnasında titreşimlere sebep olur ve çeşitli bozucu etkilere maruz kalır. Sistemlerin maruz kaldığı bu etkiler hem sistemin performansını, hem de ömrünü negatif yönde etkiler. Bu etkilerin yok edilmesi ve sistemin çıkışının istenilen referans değerine hızlı ve kararlı bir şekilde getirilmesi için bu sistemler çeşitli kontrol yöntemleriyle denetlenmelidir. Bu kontrol yöntemleri üç ana grupta toplanabilir: Hızlı yanıt veren ancak bozucu etkilere karşı çaresiz açık çevrim kontrol yöntemleri, nispeten yavaş ancak bozucu etkilere karşı dayanıklı kapalı çevrim kontrol yöntemleri ve her iki yöntemin avantaj ve dezavantajlarını bir araya getiren hibrit kontrol yöntemleri. Bu çalışmada bu üç kontrol yönteminden farklı olarak, açık ve kapalı çevrim kontrol yöntemlerini sıralı bir şekilde bir araya getirerek her iki kontrol yönteminin avantajlarını barındırıp, dezavantajlarından kurtaran yeni bir kontrol yönteminin matematiksel alt yapısı oluşturulmuştur. Bunu gerçekleştirmek için öncelikle portal vinç sisteminin kinematik denklemleri elde edilmiş, sonrasında sistem MATLAB Simulink üzerinde modellenmiştir. Sisteme öncelikle herhangi bir kontrol yöntemi uygulanmadan giriş uygulanarak sistemin temel karakteristikleri elde edilmiştir. Daha sonra sisteme nispeten yeni bir kontrol yöntemi olan ve temelinde sisteme uygulanan giriş sinyallerinin sebep olduğu titreşimleri yok etme prensibi yatan giriş şekillendirme yöntemlerinden en basiti olan sıfır titreşim giriş şekillendirme kullanılmıştır. Kapalı çevrim kontrol yöntemi olarak üzerinde uzun yıllar çalışılmış ve güvenilirliği kanıtlanmış PID kontrol kullanılmıştır. Modellenen sisteme açık çevrim, kapalı çevrim ve hibrit kontrol yöntemleri uygulanarak sistemin çıkış karakteristikleri incelenmiştir. Sonrasında sisteme bozucu etki uygulanarak farklı kontrol yöntemlerinin performansları incelenmiştir. Son olarak elde edilen sonuçlardan daha başarılı bir performansa sahip olması amaçlanan sıralı kontrol yönteminin matematiksel varlığı çeşitli kabullerle kanıtlanmıştır. Ardından bulunan sıralı kontrol yönteminin her durumda diğer yöntemlerden üstün olmasını sağlamak adına yapılması gereken geliştirmeler için önerilerde bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Giriş şekillendirme, PID Kontrol, Hibrit Kontrol, Sıralı Kontrol.

## Sequenced Control; A New Control Method That Combines Input Shaping and PID Control

### Abstract

Dynamic systems cause and are subject to various vibrations and disturbances that not only reduce their lifespan, but also affect the overall performance in a negative way. To remove these effects and ensure the systems' output is within desired limits, these systems must be controlled using various control methods. These methods can be grouped under three major categories: Open loop control methods that have fast response time but are helpless against disturbances, closed loop control methods that are relatively slower but are resistant to disturbances, and hybrid methods that combine both the advantages and the disadvantages of both. In this study, mathematical foundations of a new control method is developed that combines the advantages of both methods without having their

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, ORCID: 0000-0002-9879-0674, [onuornek@cumhuriyet.edu.tr](mailto:onuornek@cumhuriyet.edu.tr)

disadvantages. To achieve this goal, a gantry crane system is mathematically modelled using a pendulum analogy, then it is simulated on MATLAB Simulink interface. Afterwards the system is given input without any control method being applied to determine its characteristics. Then the system is controlled using the relatively new control method called “input shaping” which is based on eliminating the vibrations caused by the input signal from the output signal. PID controller is chosen as the closed loop control method as it is proven many times over the years, to be robust and reliable. The output characteristics of the system are attained for open loop, closed loop and hybrid control methods. Then the system is subjected to disturbance, to compare the performances of each control method. Finally a new control method which is as fast as input shaping and resistant to disturbances is developed under certain assumptions. Then solutions are provided to make sequenced control superior to other control methods under all circumstances.

**Keywords:** Input Shaping, PID Control, Hybrid Control, Sequenced Control.

## 1. Giriş

Dinamik sistemlerin çıkışlarının istenilen değerlerde tutulması amacıyla kullanılan kontrol sistemleri, araştırmacıların uzun yıllar üzerinde çalışmalar yaptığı konulardandır. Yapılan literatür taramasında kontrol sistemleri üzerinde çok sayıda araştırmaya rastlanmıştır. Araştırmalar genel olarak üç grupta toplanabilir: Kapalı çevrim kontrol sistemleri üzerine araştırmalar, açık çevrim kontrol sistemleri üzerine olan araştırmalar ve her iki yöntemin birleştirildiği hibrit kontrol sistemleri üzerine araştırmalar.

Giriş şekillendirme yöntemi sisteme herhangi bir sensör ya da aktüatör eklenmesine ihtiyaç duymayan ve temelinde sisteme uygulanan giriş sinyalinin oluşturduğu titreşimlerin kendi kendini yok etmesini amaçlayan bir titreşim azaltma yöntemidir (Seering vd., 1999). Bu konudaki ilk çalışmalar büyük oranda 1950’lerde O.J.M. Smith’in “Posicast Control” adlı çalışmasına atfedilir (Smith, 1957). Ardından Singer ve Seering’in bu konuda çok sayıda farklı araştırmasına rastlanmıştır. Bu çalışmalar ile giriş şekillendirmenin temellerinin atıldığı söylenebilir. Giriş şekillendirme işleminde uygulanan darbelerin zamanlarının ve sayısının belirlenmesi için kullanılan kısıtlama denklemlerinin farklı çözümleri ile sistemin modelleme hatalarının olduğu durumlarda bile düşük artık titreşim cevabı veren giriş şekillendirici tasarımları yapılabileceği Singer ve Seering’in çalışmalarında gösterilmiştir (Seering ve Singer, 1990). Singhose ve arkadaşları modelleme hatası ve parametre değişimlerinin olduğu durumlarda bile gürbüzlüğü yüksek giriş şekillendirme tekniği önerilerinde bulunmuştur (Roth ve Wiederrich, 1974; Singer vd., 1997). Solihin ve arkadaşları çalışmasında şekillendirilmiş sinyaller kullanarak, sensör olmadan sistemlerin yüksek oranda titreşimsiz kontrol edilebileceğini göstermiştir (Solihin ve Wahyudi, 2007). Türkçe kaynaklara bakıldığında ağırlıklı olarak Prof. Dr. Sırrı Sunay Gürleyük’ün çalışmalarına rastlanır. Gürleyük ve arkadaşları değişken parametrelili sistemlerde giriş şekillendirme uygulanması ile ilgili çeşitli çalışmalarda bulunmuştur (Gürleyük ve Cinal, 2005).

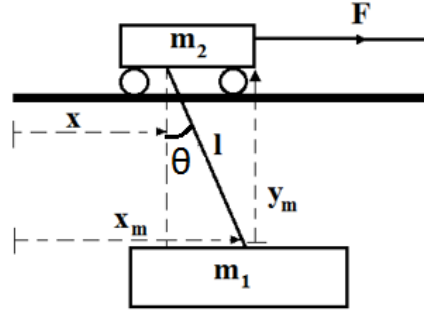
PID kontrol, üzerinde uzun yıllar boyu çalışılmış ve güvenilirliği kanıtlanmış en yaygın kontrol yöntemlerinden biridir. Üzerinde çok sayıda makale bulmak mümkündür. Ancak özellikle Tumari ve arkadaşlarının PID kontrol ve giriş şekillendirmeyi birlikte kullandığı hibrit kontrol üzerine çalışmaları dikkat çekmektedir (Tumari vd., 2013). Huey ise doktora tezinde PID kontrol ve giriş şekillendirmenin bir arada kullanımı hakkında detaylı bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmasında Huey PID kontrol ve giriş şekillendirmenin klasik yöntemlerden farklı olarak, akıllı bir şekilde bir araya getirilmesi üzerinde çeşitli çözümler öne sürmüştür (Huey, 2006).

Bu çalışmada yapılan literatür taramalarında karşılaşılmayan yeni bir kontrol yöntemi geliştirilecektir. PID kontrol ve giriş şekillendirmenin her ikisinin de avantajlarını barındırıp dezavantajlarından kurtulan sıralı kontrol sisteminin teorik altyapısı oluşturulacak ve bu yöntem MATLAB Simulink ortamında simule edilerek elde edilen çıkışlar incelenecektir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Portal Vinç Sisteminin Modellenmesi

Farklı kontrol yöntemlerinin performanslarının ve çıkışa olan etkilerinin incelenmesi için portal vinçlerde kullanılan tramvay sistemini ele alalım. Bu sistemin basit bir sarkaç (pendulum) benzetimiyle serbest cisim diyagramının elde edilmesi mümkündür. Şekil 1’de gösterilen sistemin nonlinear modelinin elde edilmesi için Solihin ve Wahyudi’nin çalışması temel alınmıştır (Solihin ve Wahyudi, 2007). Bu model için  $m_1$  kütlesi taşıyan kütle,  $m_2$  ise tramvayın kütlesi olarak kabul edilip,  $m_1$  kütle için  $\theta$  açısı kadar hareket ettirilirse aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:



Şekil 1. Portal vinç sisteminin serbest cisim diyagramı (Solihin ve Wahyudi, 2007)

$$x_m = x + l \sin \theta \quad (1)$$

$$y_m = -l \cos \theta \quad (2)$$

Sistemin kinetik ve potansiyel enerji ifadeleri kullanılarak Lagrange denklemleri elde edilirse:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_1 l (\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta}^2 \sin \theta) = F \quad (3)$$

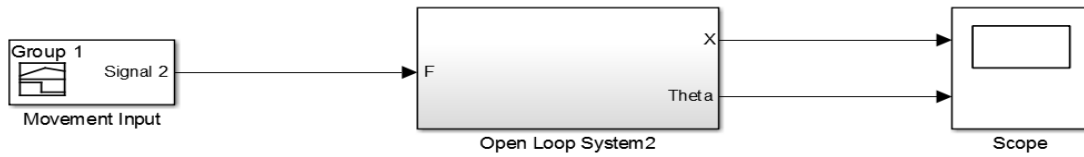
$$l\ddot{\theta} + \ddot{x} \cos \theta + g \sin \theta = 0 \quad (4)$$

$\theta$  açısının çok küçük olduğu durumlarda  $\sin \theta \approx \theta$  ve  $\cos \theta \approx 1$  kabulüyle denklemler lineerleştirilirse:

$$(m_1 + m_2)\ddot{x} + m_1 l \ddot{\theta} = F \quad (5)$$

$$\ddot{x} + l \ddot{\theta} + g \theta = 0 \quad (6)$$

Elde edilen bu denklemler MATLAB'in simulink arayüzünde modellenerek üzerinde çeşitli kontrol yöntemleri denenecektir. Modellenen sistemde, sistem sabitleri olarak, taşınan yükün kütlesi  $m_1$  0,25kg, tramvay kütlesi  $m_2$  1kg, ip uzunluğu  $l$  0,6m, yer çekimi ivmesi  $g$  ise  $9,81 \text{m/s}^2$  alınmıştır.



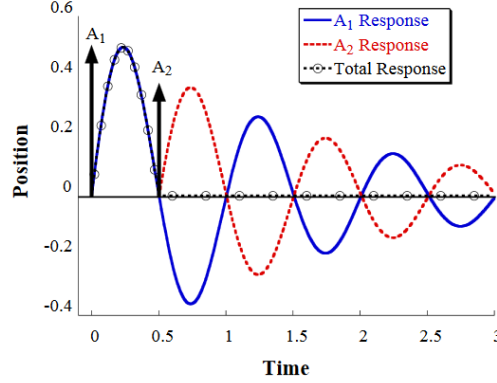
Şekil 2. Açık çevrim sistemin Simulink üzerinde görüntüsü

## 2.2. Giriş Şekillendirme

Giriş şekillendirme, sisteme uygulanan giriş sinyalinin, kendi yarattığı titreşimi yok etmesini amaçlayan açık çevrim bir komut üretme yöntemidir. Temelinde, sisteme uygulanmak istenen herhangi bir komutun, giriş şekillendirici tarafından uygun bir darbe dizisi ile konvüle edilmesi sonucu yeni bir girişin üretilmesine ve bu sayede titreşimlerin yok edilmesine dayanır.

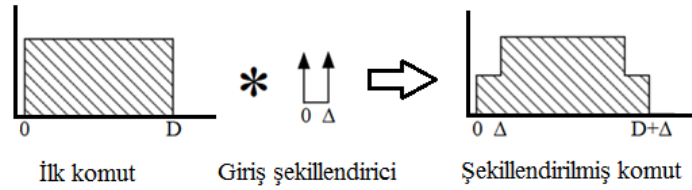
Dinamik bir sisteme darbe giriş verilmesinin titreşimlere sebep olacağı bilinmektedir; ancak sisteme doğru zamanda ikinci bir darbe giriş vererek bu titreşimin yok edilmesi mümkündür. Sisteme uygulanacak  $A_1$  ve  $A_2$  darbe girişlerinin sistem çıkışına yaratacağı etki Şekil 3'te gösterilmiştir (Singhose ve Singh, 2002).

Bu çalışmada giriş şekillendirme yöntemlerinin en basiti olan sıfır titreşim giriş şekillendirme yöntemi kullanılacaktır. Temel olarak sisteme uygulanmak istenen basamak giriş sinyalinin %50'si büyüklüğündeki ilk darbe  $t=0$  anında, %100 büyüklükteki ikinci darbe ise sistemin yarı periyodunda uygulanacaktır. Sistemin beklenen çıkışı Şekil 1'deki grafikte gösterilen toplam cevap (total response) şeklinde olacaktır. Singhose ve arkadaşlarının Tutorial on Input Shaping / Time Delay Control of Maneuvering Flexible Structures adlı çalışmasında sıfır titreşim giriş şekillendirme işlemi için gerekli darbelerin ne zaman gelmesi gerektiğinin hesaplanması detaylı bir şekilde anlatılmıştır (Singhose ve Singh, 2002).



Şekil 3. Giriş şekillendirmenin sistem çıkışına etkisi (Singhose ve Singh, 2002)

Gerçek hayatta karşılaşılan sistemler darbelerle kontrol edilemezler, bu yüzden elde edilen darbe dizisinin sistemde kullanılabilecek komutlara dönüştürülmesi gerekir. Bunu gerçekleştirmek için hesaplanan darbe dizisi, sisteme uygulanmak istenen komut sinyaliyle konvüle edilir. Konvolüsyon işleminin sonucu ise sistemde giriş olarak kullanılır. Titreşime sebep olmayan darbe dizileri, konvolüsyon işlemi sonrası sisteme giriş olarak uygulandığında yine titreşime sebep olmayacaktır. (Singhose ve Singh, 2002)



Şekil 4. Konvolüsyon işlemi ile şekillendirilmiş giriş sinyalinin elde edilmesi (Singhose ve Singh, 2002)

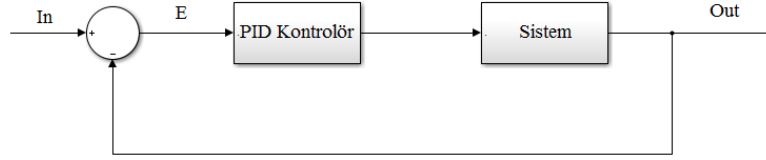
Bu çalışmada modellenen portal vinç sistemine sıfır titreşim giriş şekillendirici sinyal uygulanarak sistemin kendi oluşturduğu titreşimi yok ettiği gözlenecektir, ardından yeterli zaman geçtikten sonra uygulanan bozucu etki ile, sistemin bozucu etkilere karşı çaresiz olduğu gösterilecektir.

### 2.3. PID Kontrol

PID kontrol, üzerinde uzun yıllar araştırmalar yapılan, bozucu etkilere karşı dayanıklı, başarısı ve güvenilirliği yapılan sayısız araştırmalarla kanıtlanmış kapalı çevrim bir kontrol yöntemidir. Temelinde kontrol edilmek istenen sistemin giriş ve çıkışının sürekli olarak gözlenerek, çıkışın istenen referans değerine getirilmesi için kontrolör tarafından gerekli düzeltici sinyalin üretilmesi yatmaktadır (Franklin vd., 1994; Ogata, 1998; Yüksel, 2011). PID kontrol ile ilgili zaman ve frekans domainindeki eşitlikler Denklem (7) (Yüksel, 2011) ve Denklem (8)'de (Kuo, 1995) ve sistemin genel blok diyagramı Şekil 5'te verilmiştir.

Bu çalışmada modellenen portal vinç sistemine PID kontrol uygulanarak sistemin çıkışları gözlenecektir. Yapılan incelemelerde, sistemin kararlı duruma geçmesi için geçen süre (settling time) ve bozucu etkilere karşı dayanımı önemli parametrelerdir. PID kontrol parametrelerinin seçiminde aşım (overshoot) ve oturma zamanları istenen değerlerde tutulacak şekilde Simulink PID tuner arayüzünden yardım alınmıştır.





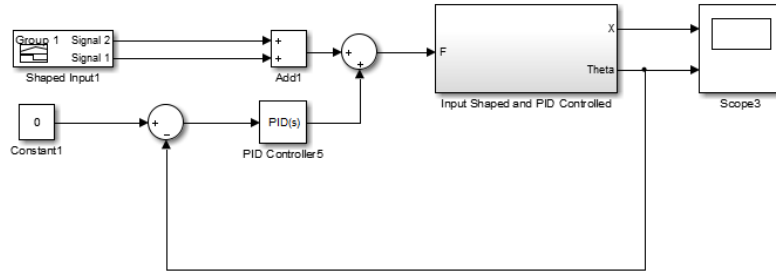
Şekil 5. PID kontrol blok diyagramı

$$u(t) = K_p \left[ e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt + T_d \left( \frac{de(t)}{dt} \right) \right] \quad (7)$$

$$G_{PID} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_D s \quad (8)$$

## 2.4. Hibrit Kontrol

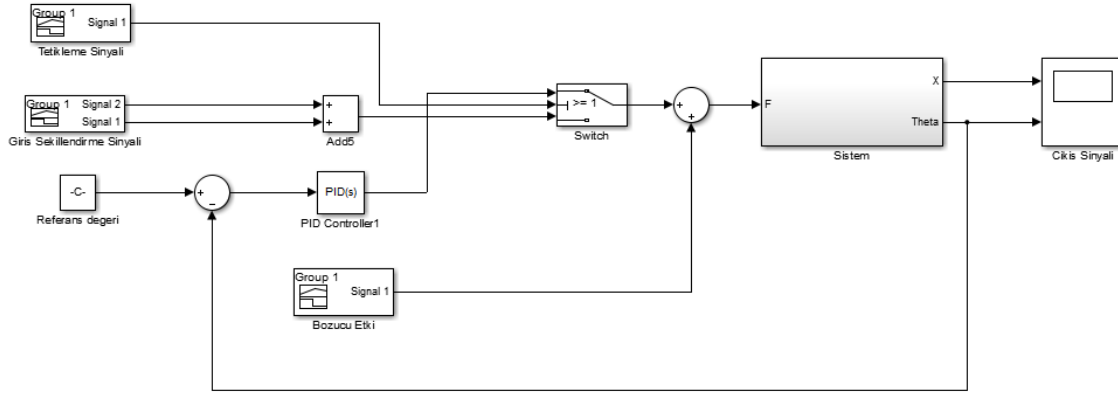
Hibrit kontrol sisteme PID kontrol ve giriş şekillendirmenin birlikte uygulanacağı bir kontrol yöntemidir. Temelde PID kontrolden farklı sisteme giriş sinyalinin şekillendirilmiş olarak verilmesidir. Şekil 6'da hibrit kontrol uygulanan sistemin Simulink modeli verilmiştir. Burada amaç hibrit kontrol uygulanan sistemin PID kontrole göre performans farklılıklarının incelenmesidir. Yine PID kontrolde olduğu gibi, sistemin oturma zamanı ve bozucu etkilere karşı dayanımı incelenecek en önemli noktalarıdır.



Şekil 6. Hibrit kontrol uygulanan sistemin Simulink modeli

## 2.5. Sıralı Kontrol

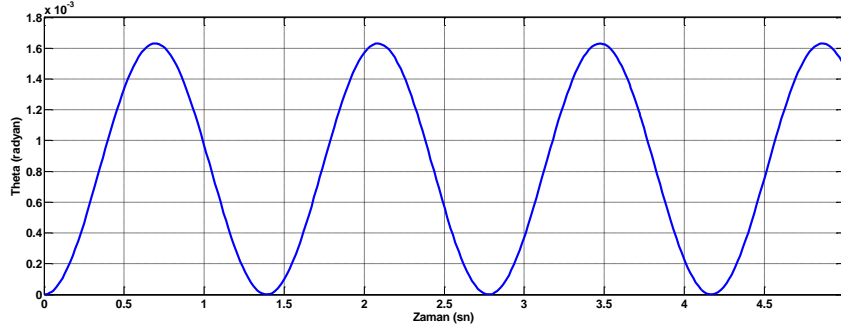
Sıralı kontrolde amaç PID kontrol ve giriş şekillendirmenin avantajlarını bir araya getirip, hibrit kontrolden daha verimli bir kontrol yöntemi geliştirmektir. Sisteme ilk hareket giriş şekillendirilmiş olarak verilecektir. Bu esnada, anahtar vasıtasıyla PID kontrolör devre dışı bırakılacaktır. Giriş şekillendirme sonrası sistemin çıkışı kararlı duruma geçtiğinde, yine anahtar yardımıyla PID kontrolör devreye alınacaktır. Böylece sistemde hem giriş şekillendirmenin hızlı yanıtından, hem de PID kontrolörün bozucu etkilere karşı dayanıklılığından faydalanılacaktır. Sistem kararlı hale geldikten sonra sisteme bozucu etki uygulanarak sistemin çıkışı gözlenecektir. Şekil 7'de sistemin Simulink modeli verilmiştir. Şekildeki tetikleme sinyali anahtar kontrol etmek için kullanılacaktır. Sistemin periyodu, giriş şekillendirme sonrası titreşimsiz hale geçtiği çıkış değeri, yükselme ve oturma zamanları yapılan deneylerle elde edilerek PID kontrolörün ne zaman devreye girmesi gerektiği ve alması gereken referans değeri belirlenecektir. Burada amaç sistem çıkışını 0 radyana getirmek değil, PID kontrolörün sisteme etkisini en aza indirerek, zorunlu olmayan tüm koşullarda sistemin giriş şekillendirmenin hızlı cevabına sahip olmasını sağlamaktır. Sisteme bozucu etki gelmesi gibi, giriş şekillendirmenin yetersiz kaldığı durumlarda ise PID kontrolör devreye girerek sistemi istenilen değere getirecektir.



Şekil 7. Sıralı kontrol uygulanmış sistemin Simulink modeli

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

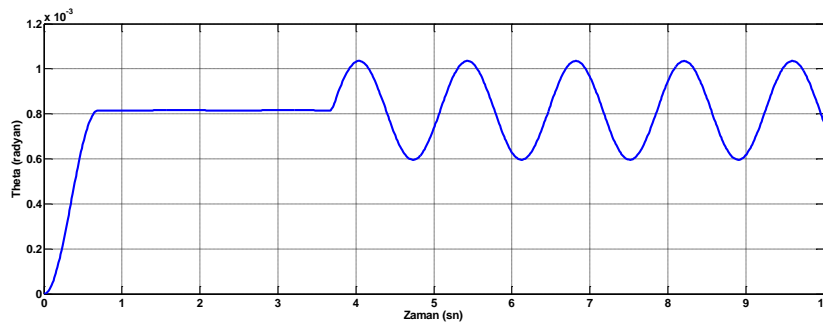
#### 3.1. Açık Çevrim Cevabı



Şekil 8. Açık çevrim sistemin çıkışı

Sisteme 1N basamak giriş uygulanıp çıkışı incelendiğinde  $m_1$  kütlelerinin 0 ile  $1,6 \times 10^{-3}$  radyan arasında salınım yaptığı görülür. Sistemin periyodu 1,392 saniye olarak bulunmuştur. Sistemin periyodu giriş şekillendirme uygulanırken kullanılacaktır.

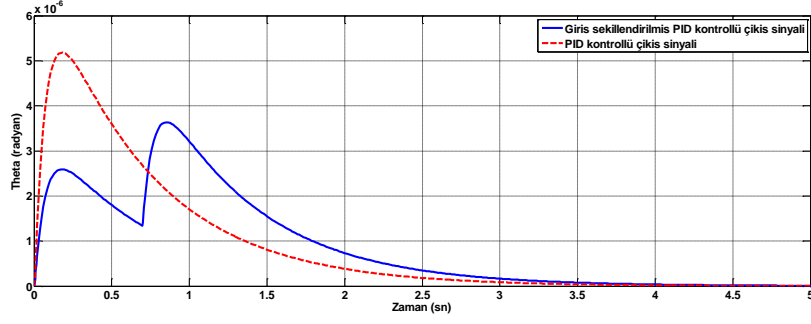
#### 3.2. Giriş Şekillendirme Cevabı



Şekil 9. Giriş şekillendirmenin sistem çıkışına etkisi

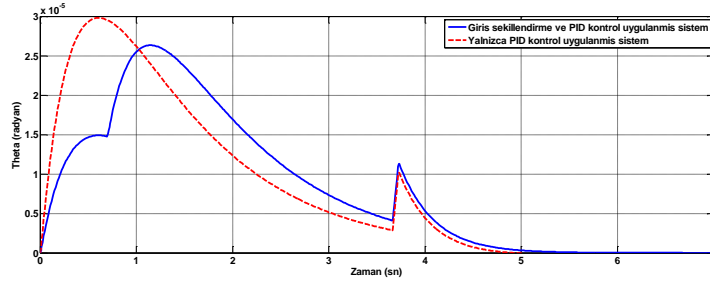
Sisteme 0,696 saniye ( $T/2$  süre) boyunca 0,5 N geri kalan zamanlarda 1 N basamak giriş uygulandığında Şekil 7'deki çıkış grafiği elde edilir. Giriş şekillendirilmiş sistem, yarım periyotta uygulanan 2. darbe ile birlikte salınımsız hale gelmiş, ancak daha sonra gelen bozucu etkiye karşı çaresiz kalmıştır.

### 3.3. PID Kontrol ve Hibrit Kontrol Cevapları



Şekil 10. PID kontrol ve hibrit kontrol sistem çıkışları

Sisteme PID kontrol uygulandığında beklendiği gibi çıkışın 4.5 saniye sonra 0 radyana oturması sağlanmıştır. Ancak giriş şekillendirmeye karşılaştırıldığında sistemin salınımsız hale geçmesinin daha uzun sürdüğü görülmüştür. Yine aynı grafik incelendiğinde hibrit kontroldeki aşımın PID kontrole göre daha az olduğu görülmüştür. Bunun sebebi şekillendirilmiş giriş sinyalinin kendi yarattığı salınımı sönümlenme eğilimidir. Ancak yalnızca giriş şekillendirme uygulanmış sistem ile karşılaştırıldığında sistemin kalıcı duruma gelmesinin daha uzun sürdüğü görülür.

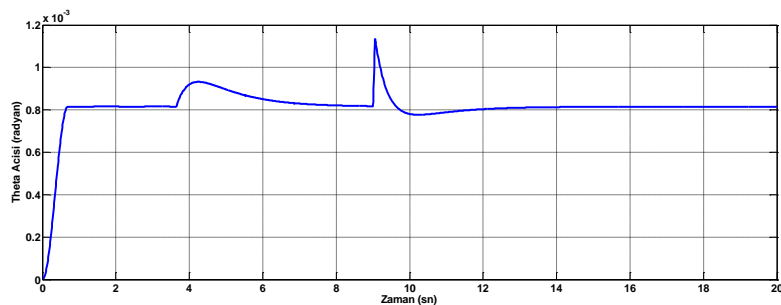


Şekil 11. Bozucu etki uygulanmış sistem için PID kontrol ve hibrit kontrol sistem çıkışları

Şekil 11 incelendiğinde, PID kontrol ve hibrit kontrol uygulanan sisteme bozucu etki geldiğinde, her ikisinin de çıkışı sorunsuz bir şekilde 0 radyana getirdiği gözlenmiştir. Her iki kontrol sisteminin de giriş şekillendirmeden yavaş olmakla birlikte, bozucu etkilere karşı dayanıklı olduğu tespit edilmiştir.

### 3.4. Sıralı Kontrol Cevabı

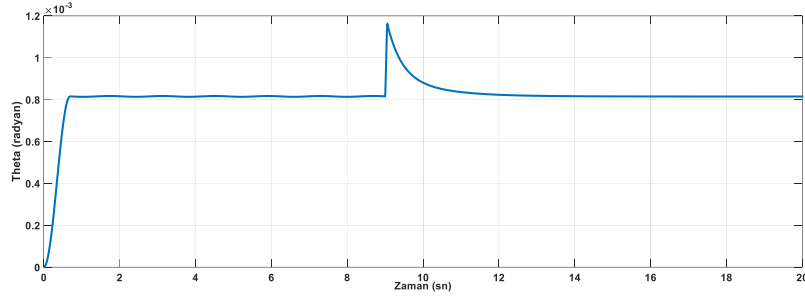
Daha önceki bölümlerde sistemin tüm kontrol yöntemleri ve bozucu etkiler karşısında yanıtları elde edilmiştir. Bu sayede sisteme sıfır titreşim giriş şekillendirme sinyali uygulandığında, sistemin yarım periyotta uygulanan 2. darbe ile birlikte  $0,815 \times 10^{-3}$  radyanda kararlı hale geleceği bulunmuştur. Bu değerler kullanılarak PID kontrolörün referans değeri ve ne zaman devreye girmesi gerektiği belirlenmiştir. Sistem kararlı hale geldikten sonra, PID kontrolör çıkışı  $0,815 \times 10^{-3}$  radyanda tutmaya çalışmaktadır. Burada amaç PID kontrolörün sisteme minimum seviyede müdahale etmesini sağlamaktır. Rasgele seçilen 9. saniyede sisteme uygulanan bozucu etkinin çok kısa bir zaman içinde yok edildiği görülmektedir.



Şekil 12. Sıralı kontrol uygulanmış sistemin çıkışı

Uygulanan kontrol yöntemi sayesinde hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabından, hem de PID kontrolün bozucu etkiye olan dayanıklılığından yararlanılmıştır. Kalkış anındaki birkaç saniyelik an haricinde sistemimiz hem hızlı hem de kararlı hareket eden bir hale getirilmiştir. Karşılaşılan tek sorun 3,66. saniyede PID kontrolörün devreye girişi esnasında ortaya çıkan bozucu etkidir. Bunun sebebi anahtarlama esnasında sisteme gelen kontrol sinyallerindeki süreksizlikten ortaya çıkan anlık değişimdir. Fazladan oluşan bu bozucu etkiyi engellemek için çeşitli yöntemler geliştirilebilir.

Sisteme PID kontrol aktif edilene kadar herhangi bir bozucu etki gelmeyeceğinin ve 9. saniyede bir bozucu etki geleceğinin bilindiğini kabul edelim. Bu durumda ilk 9 saniye boyunca PID kontrolörün aktif olmasına ihtiyaç duyulmayacaktır. PID kontrolör bozucu etkiyle aynı anda aktif edildiğinde çıkış sinyali Şekil 13'teki gibi olur.



Şekil 13. Sıralı kontrolün akıllı bir şekilde devreye alınması sonucu sistemin çıkışı

Grafikte görüldüğü gibi sistem hem PID kontrolörün bozucu etki dayanımına, hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabına sahipken, kontrol sistemleri arasındaki geçiş esnasında oluşan fazlalık titreşimden kurtarılmıştır. Burada yapılan işlem sisteme dışarıdan gelen bozucu etkiyle anahtarlama esnasında sistemin kendi ürettiği bozucu etkiyi üst üste bindirmek olmuştur. Grafikte alınan sonuç, akıllı bir anahtarlama sistemi kullanıldığında, herhangi bir yan etkiye maruz kalmadan her iki kontrol yönteminin de iyi yanlarından yararlanılabileceğini göstermektedir.

## 4. Sonuç

Bozucu etkinin olmadığı durumlarda giriş şekillendirmenin hızlı cevabının avantajlı olduğu görülmektedir. PID kontrol ise bozucu etkiye karşı dayanım sağlamış ancak daha yavaş cevap vermiştir. PID kontrol ve giriş şekillendirmenin birlikte uygulanması her iki sistemin avantajlarını ve dezavantajlarını birlikte barındırmaktadır. Geliştirilen sıralı kontrol sistemi her iki sistemin avantajlarını barındırırken, dezavantajlarından kurtulmuştur.

Sıralı kontrol sisteminin tüm şartlarda rakiplerinden üstün olmasını sağlamak için anahtarlama sistemini kontrol eden akıllı bir karar mekanizması geliştirilmelidir. Bu mekanizma sisteme hangi giriş verildiğinde nasıl bir çıkış alınacağını tahmin edebilmeli, sisteme etkileyen bozucu etkinin sistem çıkışına olan etkisi istenilen değer aralığının dışına çıktığında PID kontrolörü devreye alarak sistemi istenilen değere çekebilmelidir. Bu sayede hem giriş şekillendirmenin hızlı cevabından, hem de PID kontrolün bozucu etki dayanımından yararlanmak mümkün olur.

Karar mekanizmasını geliştirmek için makine öğrenmesi kullanılarak, sistemin farklı girişlere verdiği tepkiler defalarca incelenebilir. Bu sayede sistemin hangi durumda nasıl tepki vereceğini bilmek mümkün olacaktır, sisteme giriş uygulandığı anda, sistemin çıkışının kestirilmesi ve hangi kontrol yönteminin uygulanmasının daha mantıklı olacağını bilmesi mümkün olur.

## Kaynakça

- Franklin, G. F., Powell, J. D., Emami-Naeini (1994). A., Feedback Control of Dynamic Systems. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 3rd edition.
- Gürleyük, S. S., Cinal, Ş. (2005). Dinamik Sistemlerde Titreşimi Azaltmak için Yöntemler ve Sistem Parametre Değişiminin Çalışma Verimine Etkisi, Elektrik Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi, Cilt II, İstanbul, 504-507.
- Huey, J. (2006). The Intelligent Combination of Input Shaping and PID Feedback Control School of Mechanical Engineering Georgia Institute of Technology (PhD Thesis), Georgia, Atlanta 285p.
- Kuo C. B. (1995). Otomatik Kontrol Sistemleri, Prentice-Hall, New Jersey
- Ogata, K. (1998). System Dynamics. Upper Saddle River, New Jersey: Pearson Prentice Hall, 3rd edition.
- Roth, B., Wiederrich J. L. (1974). Design of low vibration cam profiles, Conference on cams and cam mechanisms, Liverpool UK.

- Singhose, W., Singh, T. (2002). Tutorial on Input Shaping / Time Delay Control of Maneuvering Flexible Structures, American Control Conference 2002.
- Seering, W., Singer N. (1990) Preshaping command inputs to reduce system vibration. J. Dynam Syst Measure Control March: 76-82.
- Seering, W, Singer, N., Singhose, W. (1999). Comparison of filtering methods for reducing residual vibration, European Journal of Control 1999 5:208-218.
- Singer, N., Singhose, W., Porter, L. J., Tuttle T. D. (1997). Vibration reduction using multi-hump input shapers. J Dynam Syst Measure Control; June: 198-205.
- Smith, O. J. M. (1957). Posicast Control of Damped Oscillatory Systems, Proceedings of the IRE, vol. 45, no. September, pp. 1249–1255.
- Solihin, M. I., Wahyudi (2007). Sensorless Anti-swing Control for Automatic Gantry Crane System Model-based Approach, International Journal of Applied Engineering Research Vol.2, No.1 pp. 147–161.
- Tumari M., Shabudin, L., Zawawi, M., Shah, A. (2013). Active sway control of a gantry crane using hybrid input shaping and PID control schemes, 2nd International Conference on Mechanical Engineering Research, 50 012029.
- Stefano, M.-L. (1981). Optimal Design of PID Regulators, International Journal of Control, vol. 33, no. 4, pp. 601–616.
- Yüksel, İ. (2011) Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Nobel Yayınevi, 400s.





# Teknik Eleman Yetiştirmede Eğitim Şartlarının Öğrenciler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi\*

Güllü Akkaş<sup>1\*\*</sup>, Feyza Gürbüz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7836-9746)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6327-8232)

((Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.)

**ATIF/REFERENCE:** Akkaş, G., & Gürbüz, F.. (2020). Teknik Eleman Yetiştirmede Eğitim Şartlarının Öğrenciler Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 197-203.

## Öz

Mesleki eğitimde öğrenci beklenti ve memnuniyeti her zaman merak edilen ve araştırılan konular olmuştur. Toplumlardaki sanayileşme süreci her zaman nitelikli teknik eleman ihtiyacını yanında getirmiştir. Meslek yüksekokulları (MYO) endüstri için nitelikli teknik eleman yetiştirme kaynağının başında gelmektedir. Bu çalışma MYO öğrencilerinin beklenti ve memnuniyetlerinin demografik yapıya göre değişimini araştırmıştır. Öğrencilerin beklentilerini ve memnuniyetini ölçmek için Google forms üzerinden çeşitli başlıklar altında anket yapılmıştır. Anket sonuçları istatistiksel olarak ve veri madenciliği teknikleri kullanılarak değerlendirilmiş ve öğrencilerin genel anlamda kaygılandığı durumlar ve memnuniyet duydukları konu başlıkları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Mesleki Eğitim, İstatistiksel Analiz, Veri Madenciliği.

## Investigation of the Effects of Educational Conditions on Technical Staff Training on Students

### Abstract

Student expectations and satisfaction in vocational education have always been curious and researched topics. The industrialization process in societies always brought the need for qualified technical staff. Vocational schools (Vocational Schools) are the primary source of training qualified technical staff for the industry. This study investigated the changes and expectations of Vocational School students according to the demographic structure. In order to measure the expectations and satisfaction of students, a questionnaire was conducted under various headings on Google forms. The results of the survey were evaluated statistically and by using data mining techniques, and the situations in which students were generally concerned and the topics they were satisfied were determined.

**Keywords:** Vocational Education, Statistical Analysis, Data Mining

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7836-9746, [gullu.akkas@kayseri.edu.tr](mailto:gullu.akkas@kayseri.edu.tr)

## 1. Giriş

Mesleki eğitim ve öğretim son yıllarda iki ana nedenden ötürü bir canlanma yaşadı. İlk olarak, ekonomik büyümeyi teşvik etmenin uygun bir yolu olarak. İkinci olarak, sosyal gelişimi teşvik etmek için potansiyel olarak güçlü bir araç olarak görülmektedir. (Nillson, 2010) Bu nedenle mesleki eğitim veren kuruluşlara öğrenci çekebilmek önem arz etmektedir.

Binici ve Arı, Mesleki ve Teknik eğitimde arayışlar isimli çalışmalarında mesleki eğitimimizde reformlara ihtiyaç duyulduğunu savunmuşlardır (Arı & Binici, 2004) . Gizir ve Demir yaptıkları çalışmada, bireysel farklılıkları dikkate alan ve öğrenci-odaklı bir felsefeyle öğrencilerin, ilgi, beceri ve ihtiyaçlarını gözeten programların tüm eğitim kurumlarında geliştirilmesi gerekliliğini savunmuşlardır (Gizir, 2014) (Demir, 1996). Öğrenci odaklı yaklaşımda, öğrenci beklentileri ve memnuniyetleri büyük bir yere sahiptir, çünkü üniversite sınavlarındaki seçimleri doğrudan etkilemektedir.

Son yıllarda ülkemizde kurulan üniversite sayısı artmıştır. 2019 yılı itibariyle 129 devlet ve 73 vakıf üniversitesi eğitim hayatına devam etmektedir (YÖK İ. V., 2020). Artan üniversite sayısına bağlı olarak öğrencilerin seçim kriterleri değişmiştir. Buna bağlı olarak öğrencinin seçmediği bölümler ortaya çıkmıştır. Meslek Yüksek Okulları (MYO) bu tehlikelerle karşılaşan eğitim kurumları içerisinde yer almaktadır. Özellikle MYO'ların sanayi bölgelerinde kurulmasına yönelik YÖK'ün teşvikleri görülmektedir ve bu teşvikler çerçevesinde MYO'ların sanayi bölgesinde kurulmakta olduğu uygulamalar yaygınlaşmıştır (YÖK, 2020).

Veri madenciliği farklı alanlarda başarıyla uygulanmaktadır. Eğitim sektörü de bu uygulamaların yapılabileceği alanlardan biridir. Bu çalışmada Kayseri üniversitesi bünyesindeki MYO öğrencilerinin demografik yapıları incelenmiştir. Üniversiteye gelmeden önceki beklentilerinin ne olduğu, geldikten sonraki memnuniyet seviyeleriyle anketler yardımıyla kıyaslanmıştır. MYO'larının şehir içerisindeki konumları ile ilgili beklentileri ve mevcut durumdan memnuniyetleri ölçülmüştür. Anketler veri madenciliği yöntemi ile anlamlı hale getirilmiştir.

Nilsson “mesleki eğitim ve öğretim ekonomik büyüme için bir motor ve sosyal içerme aracı mı” isimli çalışmasında mesleki eğitimin varsayılan etkileri alandaki genişleyen literatür temelinde eleştirel olarak incelemiştir (Nillson, 2010).

Kılıç ve Kuyumcu; Teknik Eğitim Fakültesi Öğrencilerinin Gelecekte Beklentileri isimli çalışmalarında Teknik Eğitim Fakültesi'nde okuyan öğrencilerin mezun olduktan sonraki beklentilerini belirlemek üzerine çalışmışlardır (Kılıç & Kuyumcu, 2008).

Giorgio Brunello, 13 Avrupa ülkesinde eğitim ve öğretim arasındaki tamamlamayı deneysel çalışmasını yapmıştır (Brunello, 2001).

Ucar ve Sen, uzaktan Bilgisayar mühendisliği bölümü uzaktan eğitim öğrencilerinin başarılarının veri madenciliği yöntemleri ile değerlendirilmesi isimli çalışmada Karabük'teki Bilgisayar mühendisliği öğrencilerinin başarılarını veri madenciliği tekniklerini kullanarak karşılaştırmışlardır (Sen & Ucar, 2012).

Veri önleme veya hazırlama, veri madenciliği sürecinde önemli ve kritik bir adımdır ve bir veri madenciliği projesinin başarısı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Hu, 2003). Çeşitli veri kaynaklarında ve web'de birçok düşük kaliteli bilgi mevcut olsa da, birçok kuruluş veya şirket, verilerin yüksek kâr amaçlı kullanılabilir temiz formlara nasıl dönüştürüleceğiyle ilgilenmektedir. Bu hedef, ham verilerin temizlenmesini amaçlayan veri analizine acil ihtiyaç duymaktadır (Zhang, Zhang, & Yang, 2003).

Chen, Tseng ve Hong (2008), belirli bir veri kümesinin dizinlerini temsil eden en küçük özellik kümesini bulmak için bit tabanlı bir özellik seçim yöntemi önermektedir. (Chen, Tseng, & Hong, 2008).

Gürbüz, Özbakır ve Yapıcı'nın çalışmalarında veri kümesini azaltmak amacıyla analiz, anomali tespit analizi, buluntu bağımlılıkları ve kaba kümeler kullanılmıştır. Ayrıca, veri madenciliğinin sınıflandırma teknikleri, bileşenin sınıf niteliği olarak uyarı seviyesini tahmin etmek için kullanılır (Gürbüz, Özbakır, & Yapıcı, 2011).

## 2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada Kayseri Üniversitesi Meslek Yüksekokulu öğrencilerinin üniversite tercihinden önceki beklentileri ile ilgili ve tercih ettikleri bölümden memnuniyetleri ile ilgili ve ek olarak öğrencilerin demografik yapısı ile ilgili sorular yöneltilmiştir.

Birinci bölümde öğrenciler demografik yapıyla ilgili soruları cevaplamıştır. Bu sorular öğrencilerin bölümleri, programları, cinsiyetleri, yaşları, sınıfları, aile gelir düzeyleri, anne ve baba eğitim durumları, anne-baba meslekleri, öğrencilerin kardeş sayısı gibi konularda fikir vermektedir.

İkinci bölümün soruları ise sekiz ana başlıktan oluşmuştur ve üniversite öğrencisi olmadan önce bir üniversiteden beklentilerini ölçmeye yöneliktir. Bu bölümün ana başlıkları şöyledir:

1. Akademik olanaklar ve öğrenmeyi destekleyici olanaklar hakkındaki beklentiler
2. Üniversitenin sportif faaliyetleri hakkındaki beklentileri
3. Meslek Yüksekokullarının yerleşimi hakkındaki beklentileri
4. Meslek Yüksekokullarından mezun olduktan sonraki olası iş potansiyeli ile ilgili beklentileri
5. Öğrencilere sağlanan hizmetler ile ilgili beklentileri

6. Eğitim programları ve öğretim ile ilgili beklentileri
7. Ölçme ve değerlendirme sistemi hakkındaki beklentileri
8. Akademik danışmanlık ve rehberlik hakkındaki beklentileri

Üçüncü bölümde de yedi ana başlık altında öğrencilerin mevcut durumdan memnuniyetleri ölçülmüştür. Son olarak öğrencileri mevcut durumlarında en çok memnun eden ve en çok mutsuz eden detaylar hakkında fikir alınarak anket tamamlanmıştır. Bu bölümün soruları için ana başlıklar ise aşağıdaki gibidir.

1. Akademik olanaklar ve öğrenmeyi destekleyici olanaklar hakkındaki memnuniyetleri
2. Üniversitenin sportif faaliyetleri hakkındaki memnuniyetleri
3. Meslek Yüksekokullarının yerleşimi hakkındaki memnuniyetleri
4. Öğrencilere sağlanan hizmetler ile ilgili memnuniyetleri
5. Eğitim programları ve öğretim ile ilgili memnuniyetleri
6. Ölçme ve değerlendirme sistemi hakkındaki memnuniyetleri
7. Akademik danışmanlık ve rehberlik hakkındaki memnuniyetleri

Yapılan anketlerden elde edilen veriler PolyAnalyst 5.0 programı ile işlenmiştir. Bu program serbest metin yığınları ve yapılandırılmış veri yığınlarında gizlenmiş, işlenebilir bilgilerin çıkarılabilmesi için önde gelen bir sistemdir. Programda tüm veri kaynaklarına erişilebilir ve farklı kaynaklardan gelen veriler birleştirilebilir. Eksik verileri çarpıtma ve yazım hatalarını düzeltme gibi güçlü veri temizleme işlemleri ile kirli veriler şekillendirilebilir. Çeşitli ileri düzey doğal dil işleme araçlarıyla tamamlanan çok çeşitli istatistiksel ve makine öğrenimi algoritmaları arasından seçim yapılabilmektedir (Megaputer, 2020).

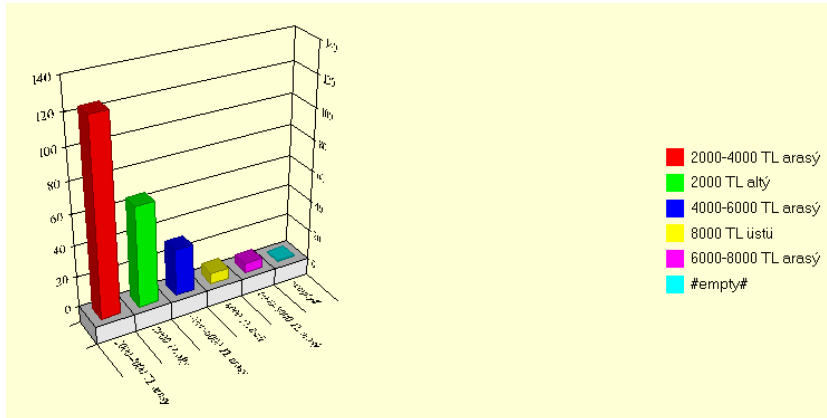
Anket değerlendirme sürecinde programın hem istatistiksel analiz, hem de metin analiz motoru kullanılmıştır. Metin Analizi (TA) arama motoru, yapılandırılmamış metin notlarının veritabanı biçiminde morfolojik ve anlamsal analizini yapar. TA, metin notlarından en önemli kelimeleri ve kelime kombinasyonlarını çıkarır ve sayar ve veri tabanı kayıtlarını karşılaşılan terimlerin kalıplarıyla tokenize etmek için terim kurallarını saklar. TA tarafından elde edilen sonuçlar, PolyAnalyst'in diğer görselleştirme (LA) ve sınıflandırma (DT, DF) motorlarına girdi olarak kullanılabilir. İstatistikler bir makine öğrenme algoritması değildir, ancak yine de analiz prosedürünün hayati bir parçasıdır. Özet İstatistik arama motoru, ortalamalar, standart sapmalar ve frekanslar dahil olmak üzere verilerinizle ilgili temel istatistikleri sağlar. Ek olarak, Özet İstatistikler raporu her kategori, dize ve evet / hayır değişkeni için frekans grafikleri içerir (PolyAnalyst, 2007).

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

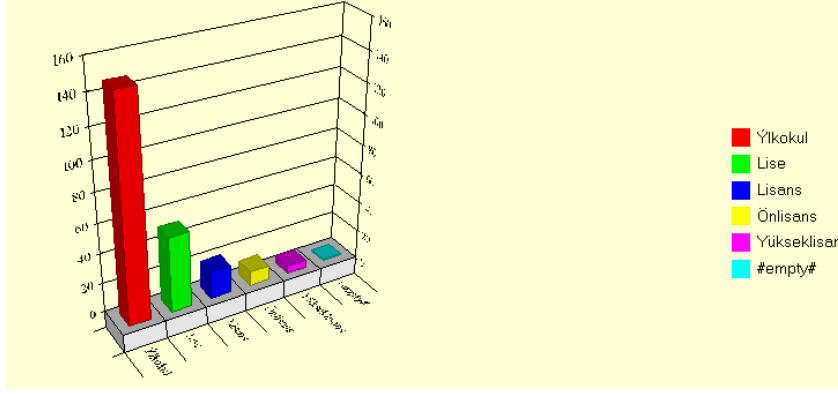
Anketin birinci bölümünde MYO öğrencilerine aileleri hakkında sorular yöneltilmiştir. Buna göre öğrencilerin aile gelir düzeyi genel olarak 2000-4000 TL aralığında ve 2000TL 'nin altında olduğu tespit edilmiştir. Aile gelir düzeyi 4000 TL'nin üzerinde olan öğrencilerin MYO'ları tercih etme durumu azınlıktadır (Şekil 1)

Anne ve baba eğitim durumları incelendiğinde, çoğunlukla ilkokul ve lise düzeyinde ebeveynlerin çocuklarının MYO'lara yöneldiği söylenebilir. Yüksek oranda ev hanımı annelerin çocukları tercihini MYO'ya yöneltmiştir.

Babaların mesleğinin ise çoğunlukla emekli, çiftçi, serbest meslek, işçi ve esnaf olduğu görülmüştür (Şekil 2). Bu meslek gruplarına nispeten MYO'ya çocuğunu en az yönlendiren babaların mesleklerinin öğretmen ve muhasebeci olduğu söylenebilir. Elde edilen sonuçlarda öğrenci profilinin daha çok aile bütünlüğünün sağlanmış olduğu, yani anne babanın sağ olduğu veli gruplarının çocukları MYO'ları tercih etmiştir. Öğrencilerin kardeş sayıları ortalama 3'tür ve üst seviyede 9 kardeşe kadar çıkmaktadır.



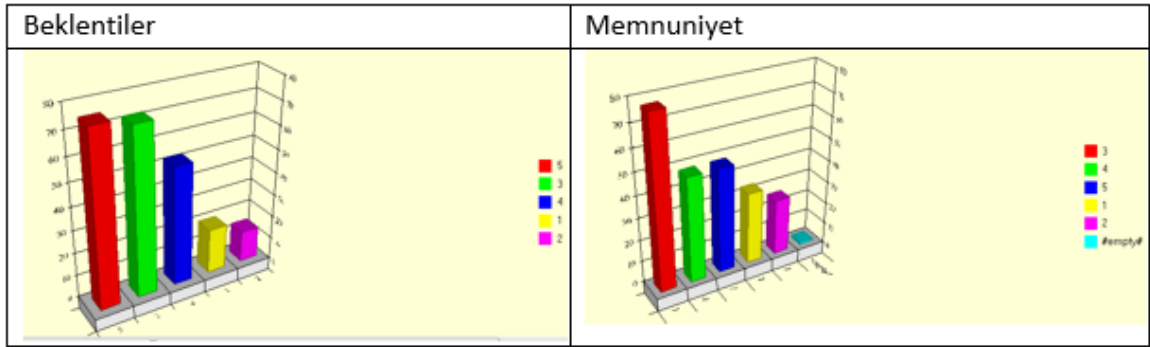
Şekil 1 Öğrencilerin aile gelir düzeyi dağılımı



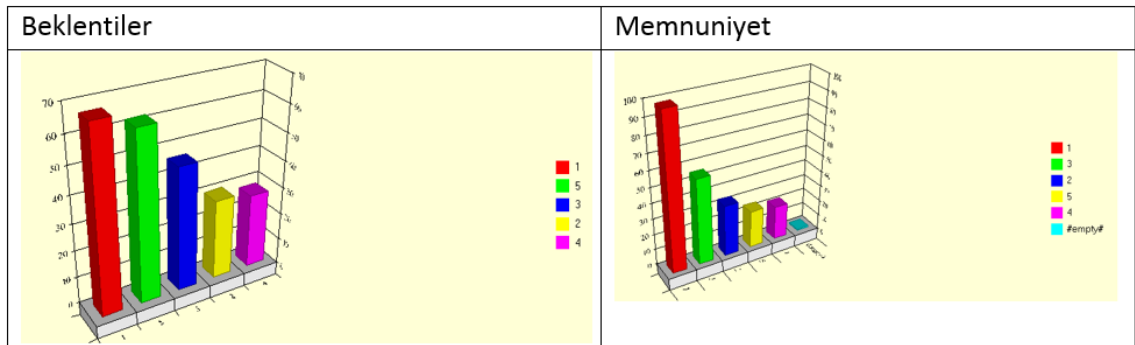
Şekil 2. Öğrencilerinin babalarının eğitim durumu

Yapılan anketlerin değerlendirilmesi sonucunda ikinci bölümünde yer alan verilere göre öğrencilerin beklenti ve memnuniyetleri tespit edilmiştir.

Öğrenci beklenti ve memnuniyetleri 8 ana başlık altında incelenmiştir. İlk olarak Akademik olanaklar ve öğrenmeyi destekleyici olanaklar hakkındaki beklentiler ile ilgili sorular öğrencilere yöneltilmiş bu kısımda öğrenci beklentisinin yüksek olduğu ölçülmüştür. Bu kısımda çoğu öğrenci yönetimden ve idari personelden aldıkları davranış duyarlılığını önemserken, kulüp etkinlikleri, kültürel ve sanatsal faaliyet gibi etkinlikleri geri plana almışlardır. Ancak kendileri için öncelikli oldukları davranış ve tutum beklentilerinden memnuniyetleri şekil 3'te görüldüğü gibi orta düzeyde ve ortanın biraz üstünde çıkmıştır. Bunların yanı sıra sağlık hizmetlerinin kaliteli olmasının kendileri için önemli olduğunu düşünmektedirler (Şekil 3 ve Şekil 4).

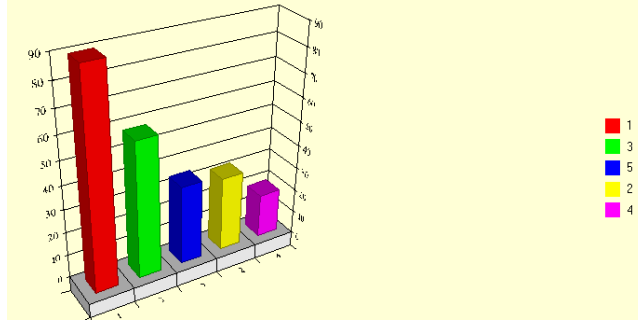


Şekil 3 Yönetimin öğrenci sorunlarına karşı duyarlılığı ile ilgili beklentiler ve memnuniyetleri

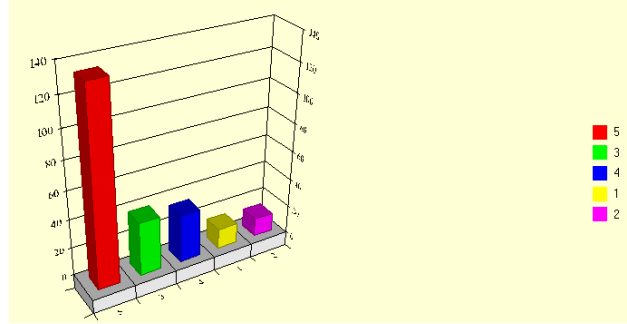


Şekil 4 Öğrenci kulüpleri ile ilgili beklentilerin önem sırası (1 önemsiz-5 çok önemli) ve mevcut durumdan memnuniyetleri

Bir diğer başlıkta ise MYO'nun şehir içerisindeki konumu hakkındaki beklentileri ölçülmüştür. Öğrenci gruplarının eğitim gördükleri binanın konumunun sanayi bölgesinde olmasını istemedikleri görülmüştür. Daha çok okulun şehir merkezinde ve özellikle merkez kampüs içerisinde bulunmasını istemektedirler (Şekil 5, Şekil 6 ve Şekil 7).

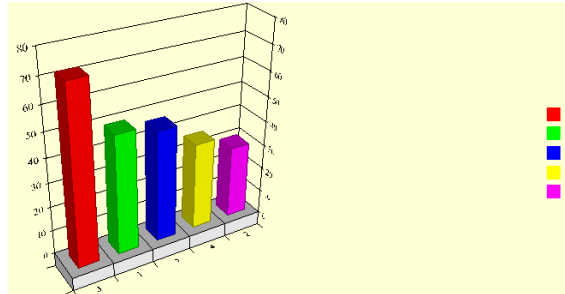


Şekil 5. MYO ların sanayi bölgesinde bulunması ile ilgili beklentileri

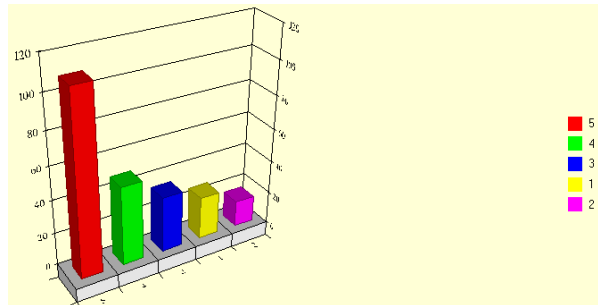


Şekil 6. MYO'ların şehir merkezine yakın olması gerekliliği ile ilgili beklentileri

Başka bir başlık ise öğrencilerin Meslek Yüksekokullarından mezun olduktan sonraki olası iş potansiyeli ile ilgili beklentilerini ölçmeye yöneliktir (Şekil 7 ve Şekil 8). Bu kısımda öğrenciler sanayi bölgesinde çalışıp çalışmayacaklarından çoğunluk olarak emin değiller, ancak çalışabileceğine de inanan bir çoğunluk var. Öğrencilerin mezun oldukları alan ile ilgili bir sektörde çalışabileceklerine olan inançları yüksektir.



Şekil 7. Sanayi bölgesinde iş bulabilme ile ilgili beklentileri



Şekil 8. Mezun oldukları alan ile ilgili çalışabilecekleri hakkındaki beklentileri

Anketi beklenti olarak ele aldığımızda öğrencilerin okulun fiziksel ortamının (yemekler, yemek fiyatları, tuvalet, lavabo yeterliliği, dersliklerin temizliği, aydınlatılması, ısınması gibi) kalitesinden, kütüphane, kantin ve burs gibi hizmetlerden yana beklentilerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu alandaki memnuniyetlerine bakıldığında ise genel olarak orta derecede fiziki şartlar, kantin ve burs konularından memnun oldukları söylenebilir.



Anketi Eğitim programları ve öğretim ile ilgili beklentiler, Ölçme ve değerlendirme sistemi hakkındaki beklentiler, Akademik danışmanlık ve rehberlik hakkındaki beklentiler olarak ele aldığımızda beklentilerin yüksek olduğu görülmektedir. Bunların yanı sıra bu konularda memnuniyet düzeyinin genelde orta seviyede kaldığı söylenebilir.

Sunulan imkanlar içerisinde en çok memnunum cevabını alan seçenek bilgisayar imkanları iken, çoğunluğun memnun kalmadığı konuların ise kulüp imkanları, sanatsal faaliyetler, sportif faaliyetler, kültürel etkinlikler ve sağlık hizmetleri olduğu görülmüştür (Şekil 9=EK1).

Anketimizde yer alan son üç soruya verilen cevaplara uygulanan metin analizi sonucunda öğrencilerin genel olarak hem fikir oldukları yüksekokullarında onları en çok mutlu eden üç neden içerisinde sırasıyla arkadaşları, hocaları ve okul ortamı gelmekte iken, en çok mutsuz eden 3 neden uygulamaların yetersiz olması, sosyal tesis yetersizliği, kantin ve lavabo temizliği gelmektedir.

En çok öneri alan konular ise uygulama çalışmalarının ve sosyal etkinliklerin artırılması olarak tespit edilmiştir. Yabancı dil eğitimini ise yetersiz bulmaktadırlar.

## 4. Sonuç

Birinci bölümde öğrenciler demografik yapıyla ilgili soruları cevaplamıştır. Bu sorular öğrencilerin bölümleri, programları, cinsiyetleri, yaşları, sınıfları, aile gelir düzeyleri, anne ve baba eğitim durumları, anne-baba meslekleri, öğrencilerin kardeş sayısı gibi konularda fikir vermektedir.

Anket sonuçlarına göre öğrencilerin ailelerinin sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel profilinin düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Nitelikli eleman yetiştirmede kaliteyi yukarı seviyeye çıkarmak için sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel profilleri yüksek ailelerin çocuklarının da bu alana yönlendirebilecek düzeyde çalışmaların yapılması esastır.

İkinci ve üçüncü bölümlerin soruları ise sekiz ana başlıktan oluşmuştur ve üniversite öğrencisi olmadan önce bir üniversiteden beklentilerini ve öğrencilik süreçlerindeki durumdan memnuniyetlerini ölçmeye yöneliktir. Bu bölümün ana başlıkları ve bunlar hakkındaki öneriler aşağıda özetlenmiştir.

Akademik olanaklar ve öğrenmeyi destekleyici olanaklar hakkındaki beklentileri yapılan anketler sonucunda yüksek çıkmıştır. Ancak memnuniyet seviyesi orta ve ortanın altında çıkmıştır. Burada kalite sistemlerinin çalışmaları üzerinde yoğunlaşarak öğrenci anketleri ile yönetimin kendi iç paydaşları içerisindeki konumunu iç değerlendirmeye tabi tutarak gerekli revizyonları yapması uygun olacaktır.

Üniversitenin sportif faaliyetleri hakkındaki beklentileri orta seviyelerde kalmakta ancak sosyo-ekonomik ve sosyo-kültürel açıdan yüksek profilde veli ve öğrenciyi MYO'lara çekmek de gerekmektedir. Bunun için öğrenciyeye yönelik sportif faaliyetleri (ilgili spor takımlarının kurulması, turnuvalarda yer almak... gibi) artırmak ve medyada bunlarla anılabilmek etkili olacaktır.

Meslek Yüksekokullarının yerleşimi hakkındaki beklentileri, Yüksek Öğretim Kurumu'nun (YÖK) devlet desteği MYO'ların sanayi bölgesinde kurulmasına yönelik olsa da, öğrenci odaklı yaklaşım ele alındığında öğrencilerin merkezde olan MYO'ları tercih etme eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu anlamda mevcut konumlarından memnun oldukları ve sanayi bölgesinde bir MYO'nu düşünmeyecekleri belirlenmiştir. Bu anlamda YÖK desteklerinin MYO'ların konumundan çok teknik alt yapılarını geliştirmeye yönelik kaynaklara kanalize etmesi tavsiye edilebilir.

Meslek Yüksekokullarından öğrencilerin mezun olduktan sonraki iş bulma konusundaki beklentileri kendi alanları ile ilgili çalışma imkânı bulabilecekleri yönündedir. Bu beklentiyi desteklemek adına MYO yönetimlerinin sanayi ile iş birliği içerisinde kalması gerekmektedir.

Öğrencilere sağlanan hizmetlerde öğrencilerin daha hassas olduğu anket sonuçlarından çıkarılmıştır. Bu yönde alınacak tedbirler MYO'larda hizmet alt yapılarını güçlendirerek öğrenci memnuniyetini artırmak olacaktır.

Öğrencilerin en çok beklenti içerisinde buldukları konuların başında eğitim programları ve öğretim ile ilgili beklentiler gelmektedir. Bu konuda memnuniyetleri ortanın üzerindedir. Bu sonuca göre öğrencilerin bilinçli bir şekilde meslek eğitimi almak için MYO'ları tercih etmekte olduğu söylenebilir.

Bu anketler göstermektedir ki, MYO'larda akreditasyon çalışmaları daha üst seviyede öğrencileri çekmek ve mevcut öğrenci sayılarını koruyabilmek açısından ciddiye alınması gereken konulardır.

İleriki çalışmalarda anket kapsamının genişletilerek çok daha fazla MYO öğrencisine ulaşılması ve mezun takip sistemleri ile daha fazla mezuna ulaşılması hedeflenmektedir.

## Kaynakça

- Arı, N., & Binici, H. (2004). Mesleki ve Teknik Eğitimde Arayışlar. *GÜ. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, Cilt 24, Sayı 3, pp. 383-396.
- Brunello, G. (2001). On the Complementarity between education and training in Europe. *IZA Discussion Paper*, No.309,FEEMWorkingPaperNo.40.AvailableatSSRN: <https://ssrn.com/abstract=273040> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.273040> June 2001.

- Chen, W., Tseng , S., & Hong, T. (2008). An efficient bit-based feature selection method. *Expert Systems with Applications*, Vol. 34, pp. 2858-2869.
- Demir, A. (1996). Üniversitedeki seçmeli ders uygulamasının öğrenciler ve öğretim üyelerince değerlendirilmesi. *Psikolojik Danışma ve Rehberlik Dergisi*, Vol 2, pp 24-31.
- Gizir, C. (2014). Orta Doğu Teknik Üniversitesi Son Sınıf Öğrencilerinin Problemleri Üzerine Bir Çalışma. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, cilt 1, sayı 2.
- Gürbüz, F., Özbakır, L., & Yapıcı, H. (2011). Data mining and preprocessing application on component reports of an airline company in Turkey. *Expert System with Applications*, vol 38, pp. 6618-6626.
- Hu, X. (2003). DB-reduction: A data preprocessing algorithm for data mining applications. *Applied Mathematics Letters*, Vol.16, pp.889-895.
- Kılıç, A., & Kuyumcu, A. (2008). Teknik Eğitim Fakültesi Öğrencilerinin Gelecekte Beklentileri. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, Vol:7, Issue:26, pp-047-063.
- Megaputer. (2020). <https://www.megaputer.com/polyanalyst/> adresinden alındı
- Nillson, A. (2010). Vocational education and Training- an engine for economic growth and a vehicle for social inclusion. *International Journal of Training& Development*, Vol 14, Issue 4.
- PolyAnalyst. (2007, Nisan). User Manuel of PolyAnalyst 6.5.
- Sen, B., & Ucar, E. (2012). Evaluating the achievements of computer engineering department of distance education students with data mining methods. *Procedia Technology*, Vol 1, pp.262-267.
- YÖK. (2020). [https://www.yok.gov.tr/Documents/Kurumsal/egitim\\_ogretim\\_dairesi/Meslek-Yuksekokullar%C4%B1/05\\_Asl%C4%B1\\_Gunay.pdf](https://www.yok.gov.tr/Documents/Kurumsal/egitim_ogretim_dairesi/Meslek-Yuksekokullar%C4%B1/05_Asl%C4%B1_Gunay.pdf) adresinden alındı
- YÖK, İ. V. (2020). <https://istatistik.yok.gov.tr/> adresinden alındı
- Zhang, S., Zhang, C., & Yang, Q. (2003). Data preparation for data mining. *Applied Artificial Intelligence*, Vol.173, 75-381.



# Damar İçi Stentlerde Malzeme Seçiminin ve Tasarımının Restenoz ve Diğer Stent Kaynaklı Problemlere Etkileri, Stentlerin Ekonomideki Yeri (Bir Genel Derleme)\*

Gülşen Akdoğan<sup>1\*\*</sup>, Ömer Burak İstanbullu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6473-8897)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3150-9195)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf26)

**ATIF/REFERENCE:** Akdoğan, G. & İstanbullu, Ö. B. (2020). Damar İçi Stentlerde Malzeme Seçiminin ve Tasarımının Restenoz ve Diğer Stent Kaynaklı Problemlere Etkileri, Stentlerin Ekonomideki Yeri (Bir Genel Derleme). *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 204-215.

## Öz

Damar yolu hastalıklarının tedavisinde kullanılan damar içi stentler, özellikle kardiyovasküler cerrahi alanında hayat kurtarıcı tedavi olarak önemli bir rol oynamaktadır. Stentlerin tasarımı ve üretiminde kullanılan malzemeler; operasyonel uygulama ve damar yolu tıkanıklıklarına çözüm sunma açısından oldukça etkilidir. İlk stent tasarımları 316L (düşük karbonlu medikal paslanmaz çelik) malzemelerin kullanıldığı kaplamasız metal stentler şeklinde geliştirilmiş ve günümüzde şekil hafızalı akıllı stent tasarımları, ilaç salınımlı stent teknolojileri ve biyobozunur stentler ortaya çıkmıştır. Yeni teknoloji stentlerin üretiminde polimerik malzemelerin yanı sıra nitinol, Ti alaşımları ve Mg tabanlı malzemeler öne çıksa da günümüzde halen 316L malzeme kullanılarak üretilen stentler de mevcuttur.

Korozif bir ortam olan damar yolu içerisine yerleştirilen kaplamasız metal stentlerde korozyon meydana gelmesi sonucunda stentin mekanik mukavemeti zayıflamakta ve bu da stentin kırılmasına yol açarak vasküler yolun tekrar tıkanmasına neden olabilmektedir. İlaç salınımlı stentlerde ise kullanılan antiproliferatif ajanların zamanla tükenmesi neticesinde stent kaynaklı tıkanma problemleri ile karşılaşmaktadır. Biyobozunur stentlerde ise stentin bozunma süresinin kontrol altına alınması, çözüm bekleyen bir başka problemidir.

Vücut içerisine yerleştirilen stentlerde; üretimlerinde kullanılan malzeme fark etmeksizin, vücut sıvıları ile sürekli olan etkileşimleri sonucunda, zamanla tekrar damar tıkanıklığına yol açan problemler meydana gelmektedir. Dolayısıyla mevcut tüm stentlerin damar yolu hastalıklarına yalnızca geçici bir tedavi sağlayabildiği göze çarpmaktadır.

Stentlerin sunduğu tedavinin kalıcı olabilmesi için stent içi restenozun (yeniden tıkanma) giderilmesine yönelik çalışmalara büyük ölçüde ihtiyaç duyulmaktadır. Stent üretimi ve tasarımına yönelik güncel AR-GE çalışmaları bu doğrultuda ilerlemektedir. Bu derleme makalede, damar içi stentlerin gelişimi sürecinde ortaya çıkan farklı malzemelerden üretilmiş tasarımlar irdelenmektedir. Günümüzde klinik uygulamalarda kullanılan tüm stent gruplarında ortak olarak karşılaşılan restenoz problemine; stentin yüzey yapısının iyileştirilmesi yöntemleri ile çözüm sunulan yeni çalışmalar ortaya konulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Damar içi stentler, Damar yolu tıkanıklığı, Biyomalzemeler, Restenoz, Stent trombozu, Stent korozyonu

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye ORCID: 0000-0001-6473-8897,  
[akdogang@erciyes.edu.tr](mailto:akdogang@erciyes.edu.tr)

# Effects of Material Selection and Design on Restenosis and Other Stent Based Problems in Intravascular Stents, The Situation of Stents in the Economy (A Review)

## Abstract

Intravascular stents used in the treatment of vascular diseases play an important role as a life-saving treatment especially in the field of cardiovascular surgery. Materials used in the design and manufacture of stents are very effective in terms of operational application and treatment of vascular occlusion. The first stent designs were developed in the form of bare metal stents using 316L (low carbon medical stainless steel) materials, and today, shape memory stent designs, drug eluting stent technologies and biodegradable stents have emerged. In addition to polymeric materials, nitinol, Ti alloys and Mg-based materials stand out in the production of new technology stents, there are still stents produced using 316L material today.

For bare metal stents placed in the vessel which is a corrosive environment, the mechanical strength of the stent weakens as a result of corrosion which may lead to breaking of the stent that result in blockage of the vascular pathway again. In drug eluting stents, as a result of the depletion of antiproliferative agents with time, stent-induced occlusion problems are encountered. In biodegradable stents, controlling the degradation duration of the stent is another problem that is waiting for a solution.

As a result of the continuous interaction of stents with body fluids, problems causing vascular occlusion occur over time in the stents which are placed inside the body regardless of the materials used in their production. Therefore, it is remarkable that all existing stent designs can only provide a temporary treatment to vascular diseases.

Researches which are aimed to overcome in-stent restenosis (re-occlusion) are highly necessary for making stent treatment to be permanent. Current R&D studies for stent production and design are progressing in this direction. In this review article, designs produced using various materials arising during the development of intravenous stents are examined. New studies that offer a solution to restenosis which is the common problem in all stent groups used in clinical practice today by using the techniques of improvement of the stent surface structure are presented.

**Keywords:** Intravascular stents, Vascular occlusion, Biomaterials, Restenosis, Stent thrombosis, Stent corrosion

## 1. Giriş

Kardiyovasküler hastalıklar başta olmak üzere kalp, beyin ve böbrek yollarındaki damarların tıkanması ile sonuçlanan tüm rahatsızlıklar; ölüm riski oldukça yüksek olan hastalıklar grubuna girmektedirler. Bu hastalıklar girişimsel ve girişimsel olmayan yöntemler ile tedavi edilmeye çalışılmaktadır [1]. Biyomedikal cihazlar ve biyomalzeme teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde, özellikle son yıllarda kardiyovasküler uygulamalarda önemli gelişmeler yaşanmıştır. Damar yolu hastalıklarının tedavi edilmesi amacıyla damar içi stentler geliştirilerek üretilmiş ve kullanılmıştır. Stent, damar tıkanıklığı tedavisinde kullanılan, metal veya polimerden yapılmış esnek bir kafes-boru şeklindeki yapıdır [2].

Vücut içerisindeki farklı kullanım bölgelerine göre tasarlanan stentlerin yapısı hem malzeme içeriği bakımından hem de tasarım açısından değişiklik göstermektedir. Bu amaç için çeşitli stent tasarımları ortaya çıkmıştır. İlk kardiyovasküler stent uygulaması 1986'da paslanmaz çelik bir stent (Wallstent, Schneider AG) kullanılarak yapılmıştır [3]. Bu stent gruplarında karşılaşılan klinik uygulama zorlukları, kırılma ve korozyon gibi mekanik problemler ve uzun vadede yaşanan restenoz gibi damar tıkanıklığı problemlerinin üstesinden gelmek için, farklı malzemeler kullanılarak üretilen stentler ortaya çıkmıştır [4]. 1987'de ilk FDA onaylı stent (Palmaz-Schatz, Johnson&Johnson) geliştirilmiştir. 1990'lar ın başında geliştirilen diğer stent tasarımları (Flexstent, Cook; Wiktor, Medtronic; Micro, Applied Vascular Engineering; Cordis, Cordis; Multi-link, Advanced Cardiovascular Systems) elastik toparlanma ve restenoz problemleri riskini azaltabilmiştir [5]. Daha sonraki yıllarda da, biyouyumlu metallerde korozif vücut sıvıları içerisinde iken yaşanan korozyon problemlerinin çözümü için kaplamalı metal stentler yaygınlaşmıştır [6].

Kalıcı özellikteki kaplamasız metal stentler; vücut içerisinde zamanla komplikasyona neden olabilmektedir [7]. Vücut sıvıları ve dokularının stent malzemesi ile etkileşimi sonucunda stent yüzeyinde zaman içerisinde madde tutunumu artmakta veya stent çevresinde yeni hücrelerin oluşumu ve birikimi meydana gelmektedir [8]. Neticede bu etkileşim; tıkanıklığı stent kullanılarak tedavi edilen bir damar yolunda, ilerleyen zamanlarda tekrar tıkanma meydana getirmektedir. Bu durum ayrıca kanın damar içerisindeki akış hızını ve damar çeperine yaptığı basıncı da etkileyerek düzensiz yol almasını beraberinde getirmektedir [9], [10].

Biyobozunur malzeme teknolojisindeki ilerlemeler neticesinde geliştirilen ilaç salınımlı stent (İSS) ve tamamen biyobozunur stent teknolojileri ile damar içi stentlerde yaşanan geç dönem tıkanma riski çözülmeye çalışılmaktadır. İSS'ler, etrafına yaydığı kimyasal madde sayesinde stent ile malzeme etkileşimi sonucunda yüzeyde madde tutunumunu ve hücre birikimini azaltmaktadır. Bu tip stentler; ilaç salınım döneminde yeniden tıkanma riskini düşürmüş olsa da ilaç salınımı bittikten sonra ilaçsız stent grupları ile aynı özelliğe dönüşmekte ve daha yüksek riskte yeniden tıkanmaya sebep olmaktadır. Dolayısıyla İSS teknolojisi, stent kaynaklı damar yolu tıkanıklığı için kalıcı bir çözüm sunamamakla birlikte hastalığı erteleyici bir rol üstlenmektedir. Günümüzde kullanılan tüm damar içi stentler damar yolu tıkanıklıklarına sadece geçici bir çözüm sunabilmektedirler [11], [12]. Tamamen biyobozunur stentler ise henüz klinik uygulamalarda yaygın bir kullanım alanı bulamamıştır. Bu stentlerde erken bozunma problemleri ve kalın örgüleri nedeniyle damar içerisine yerleştirme problemleri üzerinde ar-ge çalışmaları devam etmektedir [13], [14], [15]. Kalıcı stentlerin

tamamında görülen geç dönem stent içi tıkanma problemi halen çözüm beklemeye devam etmektedir. Stent üretiminde kullanılan malzemelerin yüzeyine madde tutunamama fonksiyonu kazandırılması ile bu probleme kalıcı bir çözüm sunulabilir.

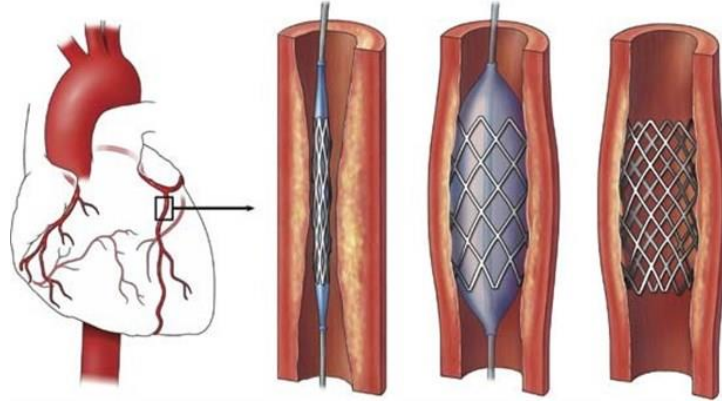
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Stent Teknolojileri

Koroner damar hastalıklarının getireceği zararların azaltılması için ilk etapta balon uygulaması ile damar genişletme yoluna gidilmiş olsa da bu yöntemin kalıcı bir etkiye sahip olmadığı görülmüştür. İlk geliştirilen metal stent teknolojisi sayesinde damar yolu tıkanıklığını gidermek için kalıcı bir destek yapısının kullanılabilirliği görülmüştür.

Kaplamasız metal stentler, ilaç salımlı stentler ve biyobozunur stentlerden hangisinin tercih edileceği, hastanın durumuna ve stent uygulanacak damar bölgesine göre belirlenmektedir.

Şekil-1’de gösterildiği gibi, bir damar içi stent uygulamasında, hastalıklı damara normal bir damar yolundan ince bir kılavuz tel aracılığı ile ulaşılır. Hastalığın olduğu bölgeye kılavuz tel vasıtasıyla balon veya stent yerleştirilir. Darlık ya da tıkanıklığın olduğu bölgeye yerleştirilmeden önce kapalı olan stentin, dışarıya uzanan mekanizması çekilerek açılması ve damar çeperine yerleştirilmesi sağlanır. Darlık açıldıktan sonra kılavuz tel dışarı çıkarılır [16].



Şekil-1: Daralan bir damara uygulanan stent

Farklı ihtiyaçlara göre farklı boyutlarda metal veya polimer türlerinden farklı malzemeler kullanılarak üretilen stentler, genellikle 2-4 mm çap ve 10-30 mm uzunluklarda olurlar. Stentler, açılıp kullanılmadan önce, 1-2 mm genişlikteki sönük bir balonun üzerine büzülmüş vaziyette yer alırlar.

#### 2.1.1. Kaplamasız Metal Stentler

Stentin uygulanacağı bölgedeki ihtiyaca göre, farklı malzemeler ve çeşitli tasarımlar kullanılmaktadır. Tıkanmış bir kan damarındaki akışı sağlamak için bölgede kullanılan malzeme esnetilebilir ve genişletilebilir özellikte olmalıdır [17], [18]. Kalıcı stent uygulamaları için malzemenin elastikiyet veya esnekliğine ek olarak, elastik geri toparlanma direnci, mukavemeti, mekanik ve kimyasal aşınma direnci önem taşımaktadır. Günümüzde halen kardiyovasküler stent üretiminde kullanılan biyouyumlu metaller bu özellikleri kısmen karşılayabilmektedir.

Kaplamasız metal stentler, taban malzemesini düşük karbon alaşımlı medikal paslanmaz çelik, kobalt-krom alaşımı malzeme, titanyum alaşımları ve şekil hafızalı akıllı malzemeler (Ni-Ti alaşımları) gibi biyouyumlu metallerin oluşturduğu ve vücut sıvıları ile metal yüzeyinin doğrudan temas halinde olduğu stentlerdir. Bu stentlerde kullanılan metalik malzemelerin çeşitliliği, her birinin mekanik ve fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olmasını beraberinde getirmektedir [19]–[21].

İlk stentlerin üretiminde kullanılan metal malzemelerde yaşanan mekanik mukavemetin düşük olması, elastik geri toparlanma durumu ve korozyon gibi sorunlar; stent üretiminde yeni malzemelerin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bunun için düşük karbon alaşımlı medikal paslanmaz çelik, kobalt-krom alaşımı ve daha sonraları titanyum alaşımı malzemeler kullanılmıştır [22], [23].

Şekil hafızalı nitinol tabanlı stentlerin süper elastik yapısı ve elastik toparlanma direncinin düşük olması öne çıkarken 316L medikal paslanmaz çelikte ve kobalt krom alaşımlarında ise mekanik dayanımın yanı sıra düşük korozyon direnci önemli bir avantaj olmaktadır [24]. Vücut içerisinde uygulama kolaylığı için daha ince ve küçük yapıdaki stentlerin üretiminde bu malzemelerin kullanılması, daha dayanıklı bir ürün elde edilmesini sağlamaktadır [25]. Ancak 316L ve kobalt krom alaşımından üretilen stentlerde Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG) ve Radyografide uyumsuzluk problemlerini beraberinde getirmektedir [26]. Titanyum alaşımı malzemelerde ise düşük korozyon direnci, yüksek mekanik mukavemet ve biyouyumluluk problemlerinin olmamasının yanı sıra medikal görüntüleme cihazlarında kullanımında herhangi bir sınırlama bulunmaması, bu malzemelerin yaygınlaşmasını sağlamıştır [27], [28]. Tablo-1’de bu malzemelerin temel mekanik özellikleri gösterilmektedir.



Tablo-1: Stent üretiminde kullanılan metallerin temel mekanik özellikleri

Malzeme	T <sub>E</sub> (°C)	Young Modülü (GPa)	Çekme Dayanımı (Mpa)	Akma Dayanımı (MPa)	Kırılma Uzaması (%)	Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
316L	1390	193	668	310	40	8
CoCr Alaşımı	1454	210	960	560	20	10
Nitinol	1310	83	895	690	50	6.45
Ti Alaşımı	1660	110	950	786	14	4.429

Tablo-1'den anlaşılacağı üzere, metallerin mekanik özelliklerinde görülen farklılık, bu malzemelerden üretilen stentlerin de farklı davranışlara sahip olmasını beraberinde getirmektedir. 316L gibi demir esaslı alaşımlarda; uzun süreli kullanımlardaki korozif direncin zayıflamasından ötürü bozulmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir [29], [30]. Kobalt-krom alaşımı malzemelerden üretilen stentlerde korozyon direncinin ve çekme dayanımının artırıldığı ve vücut ortamında iken 316L stentlere göre daha dayanıklı stentlerin geliştirildiği belirtilmektedir [31], [32]. Nitinol ve Ti alaşımlı malzemelerde görülen mükemmel korozif direnç, mekanik dayanımdaki yükseklik ve malzeme hafifliği, stent tasarımında diğer metallerle göre daha yaygın bir kullanım alanı bulmalarını sağlamıştır [33]. CoCr alaşımı ve 316L malzemeden üretilen stentlerin yoğunluğunun Ti alaşımı olanlara göre daha yüksek olması, bu stentlerin birim boyutunun daha ağır olmasını sağlamaktadır. Ancak Ti alaşımı stentlerin işlenmesi ise diğer stentlere göre daha yüksek maliyet ile sağlanabilmektedir.

Bütün stent tasarımlarında uzun süreli kullanımda ortaya çıkan ortak bir problem vardır. Vücut sıvıları ve dokularının stent malzemesi ile etkileşimi sonucunda stent yüzeyinde zaman içerisinde madde tutunumu artmakta veya stent çevresinde yeni hücrelerin oluşumu ve birikimi meydana gelmektedir. Neticede bu etkileşim; tıkanıklığı stent kullanılarak tedavi edilen bir damar yolunda, ilerleyen zamanlarda "restenoz" olarak adlandırılan tekrar tıkanma problemini meydana getirmektedir. Bu durum ayrıca kanın damar içerisindeki akış hızını ve damar çeperine yaptığı basıncı da etkileyerek düzensiz yol almasına yol açmaktadır. Kaplamasız metalik stent ve damarlar arasındaki etkileşim nedeniyle, implantasyondan sonra hastaların yaklaşık %20-30'unda, ilk 6 ayda stent uygulanan yerde ateroskleroz veya restenoz gibi nedenlerle yeniden daralma durumu meydana gelmektedir [34], [35].

Stent yüzeyinde oluşan geç dönem tıkanma durumu temelde vücut sıvıları içerisinde bulunan parçacıkların ve hücrelerin stent malzemesine bağlanarak tutunması neticesinde meydana gelmektedir [36]. Maddelerin malzemelerin yüzeyine tutunabilmesi veya üzerinden kayıp gitmesi, aralarındaki kimyasal bağ yapma potansiyeli ile ilişkilidir. Vücut sıvısı ile stent arasındaki bağlanmanın engellenmesi durumunda, iki yüzey arasındaki kalıcı tutunmanın önüne geçileceği için geç dönem tıkanma gibi bir durum oluşamayacaktır. Hidrofobik yapıdaki bir malzemenin yüzeyine su molekülleri tutunamaz. Omnifobik malzemelere ise hiçbir madde tutunamaz. Bu bilgiler ışığında, stentlere omnifobik davranış kazandırılması sayesinde, stent ile vücut sıvılarının etkileşimi sonucunda zamanla meydana gelen tromboz ve ateroskleroz kaynaklı damar tıkanıklığı riskinin önüne geçilebilecektir [37]–[39].

Farklı endüstriyel ve günlük ihtiyaçlara bağlı olarak, ürünlerin kullanım ömrünün uzaması amacıyla yüzey modifikasyonu veya kaplama uygulamaları sayesinde hidrofobik ve omnifobik yapılardan yararlanılmaktadır. Vücut içerisinde kalıcı bir şekilde kullanılan biyomedikal ekipmanlarda ise son yıllarda buna yönelik araştırmaların arttığı görülmektedir. Stent malzemelerine uygulanacak yüzey modifikasyonu sayesinde omnifobik özellik kazandırılabilir ve bu sayede üzerine ilaç emdirilmeden vücut sıvıları ile etkileşime girme potansiyeli azaltılabilir. Böylece; stent yüzeyindeki madde tutunumu engellenerek, geç dönem tromboz ve ateroskleroz sonucu oluşan damar tıkanıklığı riski azaltılacaktır [40]. Bu sayede, damar tıkanıklığı teşhisi konulan ve stent uygulanan hastalarda; damarın yeniden tıkanması sonucu ikinci bir cerrahi müdahaleye maruz kalınmayacağı öngörülmektedir.

Stent teknolojilerinin durumu hakkında literatürde yer alan çalışmalar, stent malzemelerinin ve yapısının geliştirilerek daha dayanıklı ve probleme kalıcı çözüm sunabilen ürünlerin elde edilmesine yönelik olduğu görülmektedir.

O'Brien ve Carroll; klinik ihtiyaçlara bağlı olarak kardiyovasküler stent malzemeleri ve yüzeylerinin gelişimi hakkında derleme makale yayınlamışlardır. Bu makalede; kardiyovasküler hastalıkların tedavisi amacıyla tasarlanan ve üretilen stentlerden ve bu stentlerin hastalara uygulanmasının ardından yaşanan olumsuzluklar neticesinde stent üzerinde yapılan gelişmeler ve buna bağlı olarak ortaya çıkan yeni ürünler incelenmiştir. Bunun için stent üretiminde kullanılan malzemeler, stent tasarımları ve kaplama yöntemleri derlenmiştir. Restenoz oranının azaltılması için stent kafesinin daha ince bir yapıdan üretilmesi gerektiği ortaya konulmuştur. Farklı kafes kalınlıklarında 316L, altın kaplamalı 316L, CoCr alaşımı malzemelerden ve 316L-Ta-316L malzemelerinden sandviç tasarımlı olarak üretilen farklı stentlerde karşılaşılan restenoz oranları kıyaslanmıştır. Restenoz oranının en yüksek olduğu stent tasarımı %49,7 oranıyla kalın kafes yapılı ve altın kaplı 316L stentte olduğu, en düşük oranın da %15 oranıyla ince kafes yapılı 316L stentte olduğu görülmüştür. Restenoz oranının daha da düşürülmesi için karbon, titanyum-nitrit-oksit ve iridyum-oksit gibi kaplamaların yapılabileceği görülmüştür. Yine aynı amaç için, kaplamasız metal stentlere alternatif olarak ilaç salınımlı polimer kaplama malzemelerinden yararlanılarak yeni stentlerin üretilip üretilmediği açıklanmaktadır. Ancak bu gruptaki stentlerin mukavemeti metal olanlar ile kıyaslandığında düşük seviyelerdedir [41].

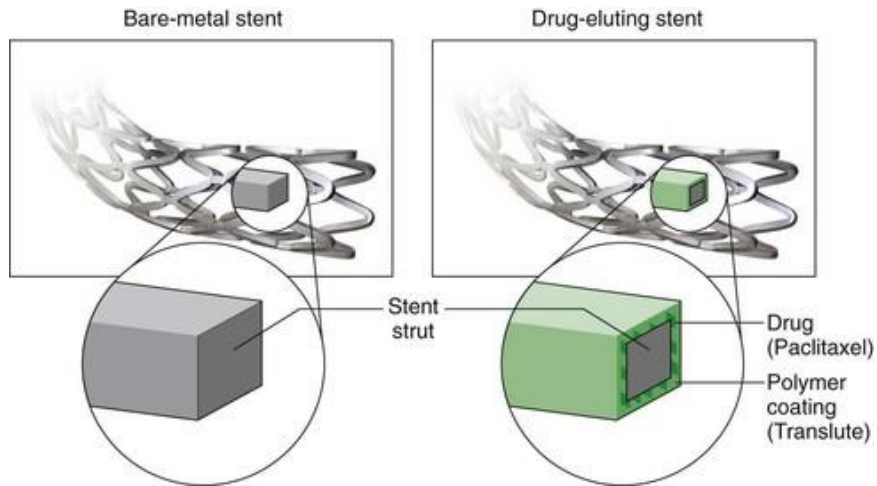
Tibbitt ve ark.; biyomedikal uygulamalar için malzeme tasarımındaki gelişmeler hakkında bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Yapmış oldukları bu çalışmada, ilk üretildiği yıllarda mekanik destek görevi gören implant malzemelere; doku mühendisliği, nano teknoloji ve biyomalzeme alanındaki gelişmeler sayesinde fonksiyonel özellik kazandırılarak vücut ile daha uyumlu, aktif tedavi edici rol üstlenebilen malzemelerin üretildiği gerçeği yansıtılmıştır. Örneğin, spesifik bir uyarana duyarlı olacak şekilde tasarlanan bir ilaç salınımlı stent, sürekli olarak ilaç salınımı yapmaktansa sadece gerektiği durumlarda ilaç salınımı yapabilir hale gelmiştir. Bu sayede stent yüzeyine emdirilen ilacın daha uzun süre dayanmasının sağlandığı gibi, birim zamanda salınan ilaç miktarını azaltacağı için, ilaç içerisinde bulunan kimyasalın vücuda verdiği muhtemel zararlar da daha düşük seviyeye gerilemiştir [42].

Lutter ve ark.; stent üretiminde spesifik mikroyapı tasarımının endotelizasyon ve tromboz üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bu çalışmada, ilaç salınımlı stentlerdeki, tromboz oluşumunu engelleyen ilaç terapisinin, stent yüzeyinde oluşturulacak belirli mikro yapılar vasıtasıyla hızlandırılacağı düşünülmektedir. 2-5 µm yüksekliğinde oluşturulacak yükseltmeler ve çukurcuklar, silikon tabaka üzerinde litografi yöntemleri ile stent malzemesi yüzeyinde oluşturulmuş ve ardından silikon-karpit ile kaplanmıştır. Kontrol grubu olarak da işlenmemiş silikon ve kaplamasız metal numuneler kullanılmıştır. Statik ve akış durumları altındaki insan toplardamarında endotel hücrelerinin gelişimini incelemek için aktin hücre iskeleti yeşil falloidin ile renklendirilmiştir. Yüzey trombojenikliğinin incelenmesi için, belirtilen koşullar altında bulundurulmuş numuneler, floresan ile konjuge edilmiş P-selektin antibiyesi ile görüntülenmiştir. Sonuçta ise işlenmemiş silikon numune ile kıyaslandığında 5 µm uzunluğunda kübik yükseltmelerin oluşturulduğu numunede endotel oluşumunun arttığı, 2 µm uzunluğunda sivri yapıların oluşturulduğu numunede ve kaplamasız metal numunede ise bu olayın azaldığı görülmüştür [43].

Zhao ve Shu; magnezyum alaşımlı stent malzemelerinde bulunan magnezyum ve diğer alaşım elementlerinin endotel oluşumu üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Biyobozunur özellikte olan magnezyum alaşımlı malzemelerde, magnezyum vücut içerisinde çözündükçe alaşım elementleri iyonlaşarak vücutta salınmaktadır. Magnezyum alaşımlı stent malzemelerinde yaygın olarak kullanılan elementlerin farklı konsantrasyonlarının endotelizasyon üzerindeki etkileri de farklı olarak ortaya çıkmaktadır. Biyobozunur stent tasarımı ve üretiminde kullanılan alaşım elementleri konsantrasyonlarının uygun seçilmesi durumunda endotelizasyon seviyesinin azaltılabileceği ve bu bilginin de daha iyi biyobozunur stent üretimine ışık tutacağı ortaya konulmuştur [44].

### 2.1.2. İlaç Salınımlı Stentler

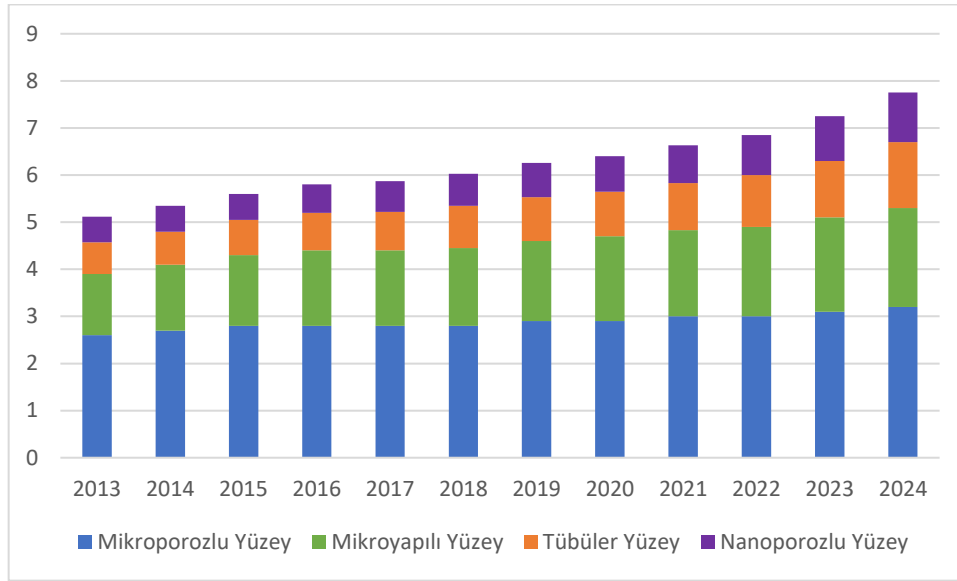
Stentin yerleştirilmesinin ardından, yeniden tıkanmanın önüne geçmek için, Mg alaşımları gibi bozunur metaller ve vücutta çözünebilen biyopolimer teknolojisi kullanılarak "İlaç Salınımlı Stentler" (İSS), geliştirilmiştir [45]. İSS'de, ilaçlı biyopolimer metalik taban üzerine kaplanmıştır. Biyopolimere katılan bu ilaçlar, biyomalzemenin veya damarın etrafındaki plak oluşumunu engeller ya da geciktirir. Bu ilaçlar aynı zamanda damar duvarında hücrelerin çoğalıp tekrar daralmasını engelleyecek kimyasallar içermektedir [46]. İSS'lerdeki ilaç salınımı sürekli ve aynı oranda değildir. Ancak, kaplamasız stent gruplarında başlangıçta görülen yeniden daralma süreci, ilaçlı stent gruplarında yeterli ilaç salınımı sayesinde görülmemektedir [47]. İSS'de, stent implantasyonundan sonra ateroskleroz ve restenoz riski önemli ölçüde azaltılmıştır [48]. Şekil-2'de kaplamasız metal stent ile İSS teknolojisi şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil-2: Kaplamasız metal stent ve ilaç salınımlı stent

Günümüzde stent teknolojileri; stent kaynaklı restenoz problemlerinin çözülebilmesi için geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunun için; ilaç salınımlı stent teknolojisi geliştirilmiştir. İlaç salınımlı stentler, etraflarına yayılan maddenin kimyasal yapısı sayesinde stentin yüzeyde madde tutunumunu ve hücre birikimini azaltmaktadır. Bu tip stentler; "ilaç salınım döneminde" yeniden tıkanma riskini azaltmış olsa da, "ilaç salınımı bittikten sonra" ilaçsız stent grupları ile aynı özelliğe dönüşmekte ve daha yüksek riskte yeniden tıkanmaya sebep olmaktadır. Bu nedenle ilaç salınımlı stentler de restenoz problemlerine kalıcı bir çözüm sunamamaktadır [49]. Dolayısıyla yeni çalışmalar, kaplamasız metal stentlerin yüzey kaplaması ve modifikasyonu ile restenoz riskini düşüren yapıların elde edilmesine yöneliktir. Şekil-3'te verilen grafik son yıllardaki ve önümüzdeki 5 yıl boyunca tahmini olarak stent yüzey modifikasyonu uygulaması türüne göre ayrılan bütçenin dağılımını göstermektedir. Bu grafiğe göre önümüzdeki yıllarda yüzey

modifikasyonu uygulamalarının ağırlıklı olarak yüzeyde mikro yapıların oluşturulması yönünde artış göstereceği öngörülmektedir [50].



Şekil-3: Yüzey modifikasyonu türlerine ayrılan ar-ge bütçesinin geçmişte gerçekleşen ve gelecekte olması beklenen dağılımı [50]

İlaçlı stentler kaplamasız stentlere göre avantajlı olarak görülse de birçok dezavantajları da mevcuttur. İlaç kaplı stentler uzun vadede daralma riski bakımından kaplamasız stentlere göre üstünlük taşımamasına stent kullanan hastalara verilen kan sulandırıcı ilaçların kullanımındaki basit bir aksamada ani tıkanma riski taşımaktadır. İSS implantasyonundan sonra oluşan trombozdan dolayı, stentin yerinden oynaması, damarın endotel tabakasının fonksiyonunun bozulması ve enfeksiyon gibi etkiler ortaya çıkmaktadır [51].

İSS takılmış olan bir hasta, *Klopidogrel* benzeri kan sulandırıcı ilaçlara (*Plavix*, *Pingel*, *Karum*, *Effient*, *Brilinta*, vs.) uzun süre devam etmek zorundadır. Son araştırmalar bu ilaçların en az 1 yıl kullanılması, hatta yeniden daralma yönünde yüksek riskli işlemler yapılmış ise 2-3 yıla kadar sürdürülmesi gerektiğini ortaya koymuştur. İlaç kaplı stentlerin damara temas eden dış yüzeyleri, genellikle damar endotel tabakası ile hızlı bir şekilde kapatılmadığından, kan sulandırıcı ilaçların kullanımındaki en basit bir aksama durumunda damarın pıhtı nedeniyle aniden tıkanmasına yol açabilmektedir [52]. Damar yolunun stent yüzeyine tutunan kan pıhtısından ötürü aniden tıkanması şeklinde yaşanan bu süreç son derece tehlikeli olup, birçok zaman ölümlerle sonuçlanmaktadır. Buna karşın, kaplamasız metalik stent takılmış olan hastalarda, stentin metal yüzeyi vücut tarafından kısa zamanda doğal endotel tabakası ile kaplanmakta, bu nedenle kan sulandırıcı ilaçların sadece birkaç ay kullanılması yeterli olmaktadır [53].

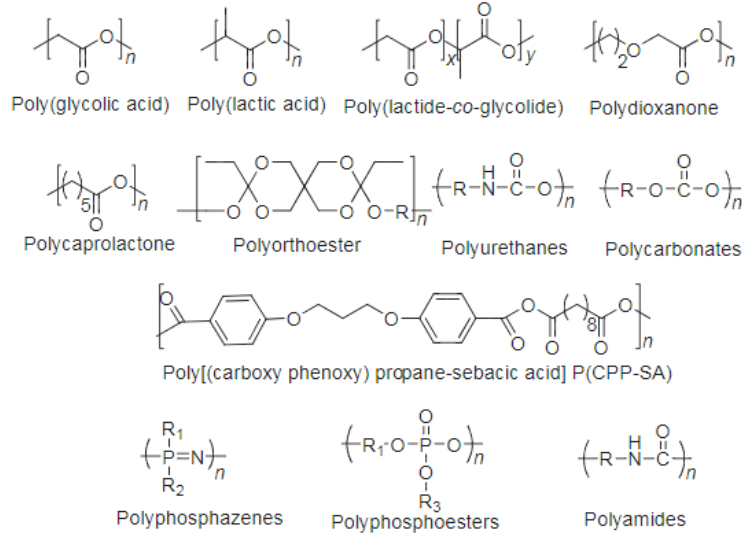
İSS takılmış olan hastalarda ilaç kullanımındaki tek sorun bu ilacın temin edilmesi ve kullanımı değil, ilacın aksatılmadan kullanımı zorunluluğudur. Herhangi bir ameliyat, diş çekimi gibi gerekliler ile kan sulandırıcı ilaçlara kısa bir süre için de olsa ara verilmesi gerektiğinde, özellikle ilaç kaplı stent takılan hastalarda son derece vahim sonuçlar ortaya çıkabilmektedir. Kaplamasız stentlerde bu ilaçları bırakmanın çok tehlikeli olacağı dönem ilk 4 hafta olarak belirtilmektedir. Dolayısıyla ilaç kaplı stent takılması düşünülen hastalarda, en az ilk 6 ay boyunca bir cerrahi işlem ihtimalinin bulunmaması gereklidir. Yine aynı sebepten, yakın vadede kanama riski yüksek olarak değerlendirilen hastalarda da ilaç kaplı stent kullanımı sakıncalı görülmektedir. Kan sulandırıcı ilaç tedavisi kesildiğinde, stentin tıkanmasını engelleyecek başka bir çözüm mevcut değildir [54].

Vücuda yerleştirildikten sonra kalıcı olarak bulunan kaplamasız metal stentlerde ve İSS teknolojisi ürünlerinde karşılaşılan restenoz probleminin çözümü için geçici stent grupları üzerine araştırmalar yaygınlaştırılmıştır. Biyobozunur stentler olarak adlandırılan yeni bir stent grubu ortaya çıkmıştır.

### 2.1.3. Biyobozunur Stentler

Poli-Glikolik asit (PGA), Poli-Laktik asit (PLA), Poli-Üretan (PU), Poli-Karbonat (PC) ve Poli-Amid (PA) gibi polimerler ile Mg metali vücut ortamında zamanla çözünerek boşaltım sistemi aracılığı ile vücuttan atılma özelliğine sahiptirler. Bu malzemeler biyouyumluluk açısından sorun teşkil etmemekle birlikte biyobozunur malzemeler olarak adlandırılmaktadır [55].

Biyobozunur malzemeler doğadan elde edilebildiği gibi sentetik olarak da üretilebilirler. Kitin oluşan kitosan, selüloz, fibrin, dekstran ve nişasta doğada bulunan biyobozunur polimerlerdendir [56]. Sentetik olarak üretilen biyobozunur polimerlerin kimyasal yapısının gösterimi Şekil-4'te verilmiştir.

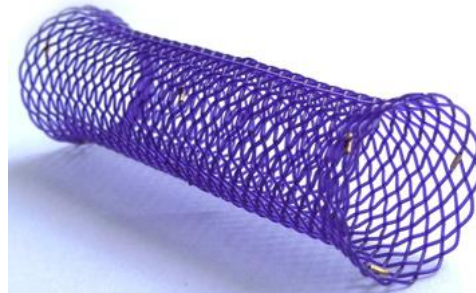


Şekil-4: Yaygın olarak kullanılan sentetik biyobozunur polimerler [56]

Stent tasarımında biyobozunur malzemeler kullanılarak üretilen ve vücutta zamanla tamamen çözünebilir kabiliyetine sahip stentlerde, kaplamasız kalıcı metal veya polimer türlerde karşılaşılan problemlerin önlenebileceği görülmüştür [57]. Biyobozunur stentler, takıldıkları damarda birkaç ayda erimeye başlayıp kaybolan ve diğer gruptaki stentler gibi geride bir kalıntı bırakmayan stentlerdir. Üretildikleri malzeme bakımından birkaç aylık bir süreçte erimeye başlayıp yok olabileceği, mevcut kullanımdaki diğer stentlere göre pek çok avantaj sağlamaktadır [58].

Biyobozunur stentlerdeki bu özellik, diğer stentlerde görülen geç dönem tıkanma risklerine de neden olmadıkları görülmektedir. Bu olumlu özellik nedeniyle, stent yan damar ağzlarını tıkamaz ve takıldıkları damar bölgesinin vücudun o esnadaki ihtiyacına göre genişleyip büzülmesine izin verirler [59]. Tomografi ve MR cihazlarıyla görüntülemeye herhangi bir engel oluşturmazlar. Geride metal bir iskelet bırakmadıkları için aynı noktaya daha sonra yapılacak bir bypass ameliyatı için herhangi bir engel oluşturmazlar [60].

Ancak biyobozunur stentlerin; hedef damarın tedavisi tamamlanmadan önce bozunma riski, çözüm aranan bir problemdir [61]. Şekil-5'te gösterildiği gibi, bu stentlerin kalın örgülü yapısıdır. Biyobozunur stentlerin damar duvarına tutunması için uygulaması gereken dışı doğru olan kuvvet ve dirençleri henüz metal stentler kadar iyi değildir. Dolayısıyla, oldukça karmaşık ve uzun darlıkların olduğu bölgelere eriyebilir yapıdaki stentlerin takılması uygun görülmemektedir. Çünkü bu durum, hastayı ani pıhtı tıkanması ve kalp krizi riskiyle karşı karşıya bırakabilmektedir [62].



Şekil-5: Biyobozunur stent

Eriyebilir stentlerin kalın örgüleri nedeniyle esneklikleri az ve ilerletilirken damardaki kıvrıntı ve engellere takılma olasılıkları da fazladır. Bu yüzden ince ve kıvrıntılı damarlarda ilerletilmeye müsait değildir [63].

Eriyebilir stentlerin; takıldıkları yerdeki iltihabi tepkinin ve buna bağlı yeniden daralma riskinin azalması için ideal şartlarda 12-18 ay gibi bir süre sonra tamamen eriyip kaybolmaları beklenmektedir. Bu da eriyen stentlerin pek çoğu için bu hedefe henüz erişilebilmiş değildir. Birkaç yıl önce uygulamaya ilk başlanıldığında, eriyebilir özellikleri sayesinde geç dönem tıkanma riski olmayacağı için kan sulandırıcı ilaçların da erken bırakılabileceği düşünülmekteydi. Ancak durumun pek de beklendiği gibi gelişmediği; geçen 2-3 yıl sonunda elde edilen geri bildirimlerle anlaşılmıştır [64]–[66]. Bu sebeplerle, eriyebilir stentler Avrupa'da rutin klinik kullanım için henüz onay alamamış olup, AB ülkelerinde 2017 itibarı ile sadece klinik araştırma kapsamında kullanım için onaya sahiptirler. Dolayısıyla yaygın bir klinik uygulamaya erişilmesi için biyobozunur stent teknolojisinin geliştirilerek diğer stent grupları kadar etkili bir kullanım fonksiyonu sunabilir niteliğe erişmesi gerekmektedir.

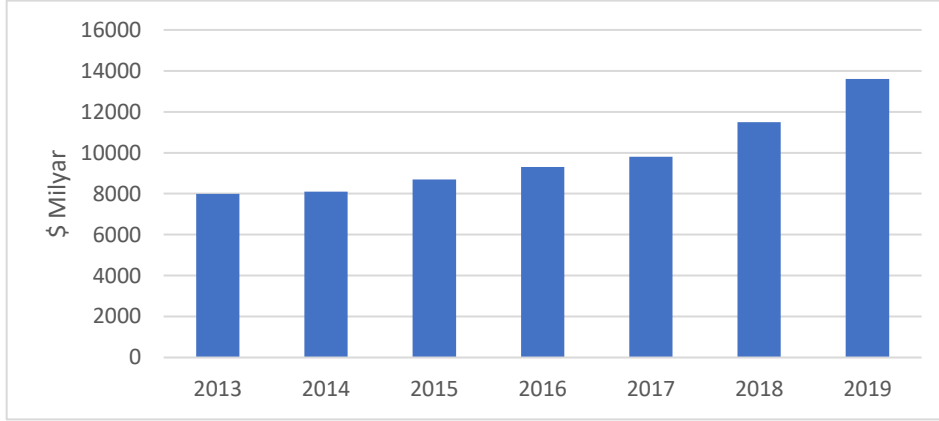
Biyomalzeme teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, günümüzde kullanılan tüm stent gruplarında karşılaşılan dezavantajlar ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır [67]–[69]. Gelecek çalışmalarda; stent malzemelerine uygulanacak yüzey modifikasyonu sayesinde stent ile vücut sıvıları arasındaki etkileşimin olumsuz sonuçlarını azaltarak damarın tekrar tıkanması, geç dönem restenoz veya ateroskleroz gibi sorunların kalıcı bir şekilde önlenebileceği öngörülmektedir [70].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Küresel Stent Pazarının Büyüklüğü ve Geleceği

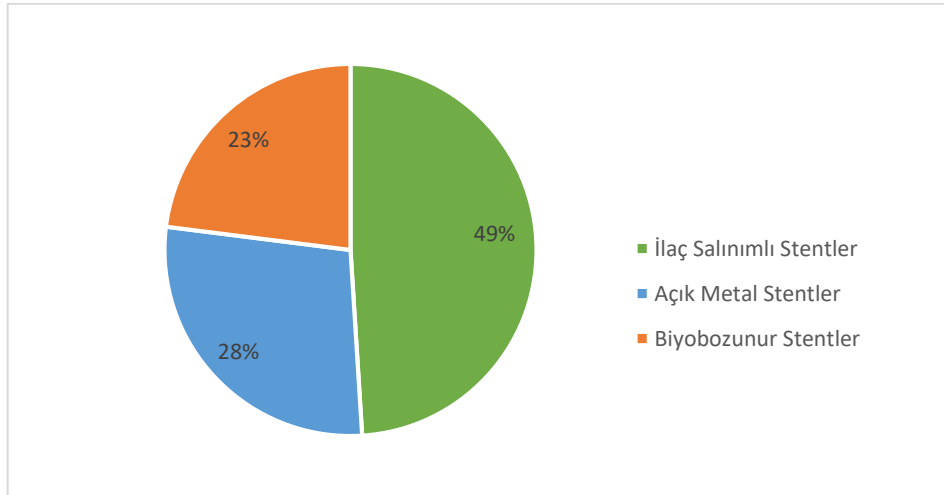
Dünya genelinde, kalp ve damar tıkanıklığından dolayı sağlık kuruluşlarına başvuran hastalara girişimsel tedavi yöntemleri uygulanmaktadır. Bunların başında tıkalı damar yolunun stent takılarak açılması gelmektedir. Bu durum, stent teknolojilerine olan ihtiyacın dünya genelinde oldukça yaygınlaşmasını ve stent pazarının da gelişmesini sağlamıştır [71].

Küresel ölçekte stent teknolojilerindeki harcamalar 2013 yılında yaklaşık 8 Milyar Dolar olarak gerçekleşmiştir ve bu rakam 2017 yılında artarak 9.8 Milyar Dolara gelmiştir [72]. Küresel stent pazarındaki son 5 yıl içerisinde yaklaşık %5.7'lik büyüme sayesinde 2019 yılının sonunda bu rakamın 13 Milyar Dolar'dan daha fazla olması beklenmektedir [73]. Küresel stent pazarındaki harcamaların son yıllardaki grafiksel gösterimi Şekil-6'da verilmektedir.



Şekil-6: Küresel stent pazarına yapılan harcamaların yıllara göre dağılımı [18]

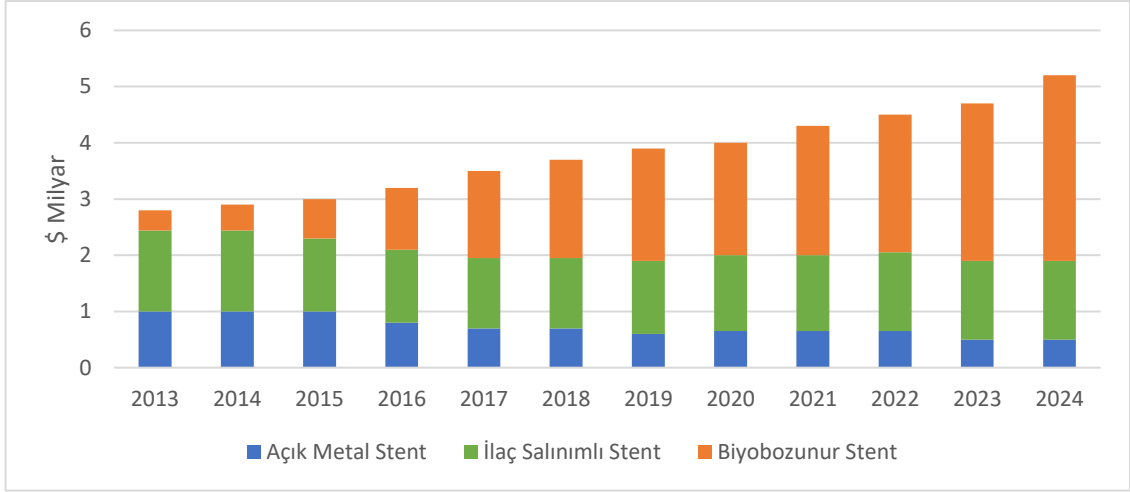
İhtiyaç duyulan duruma göre kullanım alanı bulan; kaplamasız metal stentler, ilaç salınımlı stentler ve biyobozunur stentler olmak üzere üç stent teknolojisi bulunmaktadır. Önceleri kaplamasız metal stentlerin kullanımı daha yaygın durumda iken, stent tasarımında kimyasal ajanların ve gaz enjeksiyon sistemlerindeki kullanımının yaygınlaşması sayesinde 2016 yılında İSS için yapılan harcamaların yaklaşık %49 gibi bir rakam ile diğer teknolojilere göre daha geniş bir yer bulmuştur [74]. Küresel stent pazarındaki bu teknolojilere yapılan harcamaların dağılımı ise Şekil-7'de gösterilmektedir.



Şekil-7: Stent teknolojilerinin küresel pazardaki payları [72]

Son yıllarda biyobozunur malzeme teknolojilerine olan ilginin artmasıyla, biyobozunur stent teknolojilerinin araştırılmasına ve geliştirilmesine yapılan harcamaların daha da artarak baskın hale gelmesini sağlamıştır [75]. Stent teknolojileri pazarına ayrılan bütçenin günümüzdeki durumu ve gelecek 5 yıl içerisindeki tahmini harcama dağılımı Şekil-8'te gösterilmektedir. Bu grafiğe göre stent teknolojilerine yapılan harcamaların biyobozunur stentler yönünde artacağı ve kaplamasız metal stentlerin daha geri planda kalacağı öngörülmektedir [76].





Şekil-8: Günümüze kadarki ve önümüzdeki 5 yıl içerisindeki stent teknolojilerinde gerçekleşen ve beklenen harcamaların dağılımı [75]

Stent pazarındaki öncü firmaların başını Almanya, Japonya, Çin, A.B.D. ve Hindistan çekmektedir. Gelecek dönemde küresel stent pazarının %7.8 büyümesi beklenmektedir. Bu büyümeyi gerçekleştirecek olan öncü firmalar şu şekilde sıralanabilir [77], [78]:

- BIOTRONIK SE & Co. KG (Almanya)
- Terumo Corporation (Japonya)
- MicroPort Scientific Corporation (Çin)
- Abbott Laboratories (A.B.D.)
- Meril Life Science (Hindistan)

Verilen grafiklerden de anlaşılacağı üzere, gelecek yıllarda yapılacak çalışmalar, stent teknolojilerinde yararlanılan farklı tasarımlarda meydana gelen restenoz gibi problemlere çözüm sunması açısından şekillenmektedir. Bu bakımdan yeni tasarımlara olan ihtiyaçların da artan bir hızla devam ettiği görülmektedir. Her ne kadar biyobozunur ve ilaç salınlımlı stentlere ayrılması beklenen bütçenin daha da fazla olacağı öngörülse de, kaplamasız metal stentlerin geliştirilmesine yönelik çalışmalar da devam ettirilmektedir. Bu kapsamda ortaya konulan AR-GE çalışmaları, stent içi restenoz problemine kalıcı bir çözümün sağlaması amacıyla şekillendirilmektedir.

#### 4. Sonuç

Klinik uygulamalarda, damar tıkanıklığı tedavisinde kullanılan damar içi stentler hayat kurtarıcı bir rol üstlenmektedir. Geçmişten günümüze kadar üretilen ve kullanılan stentlerin üretim malzemesi ve stent tasarımları sürekli olarak çeşitlilik göstermiştir. Kaplamasız metal stentler halen yaygın bir şekilde kullanılıyor olsa da, bu stent grubunda karşılaşılan yüksek oranlı restenoz problemi nedeniyle İSS teknolojisi bu stent grubunun yerini almaya başlamıştır. Ancak İSS teknolojisi bu problem ile karşılaşma riskini düşürmüş olsa da, kalıcı olarak çözüm sağlayamamıştır. Vücutta kalıcı olarak bulunan bu iki stent grubunda da ilerleyen zamanlarda damarın yeniden tıkanması olasılığı bulunmaktadır. Kalıcı stentlerde karşılaşılan komplikasyonların ve restenozun önüne geçilmesi için geliştirilen biyobozunur stentlerde ise AR-GE faaliyetleri halen devam etmekte olup, bu teknoloji ile üretilen stentler diğer iki stent grubu kadar henüz yaygın bir klinik kullanım alanı bulamamıştır. Bu nedenlerle stent teknolojisi sürekli olarak geliştirilmeye devam etmektedir. Bunun için biyomalzeme teknolojilerine ve stentlere ayrılan bütçe azımsanmayacak kadar çoktur. Gelecek çalışmalar, özellikle stent malzemesinin yapısal özelliğinden kaynaklanan komplikasyonların daha da azaltılması, hatta tamamen çözümlenmesine yönelik olarak kurgulanmaktadır.

Biyomalzemelere uygulanacak yüzey modifikasyonu sayesinde insan sağlığına daha elverişli hale gelmesi sağlanarak bu problemlerin yakın gelecekte tamamen çözülebileceği tahmin edilmektedir. Bunun için endüstriyel uygulamalarda da yararlanılan hidrofobik ve omnifobik yüzey yapılarının damar içi stent üzerinde biyoyumlu malzemelerden yararlanılarak oluşturulması, yüzeyde madde tutmama fonksiyonu kazandırma açısından katkı sunacaktır. Dolayısıyla, günümüzde kullanılan mevcut stentlerde karşılaşılan stent içi restenoz probleminin kalıcı olarak çözülebileceği öngörülmektedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2019-8754 numaralı proje ile desteklenmektedir.

## Kaynakça

1. N. Sarwar *et al.*, Emerging Risk Factors Collaboration. (2010). Diabetes mellitus, fasting blood glucose concentration, and risk of vascular disease: a collaborative meta-analysis of 102 prospective studies. *The Lancet*, 375(9733), 2215-2222.
2. Cutlip, D. E., Windecker, S., Mehran, R., Boam, A., Cohen, D. J., van Es, G. A., et. al. (2007). Clinical end points in coronary stent trials: a case for standardized definitions. *Circulation*, 115(17), 2344-2351.
3. Sanchez, O. D., Sakakura, K., Otsuka, F., Yahagi, K., Virmani, R., & Joner, M. (2014) Coronary stent evolution—from pathology to clinic. *EMJ Int. Cardiol.*, 107–116.
4. Halwani, D. O., Anderson, P. G., Lemons, J. E., Jordan, W. D., Anayiotos, A. S., & Brott, B. C. (2010). In-vivo corrosion and local release of metallic ions from vascular stents into surrounding tissue. *Journal of Invasive Cardiology*, 22(11), 528-535.
5. Iqbal, J., Gunn, J., & Serruys, P. W. (2013). Coronary stents: historical development, current status and future directions. *British medical bulletin*, 106(1), 193-211.
6. Huang, Q., Yang, Y., Hu, R., Lin, C., Sun, L., & Vogler, E. A. (2015). Reduced platelet adhesion and improved corrosion resistance of superhydrophobic TiO<sub>2</sub>-nanotube-coated 316L stainless steel. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 125, 134-141.
7. Lange, D., Bidnur, S., Hoag, N., & Chew, B. H. (2015). Ureteral stent-associated complications—where we are and where we are going. *Nature Reviews Urology*, 12(1), 17-25.
8. Lin, Q., Ding, X., Qiu, F., Song, X., Fu, G., & Ji, J. (2010). In situ endothelialization of intravascular stents coated with an anti-CD34 antibody functionalized heparin–collagen multilayer. *Biomaterials*, 31(14), 4017-4025.
9. Balossino, R., Gervaso, F., Migliavacca, F., & Dubini, G. (2008). Effects of different stent designs on local hemodynamics in stented arteries. *Journal of biomechanics*, 41(5), 1053-1061.
10. Hamilos, M. I., Ostojic, M., Beleslin, B., Sagic, D., Mangovski, L., Stojkovic, S., et. al. (2008). Differential effects of drug-eluting stents on local endothelium-dependent coronary vasomotion. *Journal of the American College of Cardiology*, 51(22), 2123-2129.
11. Bhatt, D. L. (2012). EXAMINATION of new drug-eluting stents—top of the class!. *The Lancet*, 380(9852), 1453-1455.
12. Alfonso, F., Byrne, R. A., Rivero, F., & Kastrati, A. (2014). Current treatment of in-stent restenosis. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(24), 2659-2673.
13. Hermawan, H., Dubé, D., & Mantovani, D. (2010). Developments in metallic biodegradable stents. *Acta biomaterialia*, 6(5), 1693-1697.
14. Moravej, M., & Mantovani, D. (2011). Biodegradable metals for cardiovascular stent application: interests and new opportunities. *International journal of molecular sciences*, 12(7), 4250-4270.
15. Bangalore, S., Toklu, B., Amoroso, N., Fusaro, M., Kumar, S., Hannan, E. L., et. al. (2013). Bare metal stents, durable polymer drug eluting stents, and biodegradable polymer drug eluting stents for coronary artery disease: mixed treatment comparison meta-analysis. *Bmj*, 347, 1-20.
16. Schillinger, M., Sabeti, S., Loewe, C., Dick, P., Amighi, J., Mlekusch, W., et. al. (2006). Balloon angioplasty versus implantation of nitinol stents in the superficial femoral artery. *New England Journal of Medicine*, 354(18), 1879-1888.
17. Lee, S. W., Park, S. W., Kim, Y. H., Yun, S. C., Park, D. W., Lee, C. W., et. al. (2011). A randomized, double-blind, multicenter comparison study of triple antiplatelet therapy with dual antiplatelet therapy to reduce restenosis after drug-eluting stent implantation in long coronary lesions: results from the DECLARE-LONG II (Drug-Eluting Stenting Followed by Cilostazol Treatment Reduces Late Restenosis in Patients with Long Coronary Lesions) trial. *Journal of the American College of Cardiology*, 57(11), 1264-1270.
18. Praveen Kumar, G., Jafary-Zadeh, M., Tavakoli, R., & Cui, F. (2017). Feasibility of using bulk metallic glass for self-expandable stent applications. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 105(7), 1874-1882.
19. Amanov, A., Lee, S. W., & Pyun, Y. S. (2017). Low friction and high strength of 316L stainless steel tubing for biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*, 71, 176-185.
20. Siontis, G. C., Stefanini, G. G., Mavridis, D., Siontis, K. C., Alfonso, F., Pérez-Vizcayno, M. J., et. al. (2015). Percutaneous coronary interventional strategies for treatment of in-stent restenosis: a network meta-analysis. *The Lancet*, 386(9994), 655-664.
21. Palmerini, T., Benedetto, U., Biondi-Zoccai, G., Della Riva, D., Bacchi-Reggiani, L., Smits, P. C., et. al. (2015). Long-term safety of drug-eluting and bare-metal stents: evidence from a comprehensive network meta-analysis. *Journal of the American College of Cardiology*, 65(23), 2496-2507.
22. Bandar, A. M., Rosaire, M., & Stephen, Y. (2013). Coronary stents fracture: an engineering approach. *Materials Sciences and Applications*, 4(10), 606-621.
23. Menown, I. B., Noad, R., Garcia, E. J., & Meredith, I. (2010). The platinum chromium element stent platform: from alloy, to design, to clinical practice. *Advances in therapy*, 27(3), 129-141.
24. Chao, Z., Yaomu, X., Chufeng, L., & Conghua, L. (2017). The effect of mucin, fibrinogen and IgG on the corrosion behaviour of Ni–Ti alloy and stainless steel. *Biometals*, 30(3), 367-377.
25. O'Brien, B., Zafar, H., Ibrahim, A., Zafar, J., & Sharif, F. (2016). Coronary stent materials and coatings: a technology and performance update. *Annals of biomedical engineering*, 44(2), 523-535.
26. Weiss, S., & Mitevski, B. (2015). Microstructure and deformation of coronary stents from coCr-alloys with different designs. *Materials*, 8(5), 2467-2479.
27. Hanawa, T. (2012). Research and development of metals for medical devices based on clinical needs. *Science and technology of advanced materials*, 13(6), 064102.
28. Niinomi, M., Nakai, M., & Hieda, J. (2012). Development of new metallic alloys for biomedical applications. *Acta biomaterialia*, 8(11), 3888-3903.

29. Kraus, T., Moszner, F., Fischerauer, S., Fiedler, M., Martinelli, E., Eichler, J., et. al. (2014). Biodegradable Fe-based alloys for use in osteosynthesis: Outcome of an in vivo study after 52 weeks. *Acta biomaterialia*, 10(7), 3346-3353.
30. Schinhammer, M., Gerber, I., Hännzi, A. C., & Uggowitz, P. J. (2013). On the cytocompatibility of biodegradable Fe-based alloys. *Materials Science and Engineering: C*, 33(2), 782-789.
31. Grogan, J. A., Leen, S. B., & McHugh, P. E. (2012). Comparing coronary stent material performance on a common geometric platform through simulated bench testing. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*, 12, 129-138.
32. Pinedo, M. A. (2016). Investigation of the Corrosion Behaviour of Bare and Polypyrrole-coated WE43 Magnesium Alloy for the Development of Biodegradable Implants. *Doctoral dissertation, McGill University Libraries*.
33. Azaouzi, M., Makradi, A., & Belouettar, S. (2012). Deployment of a self-expanding stent inside an artery: a finite element analysis. *Materials & Design*, 41, 410-420.
34. Siontis, G. C., Stefanini, G. G., Mavridis, D., Siontis, K. C., Alfonso, F., Pérez-Vizcayno, M. J., et. al. (2015). Percutaneous coronary interventional strategies for treatment of in-stent restenosis: a network meta-analysis. *The Lancet*, 386(9994), 655-664.
35. Zhou, Z., Yin, Q., Xu, G., Yue, X., Zhang, R., Zhu, W., et. al. (2011). Influence of vessel size and tortuosity on in-stent restenosis after stent implantation in the vertebral artery ostium. *Cardiovascular and interventional radiology*, 34(3), 481-487.
36. Guo, Z., Zhou, F., Hao, J., & Liu, W. (2005). Stable biomimetic super-hydrophobic engineering materials. *Journal of the American Chemical Society*, 127(45), 15670-15671.
37. Callies, M., Chen, Y., Marty, F., Pépin, A., & Quéré, D. (2005). Microfabricated textured surfaces for super-hydrophobicity investigations. *Microelectronic engineering*, 78, 100-105.
38. Hsieh, C. T., Chen, J. M., Kuo, R. R., Lin, T. S., & Wu, C. F. (2005). Influence of surface roughness on water-and oil-repellent surfaces coated with nanoparticles. *Applied Surface Science*, 240(1-4), 318-326.
39. Horgnies, M., & Chen, J. J. (2014). Superhydrophobic concrete surfaces with integrated microtexture. *Cement and Concrete Composites*, 52, 81-90.
40. Rao, A. P., & Rao, A. V. (2010). Modifying the surface energy and hydrophobicity of the low-density silica aerogels through the use of combinations of surface-modification agents. *Journal of materials science*, 45(1), 51-63.
41. O'Brien, B., & Carroll, W. (2009). The evolution of cardiovascular stent materials and surfaces in response to clinical drivers: a review. *Acta biomaterialia*, 5(4), 945-958.
42. Tibbitt, M. W., Rodell, C. B., Burdick, J. A., & Anseth, K. S. (2015). Progress in material design for biomedical applications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(47), 14444-14451.
43. Lutter, C., Nothhaft, M., Rzany, A., Garlichs, C. D., & Cicha, I. (2015). Effect of specific surface microstructures on substrate endothelialisation and thrombogenicity: Importance for stent design. *Clinical hemorheology and microcirculation*, 59(3), 219-233.
44. Zhao, N., & Zhu, D. (2015). Endothelial responses of magnesium and other alloying elements in magnesium-based stent materials. *Metallomics*, 7(1), 118-128.
45. Chen, Y., Xu, Z., Smith, C., & Sankar, J. (2014). Recent advances on the development of magnesium alloys for biodegradable implants. *Acta biomaterialia*, 10(11), 4561-4573.
46. Puskas, J. E., Muñoz-Robledo, L. G., Hoerr, R. A., Foley, J., Schmidt, S. P., Evancho-Chapman, M., et. al. (2009). Drug-eluting stent coatings. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 1(4), 451-462.
47. Alfonso, F., Pérez-Vizcayno, M. J., Cárdenas, A., del Blanco, B. G., García-Touchard, A., López-Minguéz, J. R., et. al. (2015). A prospective randomized trial of drug-eluting balloons versus everolimus-eluting stents in patients with in-stent restenosis of drug-eluting stents: the RIBS IV randomized clinical trial. *Journal of the American College of Cardiology*, 66(1), 23-33.
48. Ali, M. T., Martin, K., Kumar, A. H., Cavallin, E., Pierrou, S., Gleeson, B. M., et. al. (2015). A novel CX3CR1 antagonist eluting stent reduces stenosis by targeting inflammation. *Biomaterials*, 69, 22-29.
49. Azarnoush, H., & Boulet, B. (2010, June). Angioplasty balloon deployment control. In *Proceedings of the 2010 American Control Conference* (pp. 3572-3573). IEEE.
50. G. V. Research, (2016). Drug Eluting Stent Market, By Polymer-based Coatings (Non-biodegradable Polymer-based, Biodegradable Polymer-based), Polymer-free Coatings (Micro Porous Surface, Microstructured Surface, Slotted Tubular Surface, Nanoporous Surface), By Application (Corona. *Mark. Res. Rep.* 1-89.
51. Lee, S. Y., Ahn, J. M., Mintz, G. S., Hur, S. H., Choi, S. Y., Kim, S. W., et. al. (2017). Characteristics of Earlier Versus Delayed Presentation of Very Late Drug-Eluting Stent Thrombosis: An Optical Coherence Tomographic Study. *Journal of the American Heart Association*, 6(4), e005386.
52. Av, F., Joner, M., Nakazawa, G., Kolodgie, F., Newell, J., & MC, J. (2007). Pathological correlates of late drug-eluting stent thrombosis. *Circulation*, 115, 2435-2441.
53. Sukavaneshvar, S. (2017). Device thrombosis and pre-clinical blood flow models for assessing antithrombogenic efficacy of drug-device combinations. *Advanced drug delivery reviews*, 112, 24-34.
54. Montalescot, G., Brieger, D., Dalby, A. J., Park, S. J., & Mehran, R. (2015). Duration of dual antiplatelet therapy after coronary stenting: a review of the evidence. *Journal of the American College of Cardiology*, 66(7), 832-847.
55. Iwata, T. (2015). Biodegradable and bio-based polymers: future prospects of eco-friendly plastics. *Angewandte Chemie International Edition*, 54(11), 3210-3215.
56. Doppalapudi, S., Jain, A., Khan, W., & Domb, A. J. (2014). Biodegradable polymers—an overview. *Polymers for Advanced Technologies*, 25(5), 427-435.
57. Waksman, R., & Pakala, R. (2010). Biodegradable and bioabsorbable stents. *Current pharmaceutical design*, 16(36), 4041-4051.
58. Zhu, Y., Yang, K., Cheng, R., Xiang, Y., Yuan, T., Cheng, Y., et. al. (2017). The current status of biodegradable stent to treat benign luminal disease. *Materials Today*, 20(9), 516-529.

59. Hermawan, H., Dubé, D., & Mantovani, D. (2010). Degradable metallic biomaterials: design and development of Fe–Mn alloys for stents. *Journal of Biomedical Materials Research Part A: An Official Journal of The Society for Biomaterials, The Japanese Society for Biomaterials, and The Australian Society for Biomaterials and the Korean Society for Biomaterials*, 93(1), 1-11.
60. Waksman, R., Pakala, R., Kuchulakanti, P. K., Baffour, R., Hellinga, D., Seabron, R., et. al. (2006). Safety and efficacy of bioabsorbable magnesium alloy stents in porcine coronary arteries. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, 68(4), 607-617.
61. Repici, A., Pagano, N., Rando, G., Carlino, A., Vitetta, E., Ferrara, E., et. al. (2013). A retrospective analysis of early and late outcome of biodegradable stent placement in the management of refractory anastomotic colorectal strictures. *Surgical endoscopy*, 27(7), 2487-2491.
62. Waksman, R. (2007). Promise and challenges of bioabsorbable stents. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*, 70(3), 407-414.
63. Moore, J. E., Soares, J. S., & Rajagopal, K. R. (2010). Biodegradable stents: biomechanical modeling challenges and opportunities. *Cardiovascular Engineering and Technology*, 1(1), 52-65.
64. Byrne, R. A., Joner, M., & Kastrati, A. (2015). Stent thrombosis and restenosis: what have we learned and where are we going? The Andreas Grüntzig Lecture ESC 2014. *European heart journal*, 36(47), 3320-3331.
65. Gomez-Blazquez, I., Diaz, V. J., Fernandez-Barbeira, S., Fernández, G. B., Castro, A. D. M., Alonso, J. A. B., et. al. (2017). TCT-847 Everolimus-eluting bioresorbable scaffold for the treatment of coronary in-stent restenosis: immediate and 12 months clinical results. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(18 Supplement), B342.
66. Gomez-Blazquez, I., Diaz, V. J., Fernandez-Barbeira, S., Fernández, G. B., Castro, A. D. M., Alonso, J. A. B., et. al. (2017). TCT-849 In-stent restenosis treated with everolimus-eluting bioresorbable scaffold: 1-year angiographic results. *Journal of the American College of Cardiology*, 70(18 Supplement), B343.
67. Katz, G., Harchandani, B., & Shah, B. (2015). Drug-eluting stents: the past, present, and future. *Current atherosclerosis reports*, 17(3), 11.
68. Kolk, A., Handschel, J., Drescher, W., Rothamel, D., Kloss, F., Blessmann, M., et. al. (2012). Current trends and future perspectives of bone substitute materials—from space holders to innovative biomaterials. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 40(8), 706-718.
69. Mahnken, A. H. (2012). CT imaging of coronary stents: past, present, and future. *ISRN cardiology*, 1-12.
70. Diao, C. L. Y. Z. Z., & Wang, J. Q. G. (2011). Research progress and future prospects for promoting endothelialization on endovascular stents and preventing restenosis. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 31(5), 307-316.
71. Murphy, E. A., & Boyle, F. J. (2012). Reducing in-stent restenosis through novel stent flow field augmentation. *Cardiovascular Engineering and Technology*, 3(4), 353-373.
72. Tan, A., Alavijeh, M. S., & Seifalian, A. M. (2012). Next generation stent coatings: convergence of biotechnology and nanotechnology. *Trends in biotechnology*, 30(8), 406-409.
73. Moore, S. S., O’Sullivan, K. J., & Verdecchia, F. (2016). Shrinking the supply chain for implantable coronary stent devices. *Annals of biomedical engineering*, 44(2), 497-507.
74. G. V. Research. (2018). Coronary Stent Market Size, Share & Trend Analysis Report by Product (Bare Metal Stents, Drug Eluting Stents, Bioresorbable Vascular Scaffold), And Segment Forecasts 2018 – 2024. 1–82.
75. Im, S. H., Jung, Y., & Kim, S. H. (2017). Current status and future direction of biodegradable metallic and polymeric vascular scaffolds for next-generation stents. *Acta biomaterialia*, 60, 3-22.
76. Kalra, A., Rehman, H., Khera, S., Thyagarajan, B., Bhatt, D. L., Kleiman, N. S., & Yeh, R. W. (2017). New-generation coronary stents: current data and future directions. *Current atherosclerosis reports*, 19(3), 14-23.
77. Regazzoli, D., Leone, P. P., Colombo, A., & Latib, A. (2017). New generation bioresorbable scaffold technologies: an update on novel devices and clinical results. *Journal of thoracic disease*, 9(Suppl 9), 979-985.
78. Foerst, J., Vorpahl, M., Engelhardt, M., Koehler, T., Tiroch, K., & Wessely, R. (2013). Evolution of coronary stents: from bare-metal stents to fully biodegradable, drug-eluting stents. *Combination Products in Therapy*, 3(1-2), 9-24.





# Uzayda Yerli Kaynaklar ile Yapı Malzemesi Üretimi\*

Asena Karşlıoğlu<sup>1\*\*</sup>, Mehmet İnanç Onur<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5178-4069)

<sup>2</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2421-4471)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf27)

**ATIF/REFERENCE:** Karşlıoğlu, A., & Onur, M. İ. (2020). Uzayda Yerli Kaynaklar ile Yapı Malzemesi Üretimi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 216-223.

## Öz

İnşaat mühendisliği; insanlığın başından beri var olan, gelecekte de var olmaya devam edecek olan temel bir mühendisliktir. İnşaat mühendisleri olumsuz koşullara karşı mevcut malzeme ve tekniği kullanarak insanlığa hizmet ederler. İnsanoğlu gidebileceği her yere gider sözüyle birlikte araştırmacılar tarafından uzayda kullanılabilir yapı malzemelerini üretme çalışmaları da uzun zamandır devam etmektedir. Üretilen yapı malzemelerinin sadece uzay ortamına (yüksek vakum, düşük yerçekimi, vb.) dayanıklı olması değil, aynı zamanda sürdürülebilir olması da gerekmektedir. Uzay inşaat mühendisliğinin temel amaçlarından birisi de uzaydaki yerel olanakları kullanarak yapı malzemesi üretmektir. Bu çalışmada, geçmiş Ay ve Mars regoliti simülasyonları karşılaştırılmıştır. Ülkemizde gerekli simülasyonları yapabilmek için uygun toprakların elde edilebileceği bölgeler belirlenmiştir. Ayrıca, üretilecek simülasyonların sürdürülebilir olması için gereklilikler çalışma sonunda vurgulanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Regolit, Ay toprağı, Mars toprağı, Simülasyon, Yapı malzemeleri.

## Production of Construction Materials with Local Resources in Space

### Abstract

Civil engineering is a fundamental engineering that has existed since the beginning of humanity and will continue to exist in the future. The civil engineers serve humanity against the negative conditions by using available materials and techniques. Researchers have been going on studying to produce construction materials that can be used in space for a long time with this word that people go everywhere they can go. The construction materials produced must not only be resistant to the environment of space (i.e. high vacuum, low gravity, etc.), but must also be sustainable. One of the main purposes of space civil engineering is to produce construction materials using local resources in space. In this study, past Lunar and Martian regolith simulations are compared. In order to make necessary simulations, the regions where the suitable soil can be obtained from in our country are determined. In addition, the requirements for sustainability of the produced simulations are emphasized at the end of the study.

**Keywords:** Regolith, Lunar soil, Martian soil, Simulations, Construction material.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\*Sorumlu Yazar: Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5178-4069), [asenakarslioglu@eskisehir.edu.tr](mailto:asenakarslioglu@eskisehir.edu.tr)



## 1. Giriş

İnsanoğlunun varoluşundan itibaren en önemli ihtiyaçlarından biri de barınma olmuştur. İlk zamanlarda mağaralarda yaşamaya başlayan insanlar, daha sonra dünya üzerindeki yerel kaynakları kullanarak kendilerine barınaklar yapmaya başlamışlardır. Öncelikle çalı çırpı, göçebe hayatındayken ağaç ve keçe, yerleşik hayata geçtiklerinde ise ahşap, toprak ve doğal taş kullanarak çeşitli barınaklar inşa etmişlerdir. Özellikle yerleşik hayata geçişten sonra mimarinin gelişmesiyle, insanoğlu bulunduğu coğrafya ve kültürün de etkisi altında farklı yapıtlar ortaya koymuştur. Bu yapıtlar teknolojik ilerlemeye bağlı olarak geliştirilen farklı yapı malzemeleri kullanılarak inşa edilmiştir. Günümüzde kolay şekil verilebilmesi, ekonomik olması, üretiminin ve kullanımının kolay olması, ortama karşı dayanıklı olması, aktüalitesini ve popülerliğini kaybetmemesi sebebiyle beton, en çok tercih edilen yapı malzemesidir [Şimsek, 2012]. Betonun gelişimi öncelikle paleolitik çağda kilin bağlayıcılık özelliğinin keşfedilmesinden sonra, neolitik çağda ateşin de keşfiyle birlikte alçı ve kirecin üretilmesiyle başlamıştır. Daha sonra Romalılar puzolan adlı malzemenin bağlayıcılık özelliğini fark edip, puzolanik malzemelerden ürettikleri betonu Pantheon Tapınağı gibi birçok yapıda kullanmıştır. İlk beton benzeri yapılarda geçirimsizliği sağlamak amacıyla silis kumu kullanıldığı ve bu yapıların M.Ö. 6500 yıllarında Suriye’de yaşayan Nabataean halkı tarafından yapıldığı bilinmektedir. Günümüzde bağlayıcı olarak kullanılan Portland Çimentosunun mucidi ise duvar ustası olan İngiliz Joseph Aspdin’dir [Engin, 2017]. Çimentonun icadıyla günümüz geleneksel betonunun ana temelleri oluşmuştur. Geleneksel beton; bağlayıcı malzeme olarak çimento, hacim değişikliği engellemek amaçlı iri agregası, kılcal boşlukları tıkamak için ince agregası, işlenebilirliği arttırmak ve çimentonun hidratasyonunu gerçekleştirmek için suyun belirlenen oranlarda homojen şekilde karıştırılmasıyla oluşan kompozit bir yapı malzemesidir. Gün geçtikçe beton üretimi artık insanların barınma ihtiyacının yanında farklı ihtiyaçlara ve durumlara göre de gelişmeye devam etmektedir. Örneğin soğuk bölgeler için hava sürükleyici beton, nükleer santraller için ağır beton, deniz yapılarının sülfattan ve tuzlardan korunması için düşük poroziteye sahip beton, depremselliğin olduğu yerlerde yüksek dayanım ve sünek beton, son zamanlarda ise maliyet ve sürdürülebilirlik için atıklar kullanılarak hazırlanan özel betonlar üretilmeye başlanmıştır. Özel betonların amaçlarından biri süneklik, durabilite, enerji tokluğu gibi özelliklerinin gelişmesini sağlamaktır [Şimsek, 2012]. Bu maksatla betona mineral ve kimyasal katkı maddelerinin, çeşitli fiberlerin eklenmesiyle ilgili çalışmalar yapılmıştır.

Shang vd. tarafından donma-çözülme çevrimlerinin göreceli dinamik esneklik modülü (RDME) ve C20, C25, C30, C40 ve C50 hava sürükleyici betonunun ağırlık kaybı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hava sürükleyici betonun donma-çözülme dayanımının geleneksel betondan çok daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır [Shang ve ark, 2013]. Gupta vd. ince agregaların yerine atık kauçuk elyaf kullanılmasının betonun darbe dayanımı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Çalışma, atık kauçuk elyafının, betonun dayanım direncini ve esnekliğini arttırmak için sürdürülebilir bir malzeme olarak kullanılabilirliğini göstermektedir. Çalışma aynı zamanda silis dumanının darbe direncini arttırdığını ve kauçuk elyaf betonun sünekliğini azalttığını göstermektedir [Gupta ve ark, 2015]. Xie vd. tarafından çelik elyaf takviyeli geri dönüştürülmüş agregası olarak kırıntı kauçuğu kullanılmış betonun basınç ve eğilme davranışları araştırılmıştır. Çelik liflerin betonda yeterince bulunması hem direnci hem de enerji emme kapasitesini arttırmaktadır [Xie ve ark, 2015]. Özetle, süregelen bu çalışmalarla betonun gelişmeye açık bir yapı malzemesi olduğu görülmektedir.

İnsanlar ilk çağlardan beri gökyüzünü oldukça ilgi çekici bulmuştur ve gökyüzüne olan merakla beraber astronomi çalışmaları başlamıştır. Başlangıçta, sadece günlük yaşamlarını düzenlemeye yardımcı olan bu çalışmalar gittikçe araştırmacıların gezegenler, asteroidler, yıldızlar vb. gibi gök cisimlerini yakından tanımak istemesine dönüşmüştür. Uzay hakkında daha fazla bilgi edinmek istenildiği için 1950’li yıllardan beri uzaya araçlar gönderilmektedir. Dünyadaki kaynakların tüketilmesi, atıkların fazlalaşması, insan nüfusunun artması ve uzayda yapılan araştırma sonuçları; araştırmacıların yakın olması sebebiyle önce Ay’a ve daha sonra rengi ile bizleri etkileyen kızıl gezegen Mars’a koloniler kurmayı amaçlamaktadır. Bu durum ise insanlığın başlangıcından beri en temel ihtiyacımız olan barınmayı uzay ortamında nasıl gerçekleştireceğimiz sorusunu akıllara getirmektedir. Dünyada olduğu gibi Ay ve Mars’ta da barınma ihtiyacımız için yapılar inşa etmemiz ve bunun içinde yapı malzemeleri üretmemiz gerekmektedir. Kendine has esnekliği ve dayanıklılık özelliklerinden dolayı beton, Ay ve Mars yapılarında ilk tercih edilecek yapı malzemesi olacaktır. Betonun üretilmesinde yerinde kaynak kullanımı ise çalışmalar içerisinde önemli bir yere sahiptir. Yerinde kaynak kullanımı (ISRU), Dünya’ya bağımlılığı en aza indirmek için uzay araştırmaları sırasında karşılaşılan yerli kaynakların toplanması ve işlenmesi olarak tanımlanmaktadır. Steinhoff’a göre, ISRU uzay keşif maliyetlerini 10 ila 50 kat arasında değişen bir şekilde azaltma potansiyeline sahiptir [Steinhoff, 1966].

ISRU’dan üretilen beton ve beton türevlerinin insan yerleşimi için uygunluğu uzay benzeri ortam atmosferinde (radyasyon, vakum, düşük ırmak, vb.) yıllardır incelenmektedir. Kanamori vd. 1 torr büyüklüğündeki vakuma maruz bırakılan geleneksel beton numunelerinde ilginç bir davranış olduğunu fark etmişlerdir. Deneyde beton silindirler 1, 3, 7 ve 28 gün boyunca suda kürlendikten sonra 2 gün ile 1 yıl arasında değişen bir süre boyunca vakuma maruz bırakılmıştır. 28 gün boyunca su ile işlem görmüş numunelerin, 1 yıl vakuma maruz kaldıktan sonra, su içinde kürlenlen numunelerden daha yüksek basınç ve eğilme dayanımlarına sahip oldukları gözlenmiştir. Bu davranış, jel ve kılcal gözeneklerdeki suyun varlığından dolayı devam eden çimento hidratasyonuna bağlanmıştır [Kanamori ve ark, 1991]. Horiguchi vd. Portland çimentosundan hazırlanan beton ve harcın davranışını ay simülasyonundan hazırlananlar ile karşılaştırmıştır. 40x40x40 mm olan kübik numuneler kürlenmeye bırakılmış, sertleştikten sonra 10-4 torr büyüklüğündeki vakum koşullarını simüle etmek için kapalı bir odaya yerleştirilmiştir. Ay simülasyonundan hazırlanmış beton küplerin basınç dayanımı Portland çimentosundan yapılmış küplerde ölçülenden yaklaşık %58 daha yüksek çıkmıştır [Horiguchi ve ark, 1998].

Uzay inşaatında hidrolik olmayan beton üretmek için, son zamanlarda bazı alternatifler araştırılmıştır. Polimer betonu geliştirmek için termoplastik ve/veya termoset polimerlerin kullanılması bir alternatif olabilir. Polimer beton karışımında, agregaları ve dolgu malzemelerini bağlamak için kullanılan polimerin eritilmesi gerekmektedir. Bu sebeple karışım genellikle ısıtılır veya UV ışığına

maruz bırakılmaktadır [Naser, 2019]. Lee vd. belirli bir polimer miktarının Dünya'dan ithal edilmesi gerektiğini varsayarak Ay'da termoplastik polimer içeren ay betonunun geliştirmişlerdir. Kütlece %10 polimer ve %90 ay toprağı karışımı, 50x50x50 mm'lik bir kübik kalıba dökülmüş, ortam taklit edilerek testler gerçekleştirilmiştir. Ay betonunun dayanımı bu şartlar altında 5 saat içinde yaklaşık 12.6-12.9 MPa ölçülmüştür. Böylece, yaşam alanı, iniş / fırlatma rampası ve tesisleri kapsayan, bir altyapı oluşturmak için yeterli olan beton dayanımına ulaşılmıştır. Azami taşıma yükü göz önüne alındığında, Ay'a yapılan tek inişle yaklaşık 100 ton Ay betonu üretilebileceği sonucuna varılmıştır [Lee ve ark, 2015].

Ay ve Mars'ta yüksek miktarda kükürt bulunması da uzay yapılarında kükürt betonu kullanılabilceği araştırmalarına sebebiyet vermektedir. Erimiş kükürt çimento esaslı malzemeler ile karıştırılır, kükürt soğuduğunda, katılaşır ve kükürt betonu oluşur. Bu tip betonlar hidrasyon gerektirmezler ve birkaç gün içerisinde haftalarca sürebilen normal betondan farklı olarak dayanımlarını birkaç saat içinde kazanırlar [Naser, 2019]. Grugel vd. tarafından yapılan çalışma agregaya ek olarak JSC-1 ay simülasyonu ile SiO<sub>2</sub> tozu kullanılarak hazırlanan saf kükürtten üretilen iki set küçük kükürt beton numunesini değerlendirmektedir. Saf kükürt ve iki kükürtlü beton karışımı hazırlanmıştır ve 60 gün boyunca yaklaşık 20 ° C'de 5 x 10<sup>-7</sup> torr kapasiteli bir vakum ortamına yerleştirilmiştir. Numunelerin periyodik olarak tartılması, kükürtün buharlaşmasından dolayı sürekli bir kilo kaybını ortaya çıkarmıştır [Grugel ve ark, 2008]. Wan vd. 21. yüzyılda uzay araştırmalarında önemli bir adımın Mars'a insan yerleşiminin olacağını söylemektedir. Mars'ın uzun süredir "kükürt bakımından zengin bir gezegen" kabulü ile simüle edilmiş Mars toprağı ve erimiş kükürt içeren yeni bir yapı malzemesi geliştirilmiştir. Optimum karışım oranlarını elde etmek için farklı kükürt yüzdeleri araştırılmıştır. Mars betonu üretimi için en iyi karışım %50 kükürt ve toplam agrega büyüklüğü 1 mm olan %50 Mars toprak simülasyonudur. Dayanımın gelişimi, dayanım değişkenliği ve kırılma mekanizmalarını belirlemek için üç noktada eğilme, serbest basınç ve yarma deneyi yapılmıştır. Deney sonuçları, Mars Betonunun dayanımının, normal kum kullanan kükürt betonunun iki katına çıktığını göstermektedir. Ayrıca partikül büyüklüğü dağılımının, karışımın nihai kuvvetinde önemli bir rol oynadığı gösterilmiştir. Buna ek olarak, Mars toprağı metal bakımından zengin olduğu için, sülfatlar ve potansiyel olarak polisülfatlar da yüksek sıcaklıkta karıştırma sırasında oluştuğu ve bunun da yüksek dayanıma katkıda bulunduğu söylenebilir. Son olarak Mars betonu, çeşitli yükleme koşulları altında malzeme tepkisini modelleme konusunda mükemmel bir yetenek sergileyen Kafes Ayrık Parçacık Modeli (LDPM) ile simüle edilmiştir [Wan ve ark, 2016].

Geopolimer beton %20-30'luk bir geopolimer bağlayıcıdan (uçucu kül, metakaolin vb. gibi) ve %70-80'i kaba ve ince agregalardan oluşan, neredeyse sifıra yakın su tüketimine, termal döngü ve donma-çözölmeye karşı yüksek dirence ve iyi vakum stabilitesine sahip bir beton çeşididir. Bu tip betonun dayanımı aynı zamanda geleneksel betonun basınç ve eğilme dayanımının iki-üç katıdır ve sadece 1-2 gün içerisinde tam dayanımını elde etmek için hızlandırılmış kürlleme ile tasarlanabilmektedir [Naser, 2019]. Alexiadis vd. yerinde geopolimer beton üretmek için Ay simülasyonu JSC-1A ve Mars simülasyonu Mars-1A'nın potansiyelini araştırmıştır. Ay ve Mars simülasyonlu geopolimer beton numuneleri üzerinde basınç ve eğilme deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonucu, Ay geopolimer betonunun hem Mars geopolimer betonunu hem de geleneksel betonu geride bıraktığını göstermiştir. Mars geopolimer betonunun belirgin bir şekilde düşük basınç dayanımı, Mars geopolimer betonunun geliştirilmesinde kullanılan Mars-1A simülasyonlarının düşük reaktivitesine bağlanmıştır [Alexiadis ve ark, 2017].

Yapılan çalışmalar; hem Ay ve Mars kaynaklarının yerinde kullanımının (ISRU) ne kadar önemli olduğu hem de yapılan simülasyonların uzay yapılarında kullanılacak yapı malzemelerini geliştirmekteki önemini göstermektedir. Türkiye olarak yaklaşan uzay çağı için gerekli hazırlıkların yapılması gerekmektedir. Bu sebepten bu çalışmada, öncelikle gerçek Ay ve Mars regoliti ile literatürde verilmiş yapay regolitler sunulmuştur. Türkiye'de üretilecek yapay regolitler için kaynak araştırması yapılmıştır. Gerekli testler ile işleme teknolojileri de belirtilmiş ve ülkemizde bu çalışmalar için öncü kaynak oluşturulması hedeflenmiştir.

## 2. Materyal ve Çalışma

### 2.1. Uzay Ortamı

Uzay ortamı; düşük yerçekimi, yüksek vakum, ani yüksek ve düşük sıcaklıklar, güçlü radyasyon ve plazma ile dolu karmaşık bir ortamdır [14]. Ay ve Mars'ın düşük yer çekimi ile aşırı sıcaklık döngülerinin düşük atmosferik basınca neden olması ve radyasyona karşı zayıf kalkan gibi olması atmosferi olumsuz etkilemektedir. Ay ve Mars'taki yerçekimi sırasıyla Dünya'dakinin 1/6'sı ve 3/8'i kadardır. Dünya'daki atmosferik basınç ise 101.2 kPa olmasına rağmen Ay'da 3x10<sup>-13</sup> kPa, Mars'ta 7x10<sup>-1</sup> kPa değerindedir. Yüzey sıcaklıkları arasındaki farklar ise Ay'da -171°C ile 111°C, Mars'ta -143°C ile 35°C arasında değişim gösterebilmektedir. Bu sıcaklık değişimleri termal genişlemelere ve büzölmelere de sebebiyet vermektedir. Mars'ın zayıf atmosferi nedeniyle, kuvvetli rüzgâr oluşumu yaygın değildir ve sadece belirli yerlerde maksimum 100 km / saat hıza ulaşabilir. Ay ve Mars ortamının çok tozlu olduğu ve radyasyonun çok yüksek olduğu vurgulanmaktadır. Radyasyon seviyesi Ay'da 380 mSv, Mars'ta 100 mSv civarındadır [Mueller, 2017].

### 2.2. Ay ve Mars Regoliti

Uzayda yerel kaynak olarak kullanılabilcek olan malzeme, kalınlığını onlarca metreye kadar değişen büyük parçaların zaman içinde güneş ve galaktik ışınlar ile fiziksel olarak küçük parçalara ayrılmasıyla oluşan regolittir. Gerçekte regolitin bilinen anlamdaki toprakla benzeşmemesinin nedeni organik bileşimleri içermemesidir [Kuvvet, 2010]. Toprak terimi bazen regolit ile eş anlamlı olarak kullanılsa da bu terim aslında Ay ve Mars yüzeyini kaplayan malzemelerin konsolide olmayan parçalarının daha ince kesimlerini (<10mm çapında) ifade etmektedir [Naser, 2019].

Ay'ın Dünya'ya daha yakın ve uydusu olması sebebiyle Ay regoliti hakkında daha fazla bilgi bulunmaktadır. Regolitin dane çapı yaklaşık 100 µm civarındadır, bu durumda bize regolitin toz gibi bir malzeme olduğunu göstermektedir. Yapışma durumu ise oldukça fazladır, ıslak plaj kumuna benzetilmektedir. Boşluk oranı %45, yüzey alanı 0.5 m<sup>2</sup>/g, kohezyon 0.1-1 kN/m<sup>2</sup>, sürtünme açısı = 30-50° ve zemin modülü 1000 kN/m<sup>2</sup>/m'dir.

### 2.3. Ay ve Mars Simülasyonları

Önceleri yapı malzemelerinin Dünya'da üretildikten sonra Ay veya Mars'a taşınabileceği düşünülmekteydi fakat bunun maliyetinin çok yüksek olması sebebiyle araştırmacılar uzaydaki yerel kaynaklara yönelmiştir. Benzer şekilde, araştırmalar için Ay ve Mars'tan toprak getirmenin uzun sürmesi ve yeterli miktarda getirilmesinin imkânsız olması simülasyonlara yönelimi doğurmuştur. Tablo 1'de bugüne kadar yapılmış kaiteli Ay ve Mars simülasyonları görülmektedir.

Tablo 1. Ay ve Mars simülasyonlarının adları [Database, 2014]

Simülasyonlar	Simülasyonların adları	Simülasyonlar	Simülasyonların adları
ALRS-1	Australian Lunar Regolith Simulant	KLS-1	Korea Lunar Simulant
BLHD20	Lunar Dust Simulant	KOHLs-1	Korean Lunar Simulants
BP-1	Black Point W172158	MKS-1	Lunar Simulant
BP-1	Black Point W172154	MLS-1	Minnesota Lunar Simulant
CAS-1	Chinese Academy of Sciences	MLS-1	Minnesota Lunar Simulant
CLDS-i	Lunar Dust Simulant	NAO-1	National Astronomical Observatories
CSM-CL	Colorado School of Mines Colorado Lava	NEU-1	Northeastern University Lunar Simulant
CUG-1A	China University of Geosciences	NU-LHT	Lunar Highland Soil Simulant; USGS Denver
DNA-1	De NoArtri	TJ-1	Tongji University
FJS-1	Fuji Japanese Simulant	JMSS-1	Jining Mars Soil Simulant
FJS-2	Fuji Japanese Simulant	JSC Mars - 1	Johnson Space Center
FJS-3	Fuji Japanese Simulant	KMS-1	Korean Mars Simulant
JSC-1	Johnson Space Center	MMS	Mojave Mars Simulant

Tablo 2'de Ay simülasyonlarının Ay'dan getirilmiş olan Lunar 14163 numunesi ve Apollo 16 numunesi ile Mars simülasyonlarının Mars'tan getirilmiş olan regolit numunesi ile karşılaştırılması görülmektedir. Mars simülasyonlarının çok az olması ve Mars regolitinde %4,9 bulunan kükürt trioksit (SO<sub>3</sub>) bileşeninin yapılmış hiçbir simülasyonda bulunmaması da dikkat çeken noktalardan birisidir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Kullanılabilecek Topraklar

Geçmiş simülasyonlar incelendiğinde volkanizma kökenli toprakların Ay ve Mars simülasyonu için en uygun topraklar olduğu görülmektedir. Ülkemizde yapılan jeolojik araştırmalara göre farklı bölgelerde gerekli jeolojik özelliklere sahip topraklar bulunduğu tespit edilmiştir. Şekil 1'de harita üzerinde işaretlenen bu bölgelerin genel kimyasal özellikleri bakımından yeterli olduğu ancak bazı elementler gerektiği öngörülmektedir. İşaretlenen bölgelerden alınacak numunelerin kimyasal bileşimleri belirlendikten sonra eksik olan elementler uygun şekilde karışıma eklenmeli ve simülasyonlar hazırlanmalıdır. Özellikle Malatya gibi kükürt bazlı toprakların olduğu bölgelerden alınacak numuneler karıştırılarak Mars regoliti simülasyonu üretilebilecektir.

Toklu vd. yaptıkları çalışmada, Türkiye'de Ay simülasyonu üretmek için bir adım atarak simülasyonda kullanmak için Kula tepeleri bölgesinde 8 farklı yerden 8 farklı örnek toplamışlardır. Toplanan örneklerin XRF analizi yapılmıştır ancak bazı elementlerin bu örneklerde bulunmamasından kaynaklı, Ay simülasyonu yapılamamıştır. Eksik elementleri içeren numunelerin başka bir yerden toplanması veya bu elementleri içeren bileşiklerin karışıma eklenmesi gerektiği söylenmiştir [Toklu ve ark, 2017].

Tablo 2. Ay ve Mars simülasyonlarının kimyasal içerikleri [Database, 2014]

SİMÜLASYONLAR	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	LOI
ALRS-1	42,36	2,73	13,48	-	-	12,55	0,18	10,23	8,61	3,29	1,49	0,53	0,02	-	4,50
BLHD20	50,17	1,18	17,21	0,31	7,93	-	0,12	3,34	9,41	5,59	1,67	-	-	-	-
BP-1	47,20	2,30	16,70	-	6,20	5,90	0,21	6,50	9,20	3,50	1,10	0,52	-	-	-
BP-1	46,90	2,20	16,40	-	3,70	8,20	0,21	5,60	9,60	3,40	1,10	0,51	-	-	-
CAS-1	49,24	1,91	15,80	-	11,47	-	0,14	8,72	7,25	3,08	1,03	0,30	-	-	0,52
CLDS-i	49,99	1,22	14,09	-	11,53	-	0,11	8,16	7,17	2,78	1,23	-	-	-	-
CSM-CL	47,90	1,58	17,20	-	-	11,70	0,24	6,44	8,93	3,95	2,42	0,98	-	-	-
CUG-1A	48,32	2,38	16,01	-	12,50	-	0,15	6,95	7,39	0,19	2,12	0,54	-	-	0,19
DNA-1	41,90	1,31	16,02	-	-	14,60	0,21	6,34	12,90	2,66	2,53	0,34	-	-	-
FJS-1	49,10	1,90	16,20	-	8,30	4,80	0,19	3,80	9,10	2,80	1,00	0,44	-	-	-
FJS-2	49,70	1,70	14,80	-	8,20	4,70	0,19	8,10	8,40	2,60	0,92	0,40	-	-	-
FJS-3	46,00	6,70	13,70	-	7,90	5,90	0,28	7,30	7,80	2,60	0,87	0,39	-	-	-
JSC-1	47,40	1,56	16,10	0,03	-	11,40	0,18	7,72	10,50	2,94	0,80	0,59	-	-	0,30
KLS-1	48,00	1,67	15,30	-	6,64	4,75	0,17	9,64	8,38	3,42	1,52	0,33	-	-	-
KOHL-	54,56	0,70	16,73	-	-	-	0,18	2,32	5,44	2,28	3,38	0,21	-	-	-
MKS-1	52,69	1,01	15,91	-	12,28	-	0,22	5,41	9,36	1,90	0,58	0,14	-	-	0,50
MLS-1	48,30	0,03	32,40	-	0,45	-	-	0,15	16,00	2,42	0,06	-	-	-	0,62
MLS-1	42,80	6,77	12,10	-	16,30	-	0,22	6,19	11,10	2,22	0,20	0,04	-	-	-
NAO-1	43,83	0,77	25,79	-	3,52	2,62	0,09	4,93	15,12	1,41	0,47	0,08	-	-	1,10
NEU-1	44,92	2,87	17,23	-	13,09	-	0,34	4,37	9,44	3,97	3,01	0,54	-	-	0,40
NU-LHT	47,60		24,40	-	4,30	-	-	8,50	13,10	1,40	-	-	-	-	-
TJ-1	47,70	2,00	16,20	-	-	10,75	0,15	5,04	8,21	4,92	2,29	0,58	-	-	0,92
JMSS-1	49,28	1,78	13,64	-	-	16,00	0,14	6,35	7,56	2,92	1,02	0,30	-	-	0,48
JSC	43,48	3,62	22,09	0,03	-	16,08	0,26	4,22	6,05	2,34	0,70	0,78	0,31	-	17,36
KMS-1	45,40	1,80	21,86	0,06	-	-	0,11	3,41	9,17	2,74	2,12	0,54	0,03	-	-
MMS	49,40	1,09	17,10	0,05	-	10,87	0,17	6,08	10,45	3,28	0,48	0,17	0,10	-	3,39

AY

MARS



Şekil 1. Türkiye’de Ay ve Mars regoliti simülasyonunda kullanılacak topraklar

Şekil 1’de görülen noktalar; (1) Kula tepeleri, (2) Salda Gölü, (3) Karadağ, (4) Karapınar düzlüğü, (5) Karacadağ, (6) Hasan Dağı, (7) Melendiz Dağı, (8) Göllü Dağ, (9) Acıgöl, (10) Erciyes Dağı, (11) Karacadağ (Şanlıurfa), (12) Nemrut Dağı, (13) Süphan Dağı, (14) Tendürek Dağı, (15) Küçük Ağrı Dağı ve (16) Büyük Ağrı Dağı’nı belirtmektedir. Fark edildiği üzere kullanılacak volkanik topraklar İç Anadolu Bölgesi’nde toplanmış şekildedir.

### 3.2. Üretilen Yapı Malzemeleri

Yerel kaynak olan regolit kullanılarak çeşitli yapı malzemeleri üretilmektedir. Beton ve beton benzeri malzemeler, metaller, alaşımlar, metal köpükler ve kompozitler üretilen yapı malzemelerine örnektir.



Şekil 2. Mars tuğlası [Ishikawa, 2009]

Regolitin kimyasal içeriğinin, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve portland çimentosu arasında Tablo 3’deki gibi bir karşılaştırma yapıldığında regolit bileşiminin bu malzemelere ne kadar yakın olduğu görülmektedir. Ay ve Mars yüzeylerinde bol miktarda regolit bulunduğu için, bu kaynağın betonun geliştirilmesi için ana bileşeni oluşturabileceği düşünülmektedir. Her ne kadar çağdaş uzaktan algılama çabaları, Ay ve Mars kutuplarına yakın su rezervlerinin bulunma olasılığını göstermiş olmasına rağmen, bazı soru işaretleri bulunmaktadır. Suların kalitesi ve yapı malzemeleri üzerindeki etkileri bilinmemektedir. Bundan kaynaklı susuz beton olarak bilinen polimer beton, kökürümlü beton, geopolimer beton ve çok amaçlı betonlara yönelinmiştir.

### 3.3. Deneyler

Uzay yapıları için üretilen beton ve benzeri türlerinin uzay ortamı koşullarına tabi tutularak deneylerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Beton radyasyon, yüksek vakum veya düşük yerçekimi gibi ortamlarda bekletildikten sonra basınç dayanımı belirlemek amacıyla; beton basınç deneyi, eğilme dayanımı için 3 noktada veya 4 noktada eğilme deneyi yapılmalıdır. Numunenin mikro yapısı da büyük önem arz ettiğinden taramalı elektron mikroskopunda incelenmelidir.



Tablo 3. Regolit ve puzolan malzemelerin kimyasal içeriklerinin karşılaştırılması [Erdoğan, 2015, Database, 2014]

Bileşenler	Portland Çimentosu	F Sınıfı Uçucu Kül	C Sınıfı Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Ay Regoliti Lunar14163 (karanlık bölge)	Ay Regoliti Apollo16 (dağlık bölge)	Mars Regoliti Ortalaması
SiO <sub>2</sub>	20,7	43,6 - 64,4	23,1 - 50,5	34,0 - 36,0	47,3	45,0	46,5
TiO <sub>2</sub>	-	-	-	-	1,6	0,5	0,9
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6,0	19,6 - 30,1	13,3 - 21,3	13,0 - 19,0	17,8	27,3	10,5
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	-	-	0,2	-	0,4
FeO	-	-	-	-	10,5	5,1	12,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,4	3,8 - 23,9	3,7 - 22,5	0,3 - 2,5	-	-	4,2
MnO	-	-	-	1,0 - 2,5	0,1	0,3	0,3
MgO	2,6	0,9 - 1,7	1,5 - 7,5	3,5 - 7,0	9,6	5,7	8,9
CaO	63,6	0,7 - 6,7	11,5 - 29,0	34,0 - 41,0	11,4	15,7	6,3
Na <sub>2</sub> O	0,1	0,0 - 2,8	0,4 - 1,9	-	0,7	0,2	3,0
K <sub>2</sub> O	0,9	-	-	-	0,6	0,1	0,4
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	-	-	-	-	-	0,1	0,8
SO <sub>3</sub>	2,1	-	-	-	-	-	4,9
Cl	0,1	-	-	-	-	-	0,6

### 3.4. İşleme Teknolojisi

Ay ve Mars'ın zorlu şartları göz önüne alındığında, inşaat malzemelerini üretmek için yerinde kaynakları araştırmak, toplamak ve işlemek için robotik, özerk işleme ve inşaat sistemleri geliştirmek de çok önemlidir. Uzayda uygulanma potansiyeline sahip özerk işleme ve yapım tekniği, eklemeli baskıdır. Eklemeli baskı, hızlı ve hassas yapı üretmek için yapı malzemelerini biriktiren robotik bir işlemdir. Geleneksel olarak eklemeli baskı, sabit geometri yapıların üretilmesini içermektedir [Naser, 2019]. BP-1 simülasyonuna ağırlıkça % 30 "Jetty Park" sahil kumu ve standart beyaz yapı kumunun eklendiği örnekler literatürde bulunmaktadır. Şekil 3' de üretilen örnek yapılar verilmiştir.

Eklemeli baskı geçmiş birkaç regolit simülasyonu işleminde gerçekleştirilmiştir [Mueller, 2017]:

- BP-1, Ay Regolit Bazalt Simülasyonu – (NASA KSC)
- JSC-1A, Ay Karanlık Bölge Simülasyonu – (NASA Johnson Uzay Merkezi JSC)
- NU-LHT-2M, Ay Dağlık Bölge Tipi Simülasyonu – (NASA USGS)



Şekil 3. Swamp Works 3D Regolith Construction işlemi tarafından oluşturulan küçük çaplı yapılar [Mueller, 2017]

## 4. Sonuç

İnşaat mühendisliği genel olarak insanlık tarihinin en eski mesleklerinden biri olmasının yanında gelecekte de var olmayı sürdürerek insanlığa hizmet edecektir. İnşaat mühendisliği günümüzde uzay çalışmalarında da yer edinmeye başlamıştır. Dünya dışında bir yaşam ortamı arayışı içinde olan araştırmacılar, uzun yıllardır Ay'ın ve Mars'ın yaşama elverişli koşullarına sahip olmasıyla birlikte insanlığın nüfus yoğunluğunu kaldırabilecek gök cisimleri olduklarını savunmaktadır. Tüm inşaat malzemelerini Dünya'dan inanılmaz bir maliyetle taşımak yerine, yerel kaynak regolitini kullanmak mükemmel bir alternatif olacaktır.

Türkiye'de uzay çalışmaları uzun süredir sadece uydu ve iletişim araçları üzerine kurulmuş olmasına rağmen 2023 hedefleri doğrultusunda uzaya astronot gönderilmek istenmesiyle birlikte, Türkiye gerçek anlamda uzay çalışmalarına başlamaktadır. Dolayısıyla; ileriye dönük olarak aşağıdaki konuların araştırılması gerekmektedir:

- Ay veya Mars habitatlarını gerçekleştirebilecek yüksek kalitede simülasyonlar yapmak,
- Uzay ortamında kolayca kullanılacak yeni bir inşaat malzemesi geliştirmek,
- Uzayda bulunan yerel kaynakları kullanarak inşaat malzemelerini üretmek,
- Uzaydaki yapıları inşa etmek için kullanılacak yeni bir işleme teknolojisi geliştirmek.

## Kaynakça

- Şimşek, O., *Beton ve Beton Teknolojisi Dördüncü Baskı*, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2012.
- Engin, Y., *Çimento ve Beton Tarihi*. Beton Kalıp İskele Teknolojileri Dergisi, 2017.
- Shang, H. S., & Yi, T. H. (2013). Freeze-thaw durability of air-entrained concrete. *The Scientific World Journal*, 2013.
- Gupta, T., Sharma, R. K., & Chaudhary, S. (2015). Impact resistance of concrete containing waste rubber fiber and silica fume. *International Journal of Impact Engineering*, 83, 76-87.
- Xie, J. H., Guo, Y. C., Liu, L. S., & Xie, Z. H. (2015). Compressive and flexural behaviours of a new steel-fibre-reinforced recycled aggregate concrete with crumb rubber. *Construction and Building materials*, 79, 263-272.
- STEINHOF, E. A. (1966). The Use of Mars and Phobos to Advance Interplanetary Flight. In *Advances in Space Science and Technology* (Vol. 8, pp. 347-383). Elsevier.
- Kanamori, H., Matsumoto, S., & Ishikawad, N. (1991). Long-term properties of mortar exposed to a vacuum. *Special Publication*, 125, 57-70.
- Horiguchi, T., Saeki, N., Yoneda, T., Hoshi, T., & Lin, T. D. (1998). Behavior of simulated lunar cement mortar in vacuum environment. In *Space 98* (pp. 571-576).
- Naser, M. Z. (2019). Extraterrestrial construction materials. *Progress in Materials Science*, 100577.
- Lee, T. S., Lee, J., & Ann, K. Y. (2015). Manufacture of polymeric concrete on the Moon. *Acta Astronautica*, 114, 60-64.
- Grugel, R. N., & Toutanji, H. (2008). Sulfur “concrete” for lunar applications–Sublimation concerns. *Advances in Space Research*, 41(1), 103-112.
- Wan, L., Wendner, R., & Cusatis, G. (2016). A novel material for in situ construction on Mars: experiments and numerical simulations. *Construction and Building Materials*, 120, 222-231.
- Alexiadis, A., Alberini, F., & Meyer, M. E. (2017). Geopolymers from lunar and Martian soil simulants. *Advances in Space Research*, 59(1), 490-495.
- Chen, J., Ding, N., Li, Z., & Wang, W. (2016). Organic polymer materials in the space environment. *Progress in Aerospace Sciences*, 83, 37-56.
- Mueller, R. P. (2017). Construction with Regolith.
- Kuvvet, M., Regolitin kullanım alanları, Ay’da ve Mars’ta regolitin yapı malzemesi olarak kullanımı, regolitten başka elementlerin ve maddelerin çıkarımı. Hava Harp Okulu Havacılık Ve Uzay Teknolojileri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- Erdoğan, T. Y., *Beton, Beşinci Baskı*, ODTÜ yayıncılık, Ankara, 2015.
- Center of Lunar Astreoid Surface Science. Ay ve Mars simülasyonlarının içerikleri. 2014. [Online]. Available: <https://sciences.ucf.edu/class/planetary-simulant-database/>.
- Toklu, Y. C., Çerçevik, A. E., Kandemir, S. Y., & Yayli, M. O. (2017, June). Production of lunar soil simulant in Turkey. In *2017 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)* (pp. 1-5). IEEE.
- Ishikawa, Y. (2009). Utilization of Regolith for Manufacturing Construction Material on Mars. In *Mars* (pp. 543-550). Springer, Berlin, Heidelberg.



# Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı\*

Majid Aghlmand<sup>1</sup>, Mehmet İnanç Onur<sup>\*\*1</sup>, Reza Talaei<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0534-5393)

<sup>1</sup> Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2421-4471)

<sup>3</sup> Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Ardabil, Iran (ORCID: 0000-0001-8717-0333)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf28)

**ATIF/REFERENCE:** Aghlmand, M., Onur, M. İ & Talaei, R. (2020). Heyelan Duyarlılık Haritalarının Üretilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Ve Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 224-230.

## Öz

Depremler ve heyelanlar toplum hayatını derinden etkileyen doğal afetlerin başında gelmektedir. Özellikle dağlık bölgelerde meydana gelen heyelanlar, her yıl can kaybına ve hasara sebep olmaktadır. Son yıllarda heyelana duyarlı bölgelerin belirlenmesi çalışmaları oldukça yaygınlaşmıştır. Heyelan duyarlılık analizlerinin yapılması hem mühendislik projelerinin planlanmasını kolaylaştıracak hem de meydana gelebilecek zararların azaltılmasını sağlayacaktır. Bu çalışmada, İran'ın Ardabil (Erdebil) bölgesindeki Saqezchi'in heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık analizinde arazi kullanımı, yağış miktarı, faylara uzaklık, litoloji, akarsu ağlarına uzaklık, yükselti, eğim, bakı ve yola uzaklık parametreleri kullanılmıştır. Çalışmada heyelan duyarlılık haritası oluşturulurken Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Oluşturulan duyarlılık haritaları, “çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük” duyarlı alanlar olmak üzere 5 grup altında sınıflandırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Heyelan, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Analitik Hiyerarşi Süreci, Ardabil.

## The Use of Analytical Hierarchy Process and Geographic Information Systems in Production of Landslide Susceptibility Maps

### Abstract

Earthquakes and landslides are among the natural disasters that deeply affect social life. Landslide, especially occurs in mountainous areas, causes loss of life and damages every year. Studies to determine landslide sensitive areas have become quite widespread in recent years. Conducting landslide susceptibility analysis will both facilitate the planning of engineering projects and reduce the loss. In this study, landslide susceptibility maps of Saqezchi in Ardabil (Ardebil) region of Iran are created. In landslide susceptibility analysis; land use, rainfall, distance to faults, lithology, distance to river networks, elevation, slope, aspect and distance to road parameters are used. Analytical Hierarchy Process (AHP) method and Geographic Information Systems (GIS) are used while creating landslide susceptibility map. The created sensitivity maps are classified under 5 groups as “very high, high, medium, low and very low” sensitive areas.

**Keywords:** Landslide, Geographic Information Systems, Analytical Hierarchy Process, Ardabil.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\*Sorumlu Yazar: Eskişehir Teknik Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Eskişehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0534-5393) meecitt@gmail.com

## 1. Giriş

Heyelanlar önemli doğal afetler arasında yer almakta olup, sıkça can ve ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Heyelanlar, genellikle bir şevli oluşturan kaya veya zeminin suyun taşıyıcı etkisi olmadan, yerçekimi sebebiyle harekete geçmesi olarak tanımlanır (Crozier, 1986). Heyelanlar yapılarda hasara sebep olduğu gibi yerleşim merkezi dışındaki yollar ve tarım alanlarına da zarar vermektedir.

Dünya genelinde olduğu gibi İran içinde depremlerden sonra heyelan ikinci en önemli doğal afettir. Ardabil bölgesinde görülen heyelanlar, her yıl altyapı sistemlerine büyük zararlar vermektedir. Ayrıca, yeni heyelan oluşumları bölgede imar faaliyetlerini zorlaştırmıştır (Wang vd., 2006; Ilinca vd., 2011; Dai vd., 2001; Yesilnacar ve Topal, 2005; Westen vd., 1999; Özşahin, 2014). Heyelanların sosyo-ekonomik etkilerinin artması dünya çapında analiz ve araştırmaları yoğunlaştırmıştır. Bir bölgedeki şevlin heyelan analizi jeolojik, jeomorfolojik ve hidrojeolojik faktörlere göre gerçekleştirilmektedir. Heyelana duyarlı bir alanın analizi ve riskin tam olarak belirlenmesi, o bölge ve toplum için çok önemlidir (Özşahin, 2014). Heyelana duyarlı bir alanda, arazi kullanım planlaması veya inşaat programı olası heyelan riskine göre yapılmalıdır. Heyelan tehlikesi ve risk analizi, geçmiş heyelanların ve özelliklerinin tanımlanması ve verilere göre gelecektekilerin tahmin edilmesi için kullanılabilir.

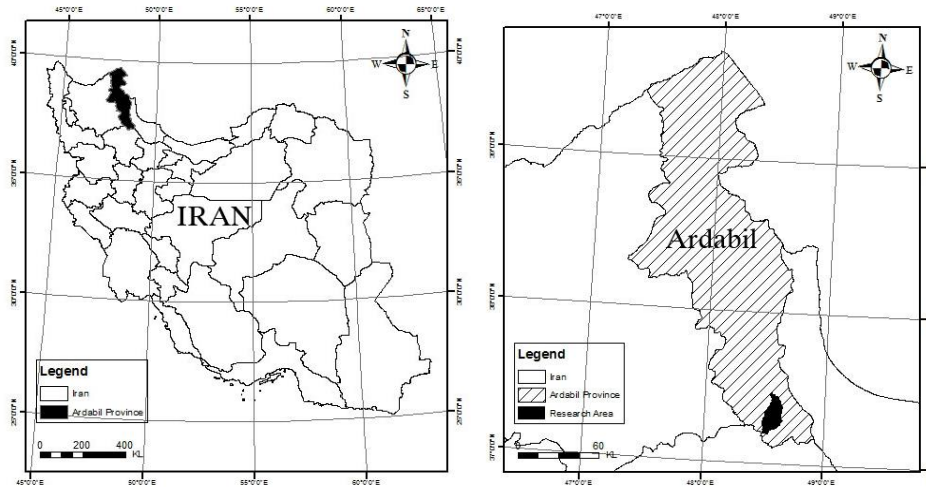
Dünyada farklı yöntemler uygulanarak heyelan tehlikesini değerlendirmek ve duyarlılık haritaları üretmek için birçok araştırma yapılmıştır (Corominas vd., 2014; Feizizadeh vd., 2014). Bu çalışmalara bakıldığında, büyük çoğunluğunun olasılıksal modeller kullanılarak yapıldığı görülmektedir (Lee ve Dan, 2005; Talaei vd., 2004; Cevik ve Tolap, 2003; Talei, 2014; Akgun ve Türk, 2010; Clerici vd., 2006; Lee ve Min, 2001). Karar ağacı, yapay sınır ağları, bulanık mantık gibi veri madenciliği yöntemleri de heyelan duyarlılık değerlendirmesinde son çalışmalarda sıklıkla görülen yöntemler arasında yer almaktadır (Akgun ve Türk, 2010; Clerici vd., 2006; Lee ve Min, 2001). Bu araştırmalarda kullanılan yöntemlerden birisi de Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) olup, sıkça uygulanmakta ve sürekli geliştirilmektedir. CBS heyelan oluşumuna neden olan tüm faktörleri sistemli ve yüksek bir hassasiyetle analiz edilebilmektedir. Son günlerde heyelan duyarlılık haritası çalışmalarında CBS yanı sıra Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi de kullanılmaktadır. (Saaty ve Brandy, 2009; Zahedi, 1986).

Literatürde, İran'ın Ardabil bölgesindeki heyelanlar üzerine birçok araştırma bulunmaktadır (Uromeihy ve Mahdaviyar, 2000; Talaei, 2014; Mohammady vd., 2012; Feizizadeh ve Blaschke, 2013). Ancak, AHP yöntemi nadir olarak uygulanmıştır. Bu çalışmada İran'ın Ardabil bölgesindeki Saqezchi ilçesinin heyelan duyarlılık haritalarının AHP yöntemi ile CBS teknikleri kullanılarak hazırlanması amaçlanmıştır. Çalışmada heyelan duyarlılık haritaları oluşturulmuş ve "çok yüksek, yüksek, orta, düşük ve çok düşük" duyarlı alanlar olmak üzere 5 grup altında sınıflandırılmıştır.

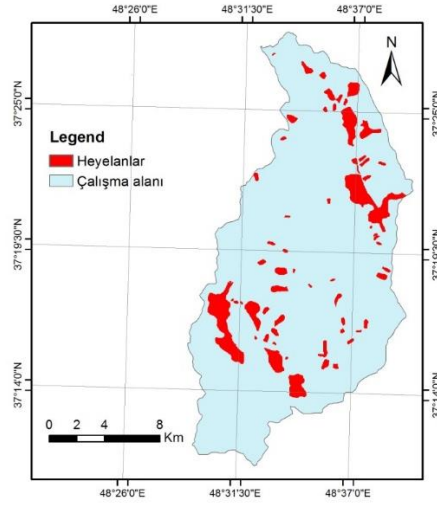
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. İnceleme Alanı ve Genel Özellikleri

İnceleme alanı, İran'ın kuzeybatısında yer almakta olup, İran coğrafi bölgelerine göre Güney Azerbaycan Bölgesinde bulunan Ardabil şehridir. İl alanı, kuzeyden Azerbaycan Cumhuriyeti, batıdan Doğu Azerbaycan Eyaleti, güneybatıdan Gazvin Eyaleti, doğudan Gilan Eyaleti ile çevrelenmiştir. Coğrafi Koordinat Sistemine göre  $48^{\circ} 13' 36''$  -  $48^{\circ} 54' 1''$  K enlemleri ile  $37^{\circ} 4' 17''$  -  $37^{\circ} 34' 16''$  D boylamları arasındadır. Yüzölçümü ise  $1758.45 \text{ km}^2$  olup genel yerleşim Şekil 1 'de gösterilmiştir. Şekil 2' de ise bölge için geçmiş kayıtlı heyelanların haritası verilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı

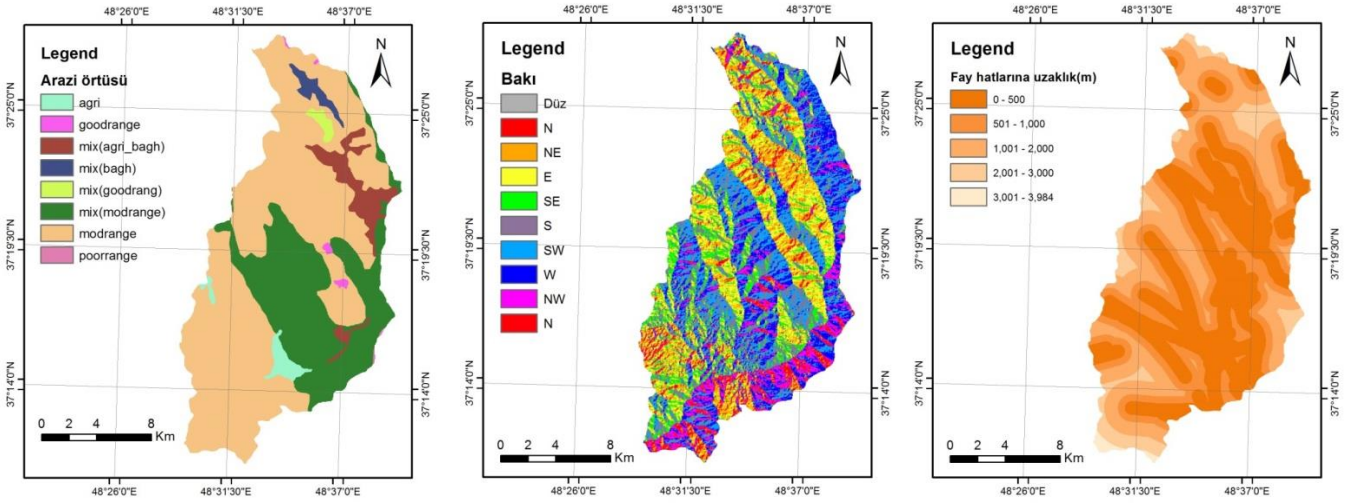


Şekil 2. Geçmiş heyelanların haritası

## 2.2. Veri analizi

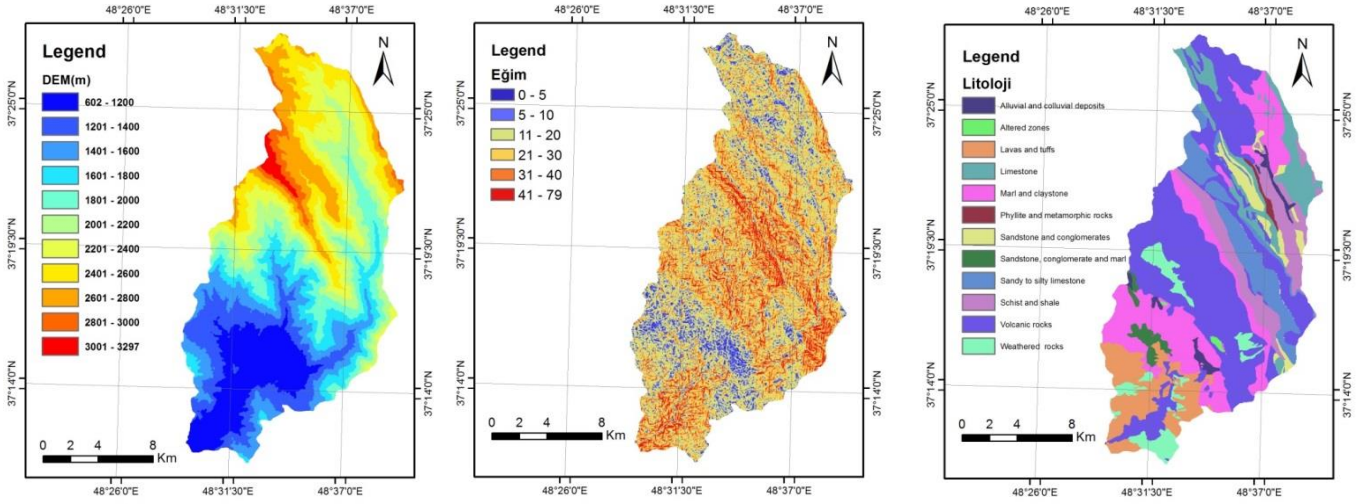
Heyelanlar üzerinde çeşitli faktörlerin etkisi bulunmaktadır (Tabatabaei, 1998; Uromeihy ve Mahdaviyar, 2000). Her bir faktörün heyelan üzerindeki etkisini belirlemek için farklı verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu faktörler, arazi kullanımı, yağış miktarı, faylara uzaklık, litoloji, akarsu ağlarına uzaklık, yükselti, eğim, bakı, yola uzaklıktır. Bu çalışmada bu faktörlere ait haritalar için İran Tarım ve Orman Bakanlığı'nın farklı veri tiplerinden yararlanılmıştır. Haritalar Şekil 3, 4, 5 'de sunulmuştur. Haritaların hazırlanmasında dikkate alınan faktörler ve ağırlıkları ise Tablo 1'de verilmiştir.

Literatürde sıkça karşılaşılan çalışmalara benzer şekilde görüntü analizleri ve tüm faktörleri içeren haritalarının üretilmesinde CBS tabanlı yazılımlardan ArcGIS/ArcMap isimli paket program kullanılmıştır.

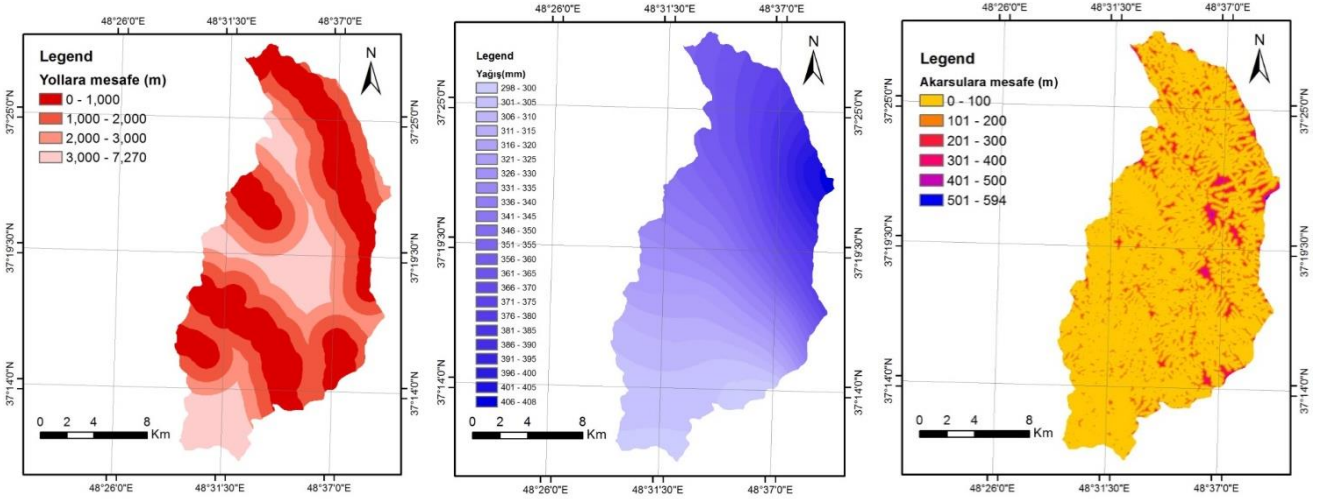


Şekil 3. Arazi örtüsü, bakı ve fay hatlarına uzaklık haritaları





Şekil 4. Yükseklik, eğim ve litoloji haritaları



Şekil 5. Yollara mesafe, yağış ve akarsulara mesafe haritaları

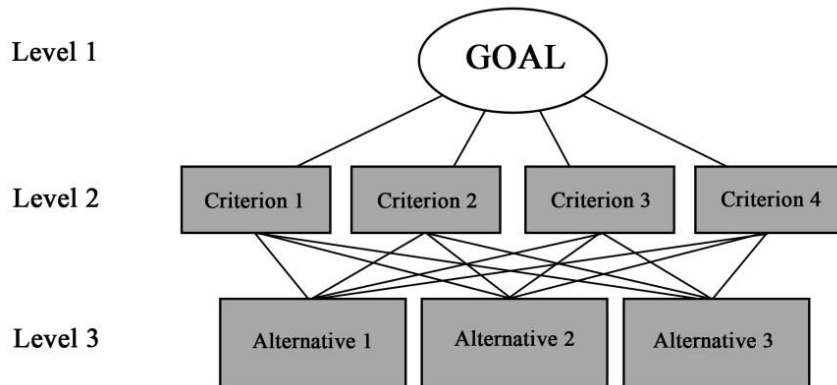
Tablo 1. Heyelan Duyarlılık Analizinde Etkili Olan Faktörler

Kriterler	Alternatifler	Ağırlık	Kriterler	Alternatifler	Ağırlık
Litoloji	A: Altered zones	100	Fay hatlarına uzaklık (m)	< 500	100
	C: Limestone	0		500-1000	95
	M: Marl and claystone	80		1000-2000	85
	Q: Alluvial and colluvial deposits	35		2000-3000	80
	SC: Sandstone and conglomerates	0		3000-4100	40
	SCM: Sandstone, conglomerate and marl	10	Yollara mesafe (Km)	0-1	0
	Sh: Schist and shale	0		1-2	0
	SL: Sandy to silty limestone	20		2-3	90
	SP: Phyllite and metamorphic rocks	0		3-4	100
	V: Volcanic rocks	0		Mod range	100
VT: Lavas and tuffs	10	Poor range	20		
WV: Weathered and brecciated ext. rocks	0	Mix Bagh	60		
Baki	N facing (45° about N)	0	Arazi örtüsü	Mix Agri bagh	60
	NE facing (45° about N 45° E)	40		Mix Good range	70
	E facing (45° about E)	80		Mix Mod range	70
	SE facing (45° about S 45° E)	83.3	Agri	30	
	S facing (45° about S)	100	Good range	43	
	SW facing (45° about S 45° W)	0	Akarsulara mesafe (m)	0-100	100
	W facing (45° about W)	0		200-100	100
NW facing (45° about N 45° W)	0	300-200		90	

	Flat	0		400-300	80	
Yağış(mm)	< 300	18.56		500-400	75	
	300-305	0		620-500	72	
	310-305	0		Eğim	0-5	0
	315-310	8.25			5-10	0
	320-315	88.66	10-20		13	
	325-320	100	20-30		36	
	330-325	1.03	30-40		100	
	335-330	0	>40		0	
	340-335	0	Yükseklik(m)		1200-1400	0
	345-340	0		1400-1600	32	
	350-345	0		1600-1800	58	
	355-350	3.1		1800-2000	0	
	360-355	2.06		2000-2200	0	
	365-360	0		2200-2400	0	
	370-365	1.03		2400-2600	0	
	375-370	2.06		2600-2800	15	
	380-375	0		2800-3000	100	
	380-385	0		>3000	0	
	390-385	2.06				
	395-390	0				
	400-395	3.1				
405-400	2.06					
410-405	1.03					

## 2.2. Model

Model oluşturulması için çok kriterli karar verme yöntemleri arasında sıkça başvurulan analitik hiyerarşi süreci AHP' den yararlanılmıştır. Öncelikle çalışma amacı (hedef) belirlenmiş ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler belirlenmiş ve Şekil 6 'da gösterilmiştir. Daha sonra bu kriterler göz önüne alınarak alternatifler tespit edilmiş ve hiyerarşik bir yapı oluşturulmuştur. İlk aşamada tespit edilen kriterler ve alternatifler Saaty (2009) tarafından ortaya konan önem ölçeğine göre kıyaslanmış ve bu ölçek yardımıyla 1 ile 9 arasında derecelendirilmiştir. Bu derecelendirme literatürde bildirilen ölçütlere göre gerçekleştirilmiştir



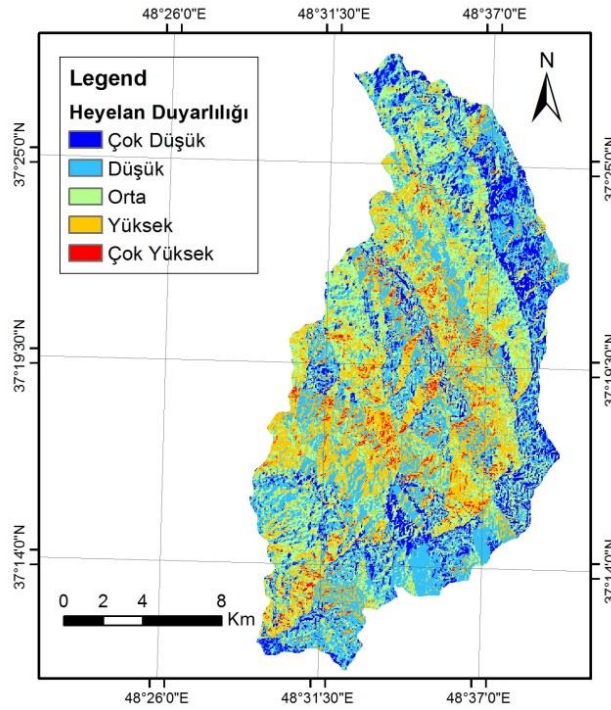
Şekil 6. Zahedi (1986) tarafından den geliştirilen çok kriterli karar verme için AHP genel yapısı

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

CBS ortamında, AHP yöntemi kullanarak her kriterin ağırlığı hesaplanmış ve Tablo 2’de verilmiştir. Bu sonuçlara göre Şekil 7’de gösterilen heyelan duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Heyelan duyarlılık haritalarının hazırlanmasında CBS temelli AHP yönteminden yararlanılabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 2. AHP yöntemi sonuçları

	kriterler	Ağırlık(AHP)	Ağırlık (%)
1	Akarsulara mesafe	0.6184581919	7
2	Arazi örtüsü	0.3680717154	4
3	Bakı	1.9420061382	22
4	Fay hatlarına uzaklık	2.1654078242	24
5	Yükseklik	0.2005070803	2
6	Eğim	1.9873084213	21
7	Litoloji	0.5109046485	6
8	Yollara mesafe	0.3403116013	4
9	Yağış	0.8670243788	10



Şekil 7. Heyelan duyarlılık haritası

### 4. Değerlendirme

Bu çalışmada, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, İran'ın Ardabil bölgesindeki Saqezchi için bir heyelan duyarlılık haritası hazırlanmıştır. Heyelan duyarlılık haritası oluşturmak için geçmiş araştırmalardan 9 adet parametre seçilmiştir. Her bir parametrenin heyelan oluşumuna katkısı; analitik hiyerarşi süreci yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve ağırlık değerleri dikkate alınarak heyelan duyarlılık haritası üretilmiştir.

Heyelan duyarlılık çalışmalarının özellikle afet yönetim planlamalarında kullanılabileceği ve risk haritalarının hazırlanmasında büyük yarar sağlayacağı açıktır. Heyelan duyarlılık haritaları arazi kullanım planlaması için de önemli bir rehber olacaktır. Süregelen çalışmalarda elde edilen bulgular özellikle il/ilçe bazlı çalışmaların gerekliliğini de ortaya koymaktadır. Ayrıca bu tür çalışmaların diğer doğal afetler içinde hazırlanması oldukça mühim bir husustur.

## Kaynakça

- Akgun, A., & Türk, N. (2010). Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61(3), 595-611.
- Cevik, E., & Topal, T. (2003). GIS-based landslide susceptibility mapping for a problematic segment of the natural gas pipeline, Hendek (Turkey). *Environmental geology*, 44(8), 949-962.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., & Vescovi, P. (2006). A GIS-based automated procedure for landslide susceptibility mapping by the conditional analysis method: the Baganza valley case study (Italian Northern Apennines). *Environmental Geology*, 50(7), 941-961
- Corominas, J., van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S., ... & Pitolakis, K. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. *Bulletin of engineering geology and the environment*, 73(2), 209-263.
- Crozier, M. J. (1986). Landslides: causes, consequences and environment, Croom Helm. London. 252.
- Dai, F. C., Lee, C. F., Li, J. X. Z. W., & Xu, Z. W. (2001). Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology*, 40(3), 381-391.
- Feizizadeh, B., & Blaschke, T. (2013). GIS-multicriteria decision analysis for landslide susceptibility mapping: comparing three methods for the Urmia lake basin, Iran. *Natural hazards*, 65(3), 2105-2128.
- Feizizadeh, B., Roodposhti, M. S., Jankowski, P., & Blaschke, T. (2014). A GIS-based extended fuzzy multi-criteria evaluation for landslide susceptibility mapping. *Computers & geosciences*, 73, 208-221.
- Hashemi Tabatabaei, S. (1998). Landslide hazard zonation in southwest of Ardabil Province Iran. *Ministry of Roads and Urban Development, Tehran, Iran*, 2.
- Ilinca, V., & Gheuca, I. (2011). The Red Lake Landslide (Ucigaşu Mountain, Romania). *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, 6(1), 263-272.
- Lee, S., & Dan, N. T. (2005). Probabilistic landslide susceptibility mapping in the Lai Chau province of Vietnam: focus on the relationship between tectonic fractures and landslides. *Environmental Geology*, 48(6), 778-787.
- Lee, S., & Min, K. (2001). Statistical analysis of landslide susceptibility at Yongin, Korea. *Environmental geology*, 40(9), 1095-1113.
- Mohammady, M., Pourghasemi, H. R., & Pradhan, B. (2012). Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster-Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, 221-236.
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E., Gokceoglu, C., Bozkir, A. S., & Duman, T. Y. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010
- Özşahin, E. (2014). Tekirdağ ilinde coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi süreci kullanarak heyelan duyarlılık analizi. *HUMANITAS-Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(3), 167-186.
- Saaty, T. L., & Brandy, C. (2009). The encyclicon, volume 2: a dictionary of complex decisions using the analytic network process. *Pittsburgh, Pennsylvania: RWS Publications*.
- Talaei, R. (2014). Landslide susceptibility zonation mapping using logistic regression and its validation in Hashtchin Region, northwest of Iran. *Journal of the Geological Society of India*, 84(1), 68-86.
- Talaei, R. (2018). A Combined Model for Landslide Susceptibility, Hazard and Risk Assessment. *AUT Journal of Civil Engineering*, 2(1), 11-28.
- Talaei, R., Ghayoumian, J., Akbarzadeh, E. A., & Shariat Jafari, M. (2004). Study on Effective Factor Causing Landslide in South West of Khalkhal Region.
- Uromeihy, A., & Mahdaviifar, M. R. (2000). Landslide hazard zonation of the Khorshrostan area, Iran. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 58(3), 207-213.
- Van Westen, C. J., Seijmonsbergen, A. C., & Mantovani, F. (1999). Comparing landslide hazard maps. *Natural hazards*, 20(2-3), 137-158.
- Wang, C., Esaki, T., Xie, M., & Qiu, C. (2006). Landslide and debris-flow hazard analysis and prediction using GIS in Minamata-Hougawachi area, Japan. *Environmental Geology*, 51(1), 91-102.
- Yesilnacar, E., & Topal, T. (2005). Landslide susceptibility mapping: a comparison of logistic regression and neural networks methods in a medium scale study, Hendek region (Turkey). *Engineering Geology*, 79(3-4), 251-266.
- Yilmaz, Işık. "A case study from Koyulhisar (Sivas-Turkey) for landslide susceptibility mapping by artificial neural networks." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 68, no. 3 (2009): 297-306.
- Zahedi, F. (1986). The analytic hierarchy process—a survey of the method and its applic.





# **Yüksek Güç Transformatörlerindeki Kısmi Deşarj Tespitinde Diyafram Tabanlı Fabry-Perot İnterferometrik Basınç Sensörlerinin Performans İyileştirilmesi için Diyafram Analizi\***

Timuçin Emre Tabaru<sup>1\*\*</sup>, Şekip Esat Hayber<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1373-3620)

<sup>2</sup> Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Bölümü, Kırşehir, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0062-3817)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf29)

**ATIF/REFERENCE:** Tabaru, T. E. & Hayber, Ş. E. (2020). Yüksek Güç Transformatörlerindeki Kısmi Deşarj Tespitinde Diyafram Tabanlı Fabry-Perot İnterferometrik Basınç Sensörlerinin Performans İyileştirilmesi için Diyafram Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 231-238.

## **Öz**

Bu çalışmada, yüksek güç transformatörlerinde oluşan kısmi deşarjın (partial discharge, PD) tespiti için diyafram tabanlı Fabry-Perot interferometrik fiber optik basınç sensör (DTFP-FOBS) için boyutlarının küçültülerek algılama parametrelerinin (frekans, hassasiyet) optimizasyonu araştırılmıştır. DTFP-FOBS'ların boyutları ve algılama parametreleri sensörde kullanılan diyafram tarafından belirlenir. Diyaframın yapıldığı malzeme, yarıçap ve kalınlık bu parametreleri belirleyen faktörlerdir. PD algılamak için DTFP-FOBS'larda büyük bir çoğunlukla diyafram malzemesi olarak silikadan (SiO<sub>2</sub>) faydalanılmaktadır. Fakat, SiO<sub>2</sub> diyaframın yarıçapının literatürde belirlenmiş olan değerlerden daha küçük seçilmesi sensörün rezonans frekansının (900 kHz-3 MHz) çok yükselmesine ve PD algılama bandı (20 kHz-200 kHz) dışına çıkmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, çapı küçülmüş olan sensörün hassasiyetliği de azalmaktadır. Bu dezavantajların ortadan kaldırılması için alternatif bir polimer diyafram olarak selüloz triasetat (cellulose triacetate, CTA) önerilmiştir. Bu amaç ile her iki diyaframın farklı yarıçap ve kalınlıklarda sonlu elemanlar yöntemi ile yapılan benzetim çalışmaları sayesinde sensör hassasiyeti ve rezonans frekans parametreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçları ışığında CTA diyaframın 20 µm kalınlıkta 225 µm yarıçapta rezonans frekansı 197 kHz olarak hesaplanırken, SiO<sub>2</sub>'nin bu frekans değerine ulaşabildiği en küçük yarıçap değeri 530 µm olarak belirlenmiştir. Bu geometrik boyutlarda CTA'dan yapılmış olan diyaframın boyutu daha düşük olmasına rağmen hassasiyeti 2 katına çıkmıştır. Sonuç olarak, PD uygulaması özelinde DTFP-FOBS'larda, CTA'nın diyafram malzemesi olarak kullanılmasının, SiO<sub>2</sub> diyaframa göre sensör boyutlarının %66 oranında küçültülebileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Diyafram tabanlı DEFPI akustik sensör, Kısmi boşalma, Güç transformatörleri, Sonlu elemanlar yöntemi.

## **Diaphragm Analysis for Performance Improvement of Diaphragm Based Fabry-Perot Interferometric Pressure Sensors in Partial Discharge Detection in High Power Transformers**

### **Abstract**

In this study, the optimization of sensing parameters (frequency, sensitivity) was investigated for the diaphragm-based Fabry-Perot interferometric fiber optic pressure sensor (DTFP-FOBS) for detection of partial discharge (partial discharge, PD) formed in high power transformers. The dimensions and detection parameters of the DTFP-FOBS are determined by the diaphragm used in the sensor. The radius and thickness values of the diaphragm used in determining the sensor dimensions are the most effective

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1373-3620, [etabaru@erciyes.edu.tr](mailto:etabaru@erciyes.edu.tr)



parameters. In order to detect PD, DTFP-FOBS mostly use silica ( $\text{SiO}_2$ ) as diaphragm material. However, the reduction of the radius of the  $\text{SiO}_2$  diaphragm ensures the resonance frequency (900 kHz-3 MHz) of the sensor to rise too high and goes out of the PD detection band (20 kHz-200 kHz). In addition, the sensitivity of the sensor, whose diameter is reduced, decreases. To eliminate these disadvantages, cellulose triacetate (cellulose triacetate, CTA) has been proposed as an alternative polymer diaphragm. For this purpose, sensor sensitivity and resonance frequency parameters were compared thanks to simulation studies of both diaphragms with different radii and thicknesses using the finite element method. In the light of the simulation results obtained, the fundamental frequency of the CTA diaphragm was calculated as 197 kHz at the radius of 225  $\mu\text{m}$  and the thickness of 20  $\mu\text{m}$ , while the smallest radius value at which  $\text{SiO}_2$  could reach this frequency was determined as 530  $\mu\text{m}$ . Although the diaphragm made of CTA in these geometric dimensions is smaller in size, its sensitivity has doubled. As a result, it has been observed that the use of CTA as a diaphragm material in DTFP-FOBS specifically for PD application, sensor dimensions can be reduced by 66% compared to  $\text{SiO}_2$  diaphragm.

**Keywords:** Diaphragm based EFPI acoustic sensor, Partial discharge, Power transformers, Finite element method.

## 1. Giriş

Güç transformatörleri, güç endüstrisindeki en kritik ve pahalı bileşenlerdendir. Kısmi deşarj (partial discharge, PD), bir boşlukta veya yüksek derecede homojen olmayan bir elektrik alan içinde bulunan bir gazın elektriksel bozulması nedeniyle bir yalıtıkta bulunan küçük elektrik kırılcımlarıdır (Stone, 2005). Transformatörler içinde kısmi deşarjların meydana gelmesi, yalıtımda bozulmaya ve hem güvenlik hem de finansal şartlar açısından büyük arızalara yol açabilir. Bir PD oluştuğunda ortaya çıkan ani enerji salınımı, malzemelerdeki kimyasal ve yapısal değişiklikler, elektromanyetik sinyal üretimi ve akustik emisyonlar (AE) gibi bir dizi etki üretir (Lundgaard, 1992).

PD'nin neden olduğu akustik sinyalleri doğru bir şekilde bulmak için bir transformatör içinde güvenilir bir şekilde işlev görebilen sensörlere sahip olunması arzu edilir. Güvenlik ve kolay kurulum için, bu sensörlerin kimyasal olarak inert, elektriksel olarak iletken olmayan, pasif ve küçük boyutlu olması gerekir. Optik fiber tabanlı sensörlerin, çok çeşitli fiziksel ve kimyasal parametreleri ölçen çekici cihazlar olduğu gösterilmiştir, çünkü sensörler, küçük boyut, hafiflik, yüksek hassasiyet ve EMI gürültüsüne bağımsızlık da dahil olmak üzere bir dizi doğal avantaja sahiptir. Bu avantajlar, fiber optik sensörleri PD akustik tespiti için mükemmel adaylar kılar (Wang et al., 2004). Diyafram tabanlı Fabry-Perot interferometresi prensibine dayanan fiber optik basınç sensörleri, yüksek hassasiyet, kompakt boyut, çok yönlülük ve elektromanyetik parazite karşı bağımsızlık gibi belirgin avantajları nedeniyle bu alandaki araştırmacıların merak konusu olmuştur (Huang et al., 2016). Bu sensörler akustik dalgaları, titreşimleri, sıcaklıkları, basınçları, kırılma indekslerini ve gerginliği algılamak için başarıyla uygulanmıştır (Islam et al., 2014). Diyafram, Fabry-Perot (FP) boşluğunu oluşturan yansıtıcı aynalardan biri olarak sensörün performansı ve özellikle hassasiyeti için kritik öneme sahiptir. Silika ( $\text{SiO}_2$ ) (Wang et al., 2005), (Wang et al., 2006), (Wang et al., 2006), (Li et al., 2019), (Pang et al., 2013), gümüş (Liu et al., 2015), (Xu et al., 2014), polimer (Hayber et al., 2019), (Hayber et al., 2018), (Zhao et al., 2018), (Sun et al., 2015), ve grafen (Wu et al., 2017), (Ma et al., 2013) dahil oldukça duyarlı bir diyafram üretmek için farklı malzemeler kullanılmıştır.

Diyafram tabanlı Fabry-Perot interferometrik fiber optik basınç sensör (DTFP-FOBS) hassasiyeti ve dinamik frekans bandgenişliği, endüstriyel uygulamalardaki değişken basınç ölçüm gereksinimlerini karşılamak için diyaframın çapı, kalınlığı ve/veya malzemesi değiştirilerek ayarlanabilir (Hayber et al., 2019).

Çoğu zaman algılayıcı kafası elektriksel alan yoğunluğunun çok güçlü olmadığı transformatör tank duvarlarının yakınında konumlandırılır. Fakat bazen algılayıcı kafası, sarımlardaki yalıtım malzemeleri içerisinde bulunan boşluklarda oluşan küçük boşalmaları algılayabilmek için yüksek elektriksel alana sahip sargıların yakınına yerleştirilir. Bu boşluklara DTFP-FOBS'ların yerleştirilebilmesi için mümkün olan en küçük boyutlara indirgenbilmesi gerekmektedir. Ayrıca sensor kafası küçüldükçe, hassasiyetini kaybetmemesi gerekmektedir ki bu sayede  $\mu\text{Pa}$  seviyedeki basınç değişiklikleri algılanabilsin.

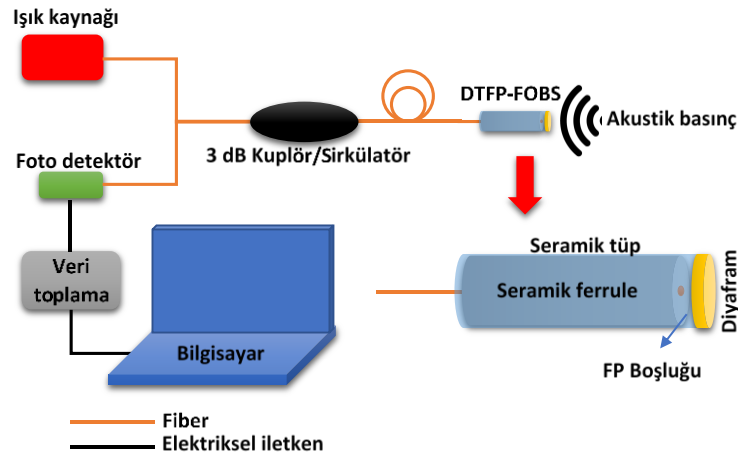
Literatürde PD uygulamalarında kullanılan DTFP-FOBS'larda diyafram malzemesi olarak, sıcaklık değişiminden az etkilenmesi, yüksek hassasiyeti (Qingxu et al., 2011), geniş bandgenişlikleri ve kolay temin edilebilmesi sebebi ile  $\text{SiO}_2$ 'dir. Fakat sensor boyutlarının giderek minimize edilerek kompakt yapının oluşturulmasının istendiği PD uygulamalarında  $\text{SiO}_2$  diyafram yarıçapının küçültülmesi bazı sınırlar içermektedir. Bir PD akustik detektörünün tepki frekansı için evrensel bir standart yoktur. IEEE Std C57.127, PD'dan üretilen akustiklerin 20 kHz ila 500 kHz arasında bir geniş bant frekansına sahip olduğunu göstermektedir (American National Standard, 2007). Ayrıca yapılan çalışmalar, akustik PD sensörlerinin yanıt frekansının 20-200 kHz (Yu et al., 2003) aralığında olması ve bir sensörün tepki frekansının PD akustik tespiti için 200 kHz'den az olması gerektiğini göstermiştir (Lundgaard, 1992). Yukarıda belirtilen bandgenişlikleri içerisinde rezonans frekansına sahip PD uygulamalarında kullanılacak bir  $\text{SiO}_2$  diyaframın kalınlıkları değişmek üzere yarıçapları 0,9 mm ile 1,25 mm arasında değişmektedirler (Yu et al., 2003), (Dond et al., 2012). Bu boyutlar trafo sarımlardaki yalıtım malzemeleri içerisinde bulunan boşluklara girebilmesi için büyük sayılmaktadır. Yarıçaplarının küçültülerek 125 ile 500  $\mu\text{m}$  arasına getirilmesi halinde ise rezonans frekansları 900 kHz ile 3MHz arasına çıkmaktadır ki bu durum PD'ın oluştuğu frekans bandının oldukça dışındadır.  $\text{SiO}_2$  diyaframın aynı zamanda yarıçapının küçültülmesi ile kalınlığının da küçültülmesi bu sorunu aşmaya yardımcı olmaktadır. Fakat  $\text{SiO}_2$  diyaframın boyutlarının küçülmesi sensör hassasiyetini de çok büyük oranda azaltmaktadır. Ayrıca  $\text{SiO}_2$  diyaframın 20  $\mu\text{m}$  kalınlığın altına indirilmesi çok karmaşık üretim yöntemleri ve yüksek maliyetleri ortaya çıkarmaktadır (Xu et al., 2012). Bu sınırlamalar polimer tabanlı diyaframlar ile giderilebilmektedir. Bunlar arasında, bir selüloz asetat türü olan selüloz triasetat (cellulose triacetate, CTA), endüstriyel uygulamalarda sıklıkla kullanılır çünkü ısı ve nem gibi çevresel koşullara karşı daha bağımsızdır. Bu malzemenin yapılan film şeritleri, yıllarca bozulmadan düzgün çalışabilir. Bu özellikler sayesinde 60 yılı aşkın bir süredir, bir polarizasyon plakası üzerinde sıvı kristal ekranlar (LCD) için optik bir dengeleme filmi olarak kullanılmaktadır (Wang et al., 2016). CTA film yüzeyi pürüzsüzdür ve tatmin

edici optik özelliklere sahiptir. Dahası, suya ve yağa ve hatta aseton gibi çözücülere karşı dayanıklıdır. Bu sıvı ortamlarda rahatça kullanılmasını sağlar (Hayber et al., 2018). Bu istisnai özellikler nedeniyle CTA, PD uygulamaları için önemli bir diyafram adaydır. Her kalınlıkta ve yarıçapta üretilebilmesi mümkündür ve küçülen yarıçap ile oluşacak rezonans frekans değerleri PD algılama bandı içerisinde kalmakta ve küçülen boyutla oluşan hassasiyet değerleri aynı yarıçaptaki SiO<sub>2</sub> diyaframa göre en az 50 kat daha yüksek çıkmaktadır. Bu sayede çok düşük genlikteki basınç genlikleri ölçülebilmektedir.

Bu çalışmada yukarıda belirtilen SiO<sub>2</sub> diyaframın boyutlarının küçültülmesine ait PD uygulamalarındaki sınırlamalarını ortadan kaldırmak ve akustik basınç hassasiyetliğini artırmak amacı ile CTA diyafram önerilmektedir. Bu amaç ile her iki diyaframa ait farklı yarıçaplar ve kalınlıklarda sonlu elemanlar yöntemine (finite element method, FEM) dayanan benzetim analizleri, yapısal ve modal olmak üzere gerçekleştirilmiş ve karşılaştırmalı olarak verilmiştir. SiO<sub>2</sub> diyaframa ait mekanik özellikler (Young modülü, Poisson oranı ve yoğunluk) literatürden elde edilmiştir (Ma, 2014). CTA'ya ait özelliklerin elde edilebilmesi için öncelikle çekme testi uygulanmış ve hem enlemesine hem de boylamasına uzama miktarları bulunmuştur. Bu değerler literatürde verilmiş formüllerde (Hayber et al., 2019) yerlerine yazılarak CTA'nın mekanik özelliklerine ait parametreler elde edilmiştir. PD uygulaması özelinde DTFP-FOBS'larda, CTA diyafram malzemesi olarak kullanılmasının, SiO<sub>2</sub> diyaframa göre sensor boyutlarının %66 oranında küçülebileceği ve küçültülen boyutlarda hassasiyetliğin SiO<sub>2</sub> diyaframa göre yaklaşık 2 kat arttığı belirlenmiştir. Bu sayede çok küçük boyutlu ve yüksek hassasiyete sahip sensörler elde edilerek başta kısmi deşarj olmak üzere biyomedikal ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmasının avantajlı olacağı değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Şekil 1'de, genel bir DTFP-FOBS sisteminin blok şemasını gösterilmektedir. Sistem bir algılayıcı uç, 1310 veya 1550 nm bir ışık kaynağı, 3 dB fiber optik kuplör veya sirkülör, düşük gürültülü bir optik alıcı (fotodedektör) ve bu bileşenleri birbirlerine bağlayan tek modlu (9/125 µm) fiberlerden oluşmaktadır. Fotodedektör çıkışında veri toplama birimi ve bu birimden alınan sinyalleri işlemek için bir bilgisayardan oluşmaktadır.



Şekil 1. Genel bir DTFP-FOBS sisteminin blok şeması.

Sistemin çalışması, ışık kaynağından çıkan ışık ışını kuplör/sirkülör yardımıyla algılayıcı uca ulaşır. Fiber-hava ve hava-diyafram ara-yüzeylerinden oluşan algılayıcı uçta, ışığın çok küçük bir kısmı ilk ara-yüzeyden yansyarak geri gelir. Geriye kalan büyük kısım hava boşluğunu geçerek diyafram yüzeyine ulaşır. Diyafram yüzeyi yansıtıcılığı yüksek malzemeler ile çok ince bir tabaka ile kaplandığı için tamamına yakını geri yansyarak birinci ara-yüzeyden geçip fiber özüne geri girer. Bu olay birçok kez tekrar ederek çoklu yansımaları oluşturur. Çoklu yansımalara uğrayan modüle olmuş ışık ışını kuplör üzerinden fotodedektöre gelerek buradan elektriksel sinyale dönüştürülmüş olur. Elektriksel sinyale dönüştürülmüş olan veriler veri toplama ünitesi aracılığıyla dijital sinyallere dönüştürülüp işlenmek üzere bilgisayar birimine aktarılır. Böylece, sürekli çoklu yansımalar devam ederken diyafram akustik basınca maruz kaldığında, diyaframın titreşimi nedeniyle FP boşluğunda değişim meydana gelir. FP boşluğundaki bu değişim, ışığın fazında bir değişikliğe neden olur ve fazdaki değişiklik, interferometre yoluyla çıkıştaki optik yoğunluğu etkiler. Böylelikle, çıkıştaki optik yoğunluk, diyafram yüzeyine etki eden akustik basınç ile ilişkilendirilerek algılama işlemi gerçekleştirilmiş olur.

Diyafram malzemesinin mekanik özellikleri ve geometrik boyutları, sensör sisteminin akustik basınca duyarlılığını ve frekans tepkisini belirler. Sensörün hassasiyeti ve frekans tepkisi ölçülen sinyalin rezonans frekansı ile eşleşmelidir. Bu durum, akustik basıncın yoğunluğuna ve frekansına duyarlı bir diyafram tasarlandığı taktirde mümkündür. Kenarlarından sabitlenmiş bir dairesel diyaframa uygulanan basınca karşılık merkezindeki esneme miktarı (d) Eşitlik (1) (Wang et al., 2006) tarafından verilir:

$$d = \frac{3(1-\nu^2)P}{16Et^3} r^4 \quad (1)$$

Burada,  $\nu$  Poisson oranı,  $P$  uygulanan basınç,  $E$  Young modülü,  $r$  ve  $t$  sırasıyla diyaframın yarıçapı ve kalınlığıdır. Diyaframın ortasındaki esneme miktarı, diyafram malzemesinin mekanik özelliklerine ( $E$ ,  $\nu$ ) ve geometrik boyutlara ( $r$ ,  $t$ ) bağlıdır. Birim basınç altındaki esneme miktarı duyarlılık ( $S$ ) (Wang et al., 2016) ile tanımlanmıştır:

$$S = \frac{d}{P} \quad (2)$$

Hassasiyet artan yarıçap miktarı ile artar ve artan kalınlık ile azalır. Dairesel ve kenarlarından sabitlenmiş bir diyaframın temel doğal frekansı (Ma et al., 2013):

$$f = \frac{10.21t}{2\pi r^2} \sqrt{\frac{E}{12\rho(1-\nu^2)}} \quad (3)$$

Burada  $\rho$ , diyaframın yoğunluğudur. Hassasiyet ve frekans yanıtı, malzeme özelliklerine ve geometrik boyutlara bağlıdır. Yarıçap ve kalınlığın frekans üzerindeki etkisi, duyarlılık üzerindeki etkinin tam tersidir. Yani, artan yarıçap miktarı frekansı azaltırken, artan kalınlık miktarı frekansı artırır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

SiO<sub>2</sub> ve CTA diyafram malzemelerinin farklı kalınlık ve yarıçapları için FEM tabanlı benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Diyaframın esnemesi üzerindeki etkilerini incelemek için yapısal analizler kullanılmış, frekans yanıtı için ise modal analizler kullanılmıştır. SiO<sub>2</sub>'ye ait değerler literatürden elde edilmiş olup, CTA malzemesinin mekanik parametrelerini (Young modülü ve Poisson oranı) tanımlamak için çekme testleri Shimadzu AG-X Plus çekme testi sistemi ile Erciyes Üniversitesi Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezinde (TAUM) gerçekleştirilmiştir. Benzetimlerde, kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerine ait değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. SiO<sub>2</sub> ve CTA mekanik özellikleri

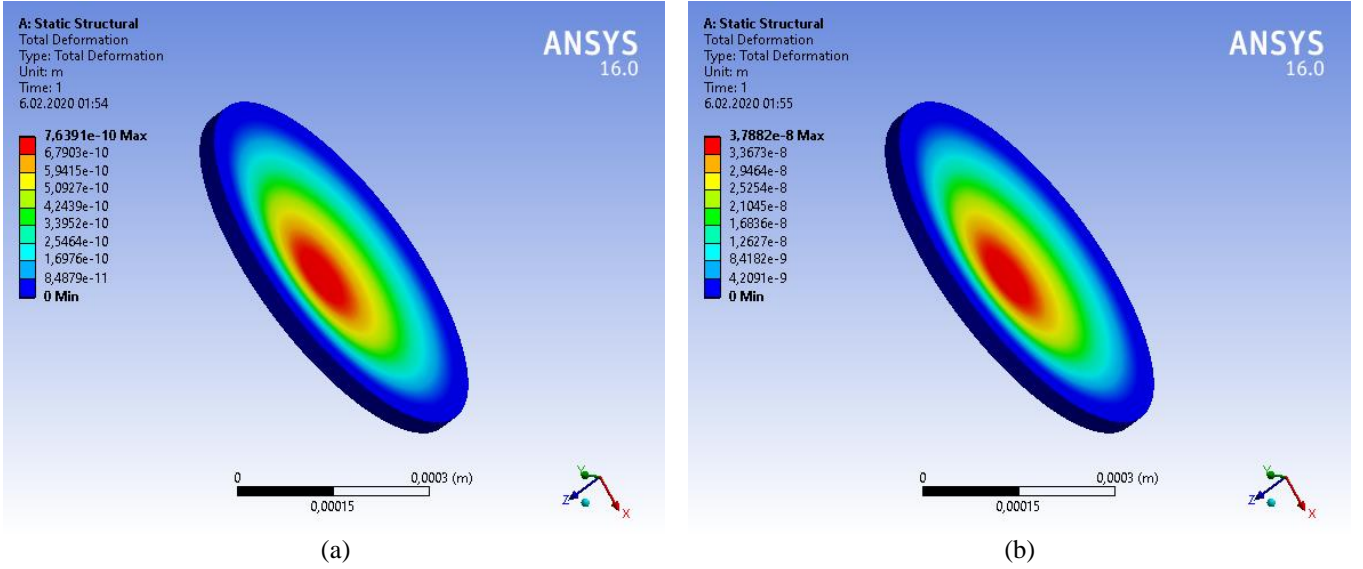
Malzeme	Young modülü (MPa)	Young modülü (MPa)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )
SiO <sub>2</sub>	73000	0,17	2200
CTA	1278	0,36	1300

SiO<sub>2</sub> ve CTA malzemeleri ile oluşturulmuş diyaframların farklı yarıçap ve kalınlık değerlerindeki örnekleri benzetimlerde kullanılarak esneme ve rezonans frekans değerleri elde edilmiştir. Benzetimlerde diyafram kalınlıkları 10, 20, 30, 40 ve 50  $\mu$ m, yarıçap değerleri ise 250-1500  $\mu$ m olarak belirlenmiştir.

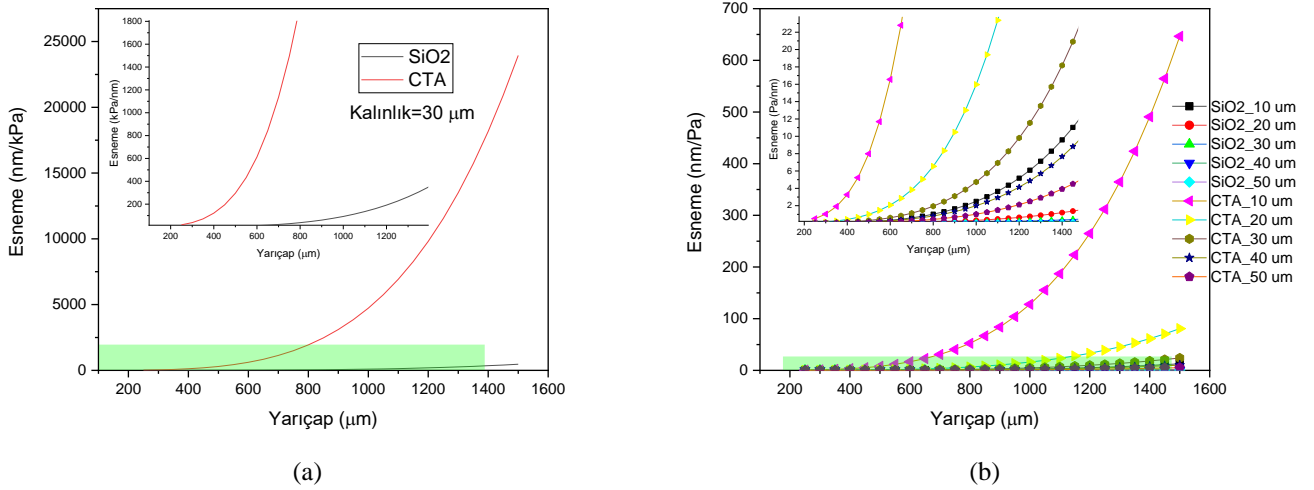
Bir PD tarafından üretilen akustik dalgalar, algılayıcı uçta esneme oluştur ve FP boşluk uzunluğunun değişimi ile optik dalgayı modüle eder. Bir FP sensörün en önemli özellikleri merkez esnemesi ve rezonans frekansıdır. Merkez esnemesi bir FP sensörünün hassasiyetini etkilerken ve rezonans frekansı sensörün dar veya geniş bant mod seçimini etkilemektedir.

#### 3.1. Diyaframın Statik Basınç Tepkisi

Şekil 2'den de görüldüğü gibi aynı geometrik ölçülere sahip olan diyaframlar 1 kPa basınç altında iken SiO<sub>2</sub>'den yapılmış olan diyaframdaki esneme miktarı 0,76 nm olurken CTA'dan yapılmış olan diyaframda bu değer 37,88 nm değerine yükselmektedir. Başka bir ifade ile  $r=300$   $\mu$ m ve  $t=30$   $\mu$ m geometrik ölçülerine sahip olan diyaframlardan CTA'nın hassasiyetliği SiO<sub>2</sub>'ye göre yaklaşık 50 kat daha fazladır. Bu da çok düşük basınç değerlerinde bile ( $\mu$ Pa) ölçüm yapılabileceği anlamına gelmektedir. 30  $\mu$ m kalınlığa sahip diyaframların farklı yarıçap değerlerindeki esneme grafikleri Şekil 3(a) da verilmektedir. Ayrıca, farklı kalınlık değerlerindeki her iki malzemeden oluşturulmuş diyaframların farklı yarıçap değerlerindeki esneme grafiği Şekil 3(b) de gösterilmektedir. Grafikten de anlaşılacağı gibi SiO<sub>2</sub> den yapılmış bir diyaframın CTA'dan yapılmış olana göre aynı yarıçap değerinde benzer hassasiyetliği yakalayabilmesi için kalınlığının ancak dörtte biri kadar daha az olması gerekmektedir. Yani birbirlerine yakın kalınlık değerlerinde iki malzemeden yapılmış olan diyaframların hassasiyetlikleri arasında çok ciddi bir oran vardır. Şekil 3(b)'de yine SiO<sub>2</sub> diyaframın esnemesinin 1 nm üzerine çıktığı en küçük yarıçap değerinin 800  $\mu$ m civarı olduğu görülmektedir ki bu değer için kalınlık 10  $\mu$ m'dir. CTA bu esneme değerini 10  $\mu$ m kalınlıkta, yaklaşık 300  $\mu$ m yarıçapta sağlayabilmektedir. Aynı değerlerde CTA'nın esnemesi ise 50 nm değerinin üzerinde olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere boyutlar küçültüldükçe SiO<sub>2</sub>'nin hassasiyetinin CTA ile kıyaslanamaz derece düşük olduğu açıktır.



Şekil 2. Yapısal analiz sonucunda 1 kPa basınç altında diyaframlardaki esneme miktarları (a) SiO<sub>2</sub> (b) CTA.

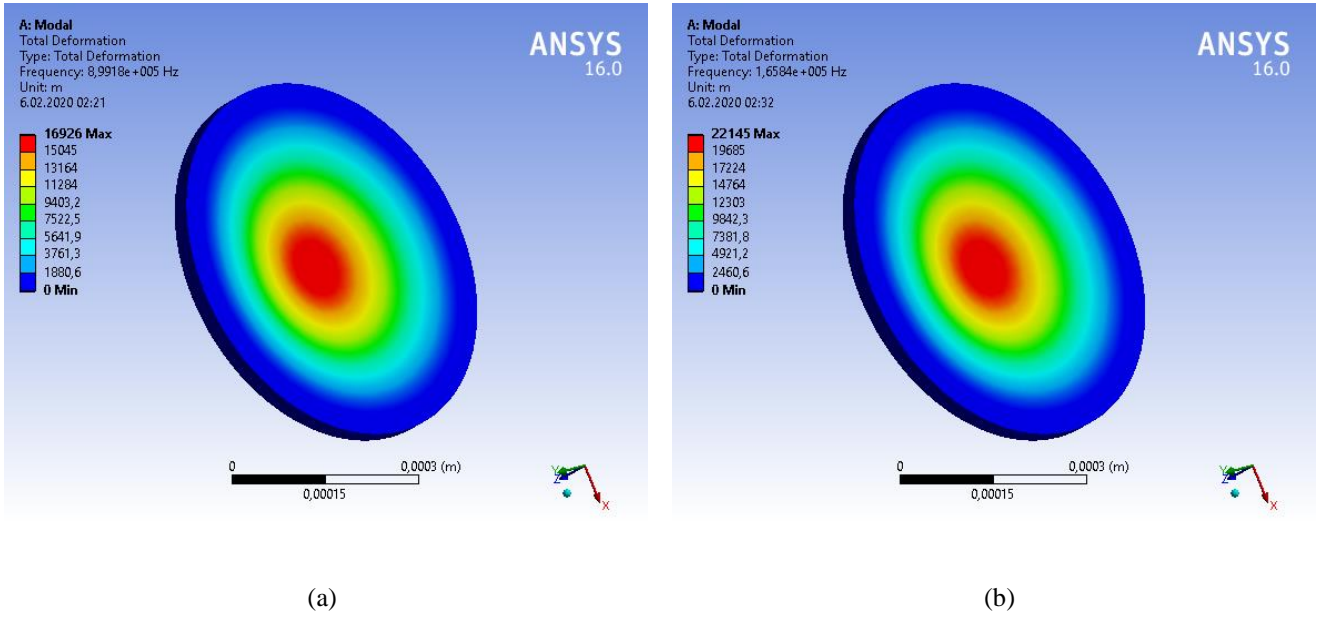


Şekil 3. (a) 30 µm Kalınlıkta, farklı yarıçap değerlerinde SiO<sub>2</sub> ve CTA esneme miktarları. (b) Farklı kalınlıklarda ve farklı yarıçap değerlerinde SiO<sub>2</sub> ve CTA esneme miktarları.

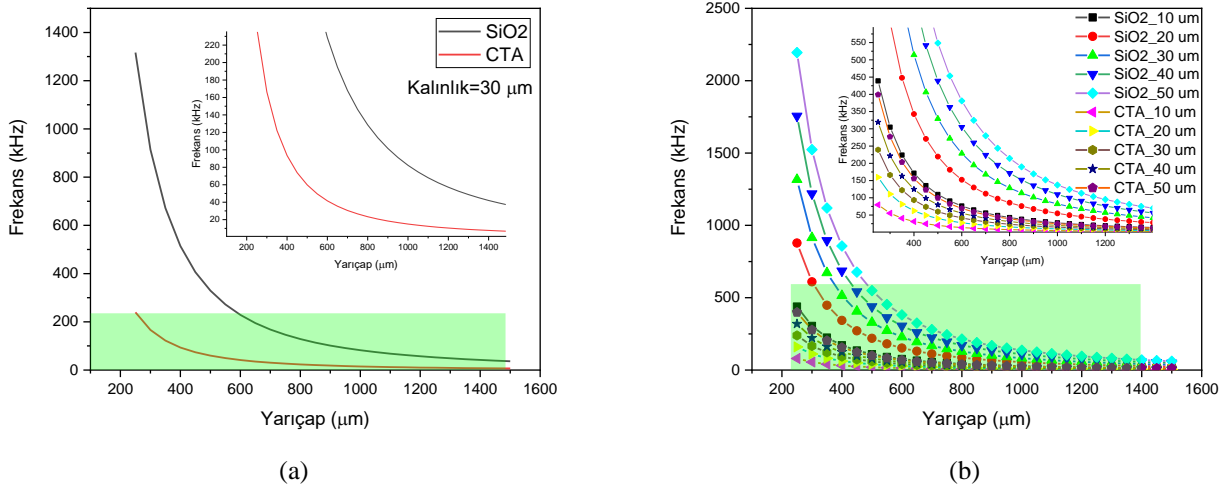
### 3.2. Diyaframın Dinamik Alan Tepkisi

Diyaframların trafolar içerisinde oluşan PD uyarımlarını algılayabilmeleri için hassasiyetleri kadar frekans cevapları da oldukça önemlidir. Bu bağlamda Şekil 4'e bakacak olursak, aynı geometrik ölçülere ( $r=300 \mu\text{m}$ ,  $t=30 \mu\text{m}$ ) sahip olan diyaframlardan SiO<sub>2</sub>, PD bandının çok dışarısında kalırken ( $\sim 900 \text{ kHz}$ ), CTA PD bandının içerisinde ( $\sim 166 \text{ kHz}$ ) kalmaktadır.

Şekil 5(a)'da 30 µm kalınlıkta farklı yarıçaplarda SiO<sub>2</sub> ve CTA'nın frekans tepkisi verilmiştir. Şekil 5(a)'da 30 µm kalınlıkta farklı yarıçaplarda SiO<sub>2</sub> ve CTA'nın frekans tepkisi verilmiştir. Şekil içerisinde yeşil ile belirtilmiş alan PD gerçekleştiği frekans bandını belirtmektedir. Belirtilen bant içerisinde CTA'nın yarıçap aralığı 250 µm ile 600 µm arasında değişirken, SiO<sub>2</sub>'nin aralığı ise 600 µm ile 1500 µm arasında değişmektedir. Esneme değerlerinde olduğu gibi frekans bandında da CTA, SiO<sub>2</sub>'ye göre yarıçapın küçültülmesi noktasında önemli bir avantaj sağlamaktadır. Şekil 5(b)'de ise farklı kalınlık ve yarıçap değerlerinde SiO<sub>2</sub> ve CTA rezonans frekans değerleri verilmiştir. Grafikten de görüldüğü gibi CTA'nın bütün kalınlık değerlerinde PD bandı içerisindeki yarıçap değerleri 350 µm'nin altındadır.



Şekil 4. Modal analiz sonucunda  $r=300 \mu\text{m}$  ve  $t=30 \mu\text{m}$  geometrik ölçülere sahip diyaframların rezonans frekansları (a)  $\text{SiO}_2$  (b) CTA.



Şekil 5. (a)  $30 \mu\text{m}$  Kalınlıkta, farklı yarıçap değerlerinde  $\text{SiO}_2$  ve CTA rezonans frekans değerleri. (b) Farklı kalınlık ve yarıçap değerlerinde  $\text{SiO}_2$  ve CTA rezonans frekans değerleri.

Elde edilen benzetim sonuçları ışığında CTA diyaframın  $20 \mu\text{m}$  kalınlıkta  $225 \mu\text{m}$  yarıçapta rezonans frekansı  $197 \text{ kHz}$  olarak hesaplanırken,  $\text{SiO}_2$ 'nin  $20 \mu\text{m}$  kalınlıkta aynı frekans değerini ancak  $530 \mu\text{m}$  yarıçapta verebilmiştir. Yarıçapı daha da küçültüldüğünde PD bandının üst sınırının dışına çıktığı görülmüştür. Sonuç olarak, PD uygulaması özelinde DTFP-FOBS'larda, CTA'nın diyafram malzemesi olarak kullanılmasının,  $\text{SiO}_2$  diyaframa göre sensor boyutlarının yaklaşık %66 oranında küçültülebileceği ve küçültülen boyutlarda  $\text{SiO}_2$  diyaframa göre hassasiyetinin yaklaşık 2 kat arttığı belirlenmiştir. Diyaframların kalınlıkları  $10 \mu\text{m}$  seçildiğinde bu fark %72 değerine yaklaşmaktadır.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, yüksek güç transformatörlerinde oluşan PD'nin tespiti için DTFP-FOBS için boyutlarının küçültülerek algılama parametrelerinin (frekans, hassasiyet) optimizasyonu araştırılmıştır. Literatürde PD algılama uygulamalarında diyafram olarak önerilen tek diyafram  $\text{SiO}_2$ 'dir. Fakat  $\text{SiO}_2$  diyaframın yarıçapı küçüldükçe sensörün hassasiyetinin düştüğü ve PD etkilerinin oluştuğu bandın dışında bir frekans bandına çıktığı görülmüştür. Bu sıkıntının önüne geçilebilmesi için alternatif bir diyafram olarak CTA önerilmiştir ve CTA ve  $\text{SiO}_2$ 'nin farklı yarıçap ve kalınlıklarda esneklik ve rezonans frekans değerleri FEM tabanlı benzetim analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda aynı geometrik ölçülere sahip olan diyaframlardan  $\text{SiO}_2$ , PD bandının çok dışarısında kalırken



(~900 kHz) CTA, PD bandının içerisinde (~166 kHz) kaldığı belirlenmiştir. Ayrıca PD algılama bandı içerisinde CTA'nın yarıçap aralığı 225 µm ile 600 µm arasında değişirken, SiO<sub>2</sub>'nin aralığı ise 600 µm ile 1500 µm arasında değişmektedir. Sonuç olarak, PD uygulaması özelinde DTFP-FOBS'larda, CTA'nın diyafram malzemesi olarak kullanılmasının, SiO<sub>2</sub> diyaframa göre sensor boyutlarının yaklaşık %66 oranında küçültülebileceği ve küçültülen boyutlarda SiO<sub>2</sub> diyaframa göre hassasiyetinin yaklaşık 2 kat arttığı belirlenmiştir. Yapılan analizler ile elde edilen veriler, CTA diyaframın başta PD olmak üzere biyomedikal ve endüstriyel uygulamalarında etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir.

## Teşekkür

Yazarlar, Erciyes Üniversitesi Klinik Mühendisliği Araştırma ve Uygulama Merkezi'ne, araştırma faaliyetlerine destekleri için teşekkür eder. Ayrıca, bu çalışma Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri birimince KMY.A4.19.001 proje numarası ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

- American National Standard. (2007) IEEE guide for the detection and location of acoustic emissions from partial discharges in oil-immersed power transformers and reactors, in IEEE Power Engineering Society. IEEE Std C57. 127-2007, pp. 9–18, Transformers Committee, New York, USA.
- Dong, B. Han, M. & Wang, A. (2012) Two-wavelength quadrature multipoint detection of partial discharge in power transformers using fiber Fabry-Perot acoustic sensors. Proc. SPIE 8370, Fiber Optic Sensors and Applications IX, 83700K.
- Hayber, Ş.E. Aydemir, U. Tabaru, T.E. & Saraçoğlu, Ö.G. (2019) The Experimental Validation of Designed Fiber Optic Pressure Sensors With EPDM Diaphragm. IEEE Sensors Journal, 19(14), 5680-5685.
- Hayber, Ş.E. Tabaru, T.E. & Saraçoğlu, Ö.G. A novel approach based on simulation of tunable MEMS diaphragm for extrinsic Fabry-Perot sensors. Optics Communications, 430, 14-23.
- Hayber, Ş.E. Tabaru, T.E. Keser, S. & Saraçoğlu, Ö.G. (2018) A Simple, High Sensitive Fiber Optic Microphone Based on Cellulose Triacetate Diaphragm. Journal of Lightwave Technology, 36(23), 5650-5655.
- Huang, Y. W. Tao, J. & Huang, X. G. (2016) Research progress on FP interference-based fiber-optic sensors. Sensors, 16(9), 1424.
- Islam, M. Ali, M.M. Lai, M.H. Lim, K.S. & Ahmad, H. (2014) Chronology of Fabry-Perot interferometer fiber-optic sensors and their applications: a review. Sensors, 14(4), 7451-7488.
- Li, H. Li, D. Xiong, C. Si, W. Fu, C. Yuan, P. & Yu, Y. (2019) Low-cost, high-performance fiber optic Fabry-Perot sensor for ultrasonic wave detection. Sensors 19(2), 406.
- Liu, B. Lin, J. Wang, J. Ye, C. & Jin, P. (2015) MEMS-based high-sensitivity Fabry-Perot acoustic sensor with a 45° angled fiber. IEEE Photonics Technology Letters, 28(5) 581-584, 2015.
- Lundgaard, L. E. (1992) Partial discharge. XIII. Acoustic partial discharge detection-fundamental considerations. IEEE Electrical Insulation Magazine 8(4), 25-31.
- Lundgaard, L.E. (1992) Partial discharge. XIII. Acoustic partial discharge detection-fundamental considerations. IEEE Electrical Insulation Magazine, 8(4), pp. 25-31.
- Ma, J. (2014) Miniature Fiber-Tip Fabry-Perot Interferometric Sensors for Pressure and Acoustic Detection (Doctoral thesis). The Hong Kong Polytechnic University.
- Ma, J. Xuan, H. Ho, H.L. Jin, W. Yang, Y. & Fan, S. (2013) Fiber-optic Fabry-Pérot acoustic sensor with multilayer graphene diaphragm. IEEE Photonics Technology Letters, 2(10), 932-935.
- Pang, C. Bae, H. Gupta, A. Bryden, K. & Yu, M. (2013) MEMS Fabry-Perot sensor interrogated by optical system-on-a-chip for simultaneous pressure and temperature sensing. Optics Express, 21(19), 21829-21839.
- Qingxu, Y. & Zhou, X. (2011) Pressure sensor based on the fiber-optic extrinsic Fabry-Perot interferometer. Photonic Sensors, 1(1), 72-83.
- Stone, C.G. (2005) Partial discharge diagnostics and electrical equipment insulation condition assessment. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation 12(5), 891-904.
- Sun, B. Wang, Y. Qu, J. Liao, C. Yin, G. He, J. & Liu, Y. (2015) Simultaneous measurement of pressure and temperature by employing Fabry-Perot interferometer based on pendant polymer droplet. Optics Express, 23(3), 1906-1911.
- Wang, S. Lu, P. Liu, L. Liao, H. Sun, Y. Ni, W. & Xu, H. (2016) An infrasound sensor based on extrinsic fiber-optic Fabry-Perot interferometer structure. IEEE Photonics Technology Letters, 28(11), 1264-1267.
- Wang, X. Li, B. Xiao, Z. Lee, S.H. Roman, H. Russo, O. L. & Farmer, K.R. (2004) An ultra-sensitive optical MEMS sensor for partial discharge detection. Journal of micromechanics and microengineering, 15(3), 521.
- Wang, X. Xu, J. Zhu, Y. Cooper, K.L. & Wang, A. (2006) All-fused-silica miniature optical fiber tip pressure sensor. Optics letters, 31(7), 885-887.
- Wang, X. Xu, J. Zhu, Y. Yu, B. Han, M. Wang, Z. & Ng, W. (2005) Verifying an all fused silica miniature optical fiber tip pressure sensor performance with turbine engine field test. Proc. SPIE 5998, Sensors for Harsh Environments II, 59980L, 2005.
- Wu, Y. Yu, C. Wu, F. Li, C. Zhou, J. Gong, Y. & Chen, Y. (2017) A highly sensitive fiber-optic microphone based on graphene oxide membrane. Journal of Lightwave Technology, 35(19), 4344-4349.
- Xu, F. Ren, D. Shi, X. Li, C. Lu, W. Lu, L. & Yu, B. (2012). High-sensitivity Fabry-Perot interferometric pressure sensor based on a nanothick silver diaphragm. Optics letters, 37(2), 133-135.
- Xu, F. Shi, J.K. Li, Gong, H. Hui, R. & Yu, B. (2014) Fiber-optic acoustic pressure sensor based on large-area nanolayer silver diaphragm. Optics letters, 39(10), 2838-2840.

- Yu, B. Kim, D.W. Deng, J. Xiao, H. & Wang, A. (2003) Fiber Fabry-Perot sensors for detection of partial discharges in power transformers. *Applied Optics*, 42(16), 3241-3250.
- Zhao, Y. Chen, M.Q. Xia, F. & Lv, R.Q. (2018) Small in-fiber Fabry-Perot low-frequency acoustic pressure sensor with PDMS diaphragm embedded in hollow-core fiber. *Sensors and Actuators A: Physical*, 270, 162-169.



# K-Ortalamlar Kümeleme Yöntemi Kullanılarak ALS Hastalarında Dikkatin Olaya İlişkin Potansiyel Sinyalleri İle İncelenmesi\*\*

Fırat Orhanbulucu<sup>1\*\*</sup>, Fatma Latifoğlu<sup>2</sup>, Abdullah Baş<sup>3</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4558-9667)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2018-9616)

<sup>3</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Biyomedikal Enstitüsü, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7606-8314)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf30)

**ATIF/REFERENCE:** Orhanbulucu, F., Latifoğlu, F., & Baş, A. (2020). K-Ortalamlar Kümeleme Yöntemi Kullanılarak ALS Hastalarında Dikkatin Olaya İlişkin Potansiyel Sinyalleri İle İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 239-244.

## Öz

Farklı nörolojik hastalıkların neden olduğu beyinde oluşan anormal durumlar dünya çapında birçok insanı etkilemektedir. Bu anormal durumlardan birisi de Amyotrofik lateral skleroz (ALS)'dur. ALS, beyin sapı adı verilen bölgede motor sinir hücrelerinin zarar görmesiyle ilerleyen fiziksel bozukluklara neden olan genellikle motor nöron hastalığı olarak bilinen bir hastalıktır. Beyin, dışarıdan gelen uyarıları algılar ve algılanan çok sayıda uyarıdan ilgili olanları dikkat mekanizması sayesinde seçer. Dikkat, çeşitli bilgi türlerinin, duygu ve düşünceler gibi aktivitelerin bir bölgeye yoğunlaştırılıp gerekli sürede ilgili uyarıcıların beyin tarafından seçilmesiyle oluşan bilişsel bir süreçtir. Elektroensefalogram (EEG) beynin dikkat mekanizmasında oluşan bu tür aktiviteleri ölçmek ve analiz etmek için önemli bir yere sahiptir. Dikkat analizi için son yıllarda yapılan çalışmalar Olaya İlişkin Potansiyel (OİP) sinyalleri üzerindedir. OİP sinyalleri, EEG sinyallerinde net olarak gözükmeyen P100, N200, P300 ve N400 gibi bileşenlere sahip olan küçük genlikli sinyallerdir. Bu nedenle OİP sinyallerini elde edebilmek için hedef uyarının tekrarlanması, birçok kez EEG kaydının alınması gerekmektedir. Kayıt alınan hedef uyarana ait EEG sinyallerinin ortalamasının alınması sonucunda OİP sinyalleri elde edilmektedir. Gerçekleştirilen çalışmada, ALS hastaları ile sağlıklı kişilerin OİP sinyallerinden bir takım özelliklerin elde edilip ve görsel uyarılara karşı dikkat analizinin k-ortalamlar kümeleme yöntemi ile incelenmesi amaçlanmıştır. K-ortalamlar kümeleme yöntemi ile yapılan inceleme sonucunda veriler 2 kümeye ayrılmış ve en yüksek başarı oranı %77.78 olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dikkat, amyotrofik lateral skleroz, k-ortalamlar kümeleme yöntemi, olaya ilişkin potansiyel sinyalleri, elektroensefalogram.

## Analysis of Attention to Potential Signals of ALS Patients by Using the K-Means Clustering Method

### Abstract

Abnormal conditions occurring in the brain caused by different neurological diseases affect many people worldwide. One of these abnormal conditions is Amyotrophic lateral sclerosis (ALS). ALS is a disease commonly known as motor neuron disease, which causes physical disorders in the area called brainstem, caused by damage to motor nerve cells. The brain perceives the stimuli coming from the outside and selects the related ones from the many perceived stimuli through its attention mechanism. Attention is a cognitive process that is formed by concentrating various types of information, activities such as emotions and thoughts to a region and selecting the relevant stimulants by the brain in the required time. The Electroencephalography (EEG) has an important place to measure and analyze such activities occurring in the brain's mind. Recent studies for attention analysis are on Event-Related Potential (ERP) signals. ERP signals are small amplitude signals with components such as P100, N200, P300 and N400, which are not clearly visible in EEG signals.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-4558-9667, firat.orhanbulucu@inonu.edu.tr

For this reason, in order to obtain the ERP signals, the target stimulus must be repeated and EEG recording must be obtained many times. As a result of averaging the EEG signals of the recorded target stimulus, ERP signals are obtained. In the study carried out, it was aimed to obtain some features from the ERP signals of ALS patients and healthy people and to analyze attention analysis against visual stimuli using the k-means clustering method. As a result of the examination made with the K-averages clustering method, the data were divided into 2 clusters and the highest success rate was calculated as 77.78%.

**Keywords:** Attention, amyotrophic lateral sclerosis, k-means clustering method, event related potential signals, electroencephalogram.

## 1. Giriş

Farklı nörolojik hastalıkların neden olduğu beyinde oluşan anormal durumlar dünya çapında birçok insanı etkilemektedir. Bu anormal durumlardan birisi de Amyotrofik lateral skleroz (ALS)'dur. ALS, beyin sapı adı verilen bölgede motor sinir hücrelerinin zarar görmesiyle ilerleyen fiziksel bozukluklara neden olan genellikle motor nöron hastalığı olarak bilinen bir hastalıktır. Hastalığın ilerlemesi ile ALS'li insanlar tamamen felç olabilir ve genellikle solunum yetmezliği sonucu ölümlü sonuçlanabilir [1]. Beyin, dışarıdan gelen uyarıları algılar ve algılanan çok sayıda uyarıdan ilgili olanları seçer. Beyindeki dikkat mekanizması sürekli olarak dış çevreden uyarı alma, dış çevreden gelen uyarıyı seçme ve dikkatin devam etmesi adımları ile açıklanabilir. Dikkat çeşitli bilgi türleri, duyu ve düşüncelerinin bir bölgeye yoğunlaştırılıp gerekli sürede ilgili uyarıcıların beyin tarafından seçilmesiyle oluşan bilişsel bir süreçtir [2]. Elektroensefalogram (EEG) beynin bu tür aktivitelerini ölçmek ve analiz etmek için önemli bir yere sahiptir.

Dikkat uzun süredir çeşitli yollarla analiz edilmektedir. Son yıllarda dikkat üzerine yapılan çalışmalar Olaya İlişkin Potansiyel (OİP) sinyalleri ile dikkat analizidir. OİP sinyalleri özel bir aktivite için nöronlar üzerinden yapılandırılmış aktiviteyi gösteren genellikle çok küçük genlikli sinyallerdir ve EEG sinyalinde gözükmezler. Bu nedenle, aynı uyarının tekrarlanmasıyla ve birçok kez EEG kaydı alarak bu kayıt alınan sinyallerin ortalamasının alınmasıyla ortaya çıkan sinyallerdir [3, 4]. OİP sinyallerinin bileşenleri P100, N200, P300, N400 gibi sinyallerdir. P300, beynin dikkat çeken bir uyarıya uyarıldığı zaman genellikle 300. Milisaniye 'den (ms) sonra oluşan ve 800 ms'ye kadar dağılım gösteren pozitif bir dalgadır [5, 6]. Sutton ve arkadaşları P300'ü ilk olarak yayınlayan kişilerdir [7]. N200 ise beyin uyarıldıktan yaklaşık 200.ms'den sonra görülen negatif bir dalgadır [8].

Literatürde yapılan bazı çalışmalar incelendiği zaman dikkat düzeyinin belirlenmesinde OİP sinyalleri incelenerek objektif sonuçlar bulunmuştur. Güven ve arkadaşları yaptıkları çalışmada kişilere işitsel ve görsel uyarıları farklı zamanlı farklı Oddball uyarı sistemi ile uygulamış ve uyarı sistemleri için ayrı ayrı kayıtlar almıştır. Görsel ve işitsel uyarılarda frontal (Fz), parietal (Pz), oksipital (Oz) ve santral (Cz) bölgede P100 dalgasının genlik ve latans durumlarını incelemiş, anlamlı bir farklılık elde edememişlerdir [9]. Batbat ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada üniversite öğrencisi gençlerde dikkat tiplerini belirlemek amacıyla işitsel uyarılar üzerine dikkat tespiti sınıflandırma yöntemleri ile gerçekleştirmiştir. Yaptıkları çalışmada OİP bileşenlerinden P300 dalgasını incelemişlerdir. Ayrık Dalgacık Dönüşümü ile filtrelenen OİP bileşenlerinden P300 dalgasının Latans ve genlik değerlerinin yanında dalgacık katsayı entropi değerleri özellik olarak incelenmiş ve yapılan sınıflandırma işleminde Destek Vektör Makinelerinin en başarılı sınıflandırmayı yaptığı görülmüştür [10]. Yapılan çalışmalar genel anlamda sinyallerin zaman ekseninde OİP bileşenlerinin (P100, N200, P300 vb.) latans ve genlik bilgilerinin değerlendirilmesi şeklindedir [11]. Frekans ekseninde değerlendirme olarak yapılan çalışmalar incelendiği zaman ise OİP sinyallerinin frekans ekseninde değerlendirildiği çalışmalar EEG'nin frekans bileşenlerinin incelenmesi şeklindedir [12]. OİP sinyallerinin tek başına değerlendirilmediği çalışmalar incelendiğinde ise Rupom ve arkadaşları yaptıkları çalışmada ALS hastaları ile sağlıklı kişileri OİP sinyalleri ile birlikte ham EEG sinyallerini de ele almıştır. EEG sinyallerini Alfa ve Beta dalgalarında genlik değerleri bakımından incelemiş ve kullandıkları tekniğin ALS'nin saptanmasına yardımcı olabileceğini önermişlerdir [13].

Yapılan çalışmanın amacı ALS hastası kişiler ile sağlıklı kişilerin OİP sinyallerinden bilinen temel özelliklerin elde edilmesi ve görsel uyarılara karşı dikkatin k-ortalama kümeleme yöntemi ile tespit edilmesidir.

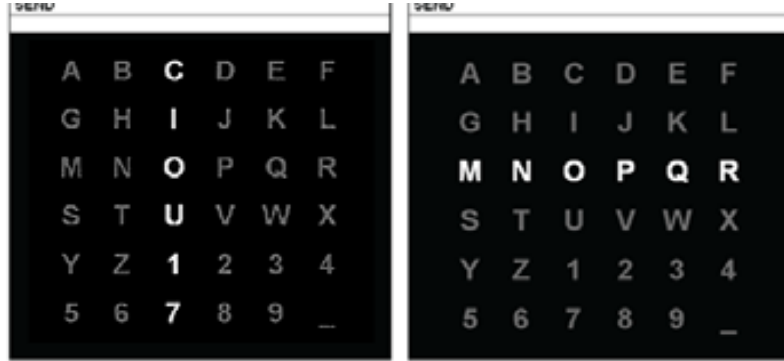
## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Seti ve Deney Aşaması

Bu çalışmada kullanılan EEG sinyalleri herkese açık erişimde sunulan "bnci-horizon-2020" web sitesinde yayınlanan IRCCS Fondazione Santa Lucia (Roma/İtalya) BCI laboratuvarında kaydedilen ve ".mat" formatında verilmiş olan veri kümesinden oluşturulmuştur [14]. Verilerin indirme linki ve gerekli bütün açıklamalar "bnci-horizon-2020" web sitesinde mevcuttur.

Verilerin kaydı sırasında elektrotlar standart 10-10 sistemine göre dizilmiş [15], elektrotların empedansları 10 kOhm değerini aşmayacak şekilde ayarlanmıştır ve 8-16 kanaldan (Fz, Cz, Pz, Oz, PO7, PO8, FCz, CPz, C3, C4, F3, F4, P3, P4, CP3, CP4) Ag/AgCl referans elektrot kullanılarak elde edilmiştir. EEG sinyalleri g.USBamp amplifikatörü (g.MOBILAB, g.Tec, Austria) kullanılarak 256 Hz örnekleme frekansıyla yaş ortalaması (58 ± 12) olan 8 ALS hastası kişiden ve yaş ortalaması (26.8 ± 5.6) olan ALS hastası olmadığı tespit edilen 10 sağlıklı kişiden ölçüm alınarak elde edilmiştir. Verileri toplama ve görsel uyarı işlemleri BCI2000 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [16-18]. Deneklere 6×6 tipindeki matris içerisinde rakam, harf ve bir takım özel işaretlerin bulunduğu eğitim seti sunulmuştur. Her uyarının bir satır veya sütunda gösterilme zamanı ve bir uyarıcının bitimi ile kendisini izleyen uyarıcının başlangıcı arasındaki süre (Inter Stimulus Interval-ISI) 125 ms'dir. Bir uyarının başlangıcı ile diğer uyarının başlangıcı arasındaki zaman aralığı (Stimulus Onset Asynchrony-SOA) 250 ms'dir. Hedef uyarıların birbirine karışmaması için hedef-hedef arasındaki süre en az 500 ms olacak şekilde ayarlanmıştır. Deneyden önce deneğe odaklanması gereken karakterler söylenmiştir. Örneğin, odaklanması gereken karakter O ise O'yu içeren 3.satır veya 3.sütunun yanması durumunda hedef uyarı gerçekleşmiştir.

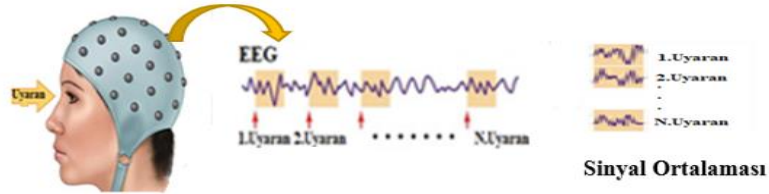
olacaktır. Deney aşamasında kullanılan örnek eğitim seti Şekil 1’de görülmektedir. Hedef karakterler matris üzerinde rastgele satır veya sütunda 2 kez gösterilmiş ve birçok kez tekrarlanmıştır [16, 17]. Hedef uyarın için 500 adet içerisinde OİP bileşeni olan EEG sinyali seçilmiştir ve toplam 3000 adet içerisinde OİP bileşeni olan ya da olmayan EEG sinyali ele alınmıştır. Hedef uyarınların gösterilme olasılığı %16.67 olacak şekilde ayarlanmıştır.



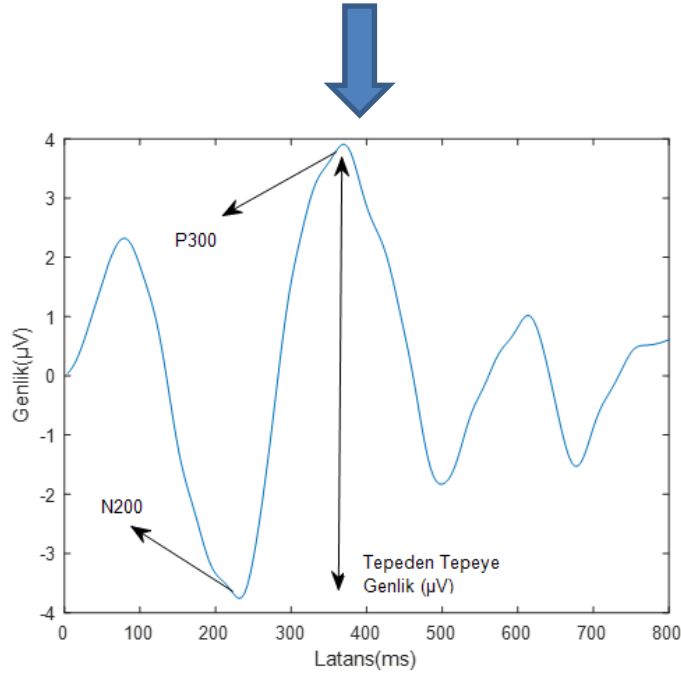
Şekil 1. Eğitim seti [19]

## 2.2. Ön İşleme ve Özellik Çıkarımı

Bu çalışmada, EEG sinyallerinin içerisinde gömülü vaziyette olan küçük genlikli OİP sinyalini elde edebilmek için EEG’den hedef uyarınlara ait sinyaller çekilmiş ve benzer çalışmalarda kullanılan her bir hedef uyarına ait sinyallerin ortalaması alınmıştır (Şekil 1). Filtreleme işlemi olarak sinyalde oluşabilecek rastgele gürültüleri azaltmak, sinyalde oluşabilecek dalgalarda ani yükselme ya da düşme durumlarını engellemek ve N200, P300 dalgalarını net elde edebilmek için hareketli ortalama filtre kullanılmış, 0-800 ms aralıklı pencerele ayrılarak OİP sinyalleri elde edilmiştir (Şekil 2). P300 dalgası için genlik ve latans değerleri, P300 genişliği, N200 dalgası için genlik ve latans değerleri, OİP sinyali üzerindeki tepe sayısı ile OİP sinyalinde tepeden tepeye genlik değerleri özellik olarak incelenmiştir.



Şekil 2. EEG sinyalinden hedef uyarınların çekilmesi [20]



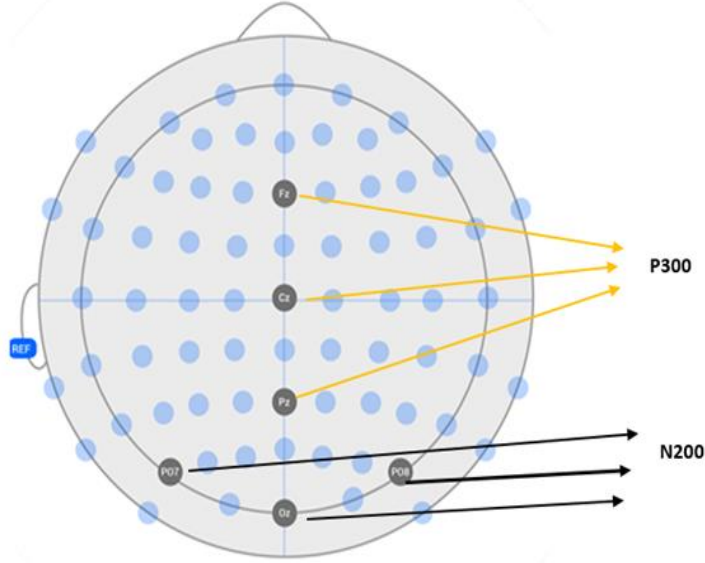
Şekil 3. Hedef uyarınların ortalaması alınarak elde edilen filtrelenmiş OİP sinyali



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. İstatiksel Analiz ve Özellik Seçimi

Yapılan çalışmada kullanılacak olan özellikler kümeleme işlemine tabi tutulmadan önce aşamalı bir inceleme sürecinden geçirilmiş ve R dili kullanılarak gerekli testleri yapılmıştır. Ele alınan özellikler %95 güven aralığında Shapiro-Wilk normallik testi ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda veriler normal dağılım göstermediğinden dolayı parametrik olmayan testlerden Mann-Whitney U testi uygulanmıştır ve anlamlı fark oluşturan özellikler tespit edilmiştir ( $p < 0.05$ ). P300 dalgası benzer çalışmalarda olduğu gibi [10, 11] belirgin olarak gözüken Fz, Cz, Pz kanallarında incelenmiştir. N200 dalgası ise benzer çalışmalarda olduğu gibi oksipital bölgede daha belirgin görülmüştür [21, 22] ve yapılan çalışmada Oz, PO7 ve PO8 kanallarında incelenmiştir (Şekil 3). Çalışmada anlamlı fark oluşturan P300 özellikleri; Pz kanalına ait genlik ve latans değerleri, Cz kanalına ait genlik değerleri, Fz kanalına ait latans değerleridir. Çalışmada anlamlı fark gösteren N200 özellikleri ise; Oz kanalına ait latans değerleri, PO7 ve PO8 kanalına ait genlik ve latans değerleridir. P300 genişliği, tepeden tepeye genlik değerleri ve OİP sinyali üzerindeki tepe sayısında anlamlı farklılık görülmemiştir.



Şekil 4. Çalışmada incelenen kanalların elektrot pozisyonu

#### 3.2. K-Ortalamalar Kümeleme Yöntemi

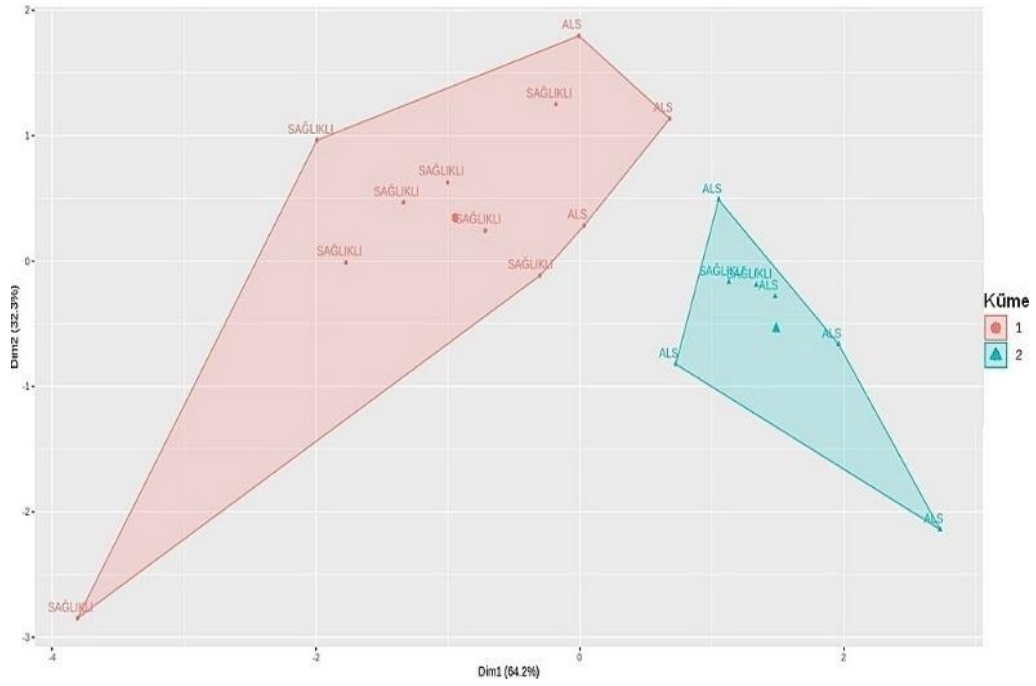
K-ortalamalar kümeleme yöntemi örnekleri kümelerken küme içi benzerliklerin maksimum ve kümeler arası benzerliklerin minimum olmasını sağlamaktadır. K-ortalamalar kümeleme yönteminin fonksiyonu (1) numaralı eşitlikte gösterilmiştir.

$$f = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \|x_i^{(j)} - c_j\|^2 \quad (1)$$

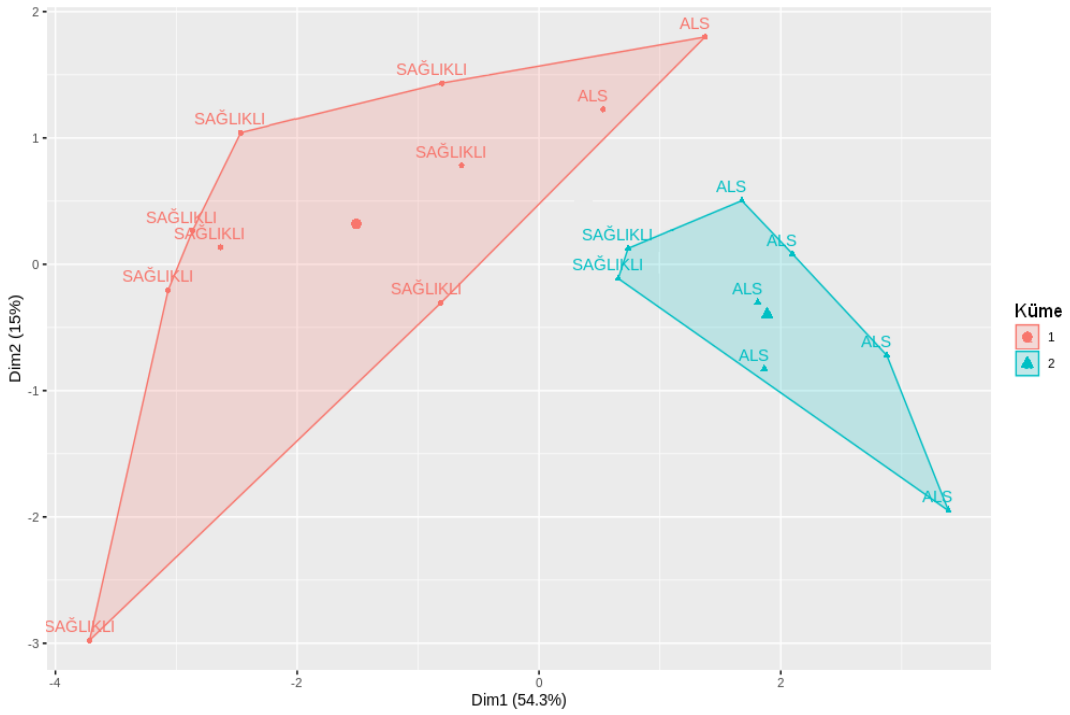
(1) numaralı eşitlikte belirtilen f, yöntemin fonksiyonunu;  $j=(1,2,3\dots k)$  küme sayısını;  $i=(1,2,3\dots n)$  örnek sayısını;  $c_j$ , j. kümenin merkezini temsil ederken,  $x_i$  örneğin boyut olarak yerini temsil etmektedir. K-ortalamalar kümeleme yöntemi uygulanırken n adet örnek k adet kümeye ayrılır, kümelerin merkezi rastgele seçilir ve öklid uzaklık fonksiyonu kullanılarak örnekler yakınlığına göre küme merkezine etiketlenir. Her küme içerisindeki örneklerin ortalaması alınarak merkezler yeniden belirlenir ve bu süreç merkezler sabit kalana kadar tekrarlanır [23].

### 4. Sonuç

Bu çalışmada ALS hastası kişiler ile sağlıklı kişilerin görsel uyaranlar üzerine dikkat analizi OİP sinyallerinden elde edilen özellikler ile R dilinde 2 kümeye ayrılarak k-ortalamalar kümeleme yöntemi ile incelenmiştir.  $K=2$  için, 1.kümeye sağlıklı kişilerin, 2.kümeye ise ALS hastası kişilerin yoğun olarak dağılım gösterdiği görülmüştür. P300 özellikleri tek başına ele alındığı zaman 3 adet ALS hastası, 2 adet sağlıklı kişinin hatalı kümelendiği görülmüştür ve başarı oranı %72.22 olarak hesaplanmıştır (Şekil 3). P300 özelliklerine ek olarak N200 özelliklerinin de ele alınmasıyla birlikte P300 özellikleri ile hatalı kümelenen 1 adet ALS hastasının doğru kümeye dâhil olduğu, başarı oranının arttığı gözlemlenmiştir ve başarı oranı %77.78 olarak hesaplanmıştır (Şekil 4). Sonuçlar 2 boyuta indirgenerek görselleştirilmiştir.



Şekil 5. P300 özellikleri kullanılarak k=2 için kümeleme sonucu



Şekil 6. P300 özelliklerine ek olarak N200 özellikleri dâhil edilmiş k=2 için kümeleme sonuçları

[21], [22], [24], [25] referansları incelendiği zaman P300 ve N200 arasında güçlü bir ilişki olduğu ve görsel uyarılar incelemelerinde N200 dalgalarının P300 dalgası ile birlikte kullanılabilirliği önerilmiştir. Yapılan çalışmada görsel OİP sinyallerinde özellik olarak daha çok ele alınan P300 özelliklerine ek olarak N200 özelliklerinin de kullanılması sonucunda kümeleme başarı oranının arttığı gözlemlenmiş ve yapılan çalışma benzer çalışmalarda önerileri desteklemiştir. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kullanılarak çeşitli sınıflandırma yöntemleri uygulayarak ALS hastalığının sınıflandırılması planlanmaktadır.

## **Kaynakça**

- [1] Oliveira, A. S. B., & Pereira, R. D. B. (2009). Amyotrophic lateral sclerosis (ALS): three letters that change the people's life. For ever. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 67(3A), 750-782.
- [2] Irak, M., & Karakaş, S. (2000). Dikkatin beynin nöroelektrik tepkilerine etkisi. *Psikiyat. Psikol. Psikofarmakol. Derg.* 8(3), 182-197.
- [3] Smith, R. C. (2004). Electroencephalograph based brain computer interfaces (Doctoral dissertation, University College Dublin).
- [4] Teplan, M. (2002). Fundamentals of EEG measurement. *Measurement science review*, 2(2), 1-11.
- [5] Ceylan, M.E. (2002) Araştırma ve Klinik Uygulamada Biyolojik Psikiyatri Şizofreni, 1.cilt, 2. baskı, İstanbul 347-350
- [6] Coles, M. G., Smid, H. G., Scheffers, M. K., & Otten, L. J. (1995). Mental chronometry and the study of human information processing.
- [7] Sutton, S., Braren, M., Zubin, J., & John, E. R. (1965). Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty. *Science*, 150(3700), 1187-1188.
- [8] Dennis, T. A., & Chen, C. C. (2007). Neurophysiological mechanisms in the emotional modulation of attention: the interplay between threat sensitivity and attentional control. *Biological psychology*, 76(1-2), 1-10.
- [9] Güven, A., Dolu, N., Batbat, T., & Demir, M. (2015). Farklı Dikkat Durumlarının Uyarılmış Potansiyeller Üzerine Etkisinin P100 Dalgası ile Analizi Analysis of the Effect of Different Attention Types on Evoked Potentials by P100 Wave. *Tıptekno'15*, 15(18), 197-200.
- [10] Batbat, T., Güven, A., Dolu, N., & Demir, M. Farklı Dikkat Tiplerinin Uyarılmış Potansiyeller İle Sınıflandırılması Classification of Different Attention Types With Evoked Potentials. *Tıptekno2016*, ss.106-109
- [11] Güven, A., Dolu, N., Batbat, T., & Demir, M. (2015). İşitsel ve görsel uyaranların bölünmüş dikkate etkisinin P300 dalgası ile analizi. *Ulusal Fizyoloji Kongresi, Çanakkale*.
- [12] Chang, C. F., Liang, W. K., Lai, C. L., Hung, D. L., & Juan, C. H. (2016). Theta oscillation reveals the temporal involvement of different attentional networks in contingent reorienting. *Frontiers in human neuroscience*, 10, 264.
- [13] Rupom, A. I., & Patwary, A. B. (2019, February). P300 Speller Based ALS Detection Using Daubechies Wavelet Transform in Electroencephalograph. In 2019 International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE) (pp. 1-5). IEEE.
- [14] BNCI Horizon 2020 website. [Online]. Available: <http://bnci-horizon2020.eu/database/data-sets>
- [15] Jurcak, V., Tsuzuki, D., & Dan, I. (2007). 10/20, 10/10, and 10/5 systems revisited: their validity as relative head-surface-based positioning systems. *Neuroimage*, 34(4), 1600-1611.
- [16] Aricò, P., Aloise, F., Schettini, F., Salinari, S., Mattia, D., & Cincotti, F. (2014). Influence of P300 latency jitter on event related potential-based brain-computer interface performance. *Journal of neural engineering*, 11(3), 035008.
- [17] Riccio, A., Simione, L., Schettini, F., Pizzimenti, A., Inghilleri, M., Olivetti Belardinelli, M., & Cincotti, F. (2013). Attention and P300-based BCI performance in people with amyotrophic lateral sclerosis. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 732.
- [18] Schalk, G., McFarland, D. J., Hinterberger, T., Birbaumer, N., & Wolpaw, J. R. (2004). BCI2000: a general-purpose brain-computer interface (BCI) system. *IEEE Transactions on biomedical engineering*, 51(6), 1034-1043.
- [19] Farwell, L. A., & Donchin, E. (1988). Talking off the top of your head: toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 70(6), 510-523.
- [20] San Martin, R., & Huettel, S. A. (2013). Cognitive functions as revealed by imaging of the human brain. *Neuroscience in the 21st century*, 2213-2238.
- [21] Jin, J., Sellers, E. W., Zhou, S., Zhang, Y., Wang, X., & Cichocki, A. (2015). A P300 brain-computer interface based on a modification of the mismatch negativity paradigm. *International journal of neural systems*, 25(03), 1550011.
- [22] Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: a review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- [23] Xu, R., & Wunsch, D. (2005). Survey of clustering algorithms. *IEEE Transactions on neural networks*, 16(3), 645-678.
- [24] Karagöz, M., Alkaç, Ü.İ., Ergen, N., Eradamlar, N., & Alpkan, I. (2005). Majör Depresyonda Elektrofizyolojik (P300) Yöntemler. *Düşünen Adam*, (18), 120-128.
- [25] Riccio, A., Schettini, F., Simione, L., Pizzimenti, A., Inghilleri, M., Olivetti-Belardinelli, M., Mattia, D. & Cincotti, F. (2018). On the Relationship Between Attention Processing and P300-Based Brain Computer Interface Control in Amyotrophic Lateral Sclerosis. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 165.



# An Interface Circuit for Energy Transducers\*

Rıdvan Umaz<sup>1†</sup>

<sup>1</sup> Bitlis Eren Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü, Bitlis, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3733-2327)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf31)

**ATIF/REFERENCE:** Umaz, R. (2020). An Interface Circuit for Energy Transducers. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 245-250.

## Abstract

This paper presents an efficient self-startup interface circuit for ambient energy sources. The proposed circuit consists of a charge pump, a boost converter, a charge transfer control circuit and some passive components. The charge pump boosts the low voltage at the output of the energy source to store the charge into a super capacitor. Once enough charge is stored into the super capacitor, the charge transfer control circuit has been active (i.e. being on) to bridge the super capacitor to the boost converter. Thus, the load receives power supply in a short period of time i.e., operates in the burst mode since the generated power at the energy source is lower than the power required by the load. The boost converter is used for providing a constant voltage level (e.g. 3.3 V) to the load. The proposed circuit has been evaluated using off-the-shelf components and connects to emulate the energy source. A voltage source in series with a resistor can be modeled to emulate the energy source. The proposed circuit can start the operation as low as 0.3 V input voltage and up-convert to 3.3 V. The proposed interface circuit has been tested for various loads in order to indicate the effectiveness of the circuit. The proposed circuit has a peak overall efficiency of 11.56 %, which is higher than the conventional interface circuit achieves. As compared to conventional interface circuit, the proposed circuit enhances the efficiency by 1.8 X. The measured results indicate that the proposed circuit achieves a high efficiency without the need of external supply.

**Keywords:** Energy harvesting, Boost converter, Charge pump.

## Enerji Dönüştürücüler için Ara Devresi

### Öz

Bu makale, ortam enerji kaynakları için kendiliğinde başlayan bir ara devresi sunmaktadır. Önerilen devre bir voltaj katlayıcı, bir boost dönüştürücü, bir yük aktarım kontrol devresi ve bazı pasif devre elemanlarından oluşur. Voltaj katlayıcı, enerji kaynağının çıkışındaki düşük voltajı artırarak, bir çift katmanlı kapasitörde saklar. Çift katmanlı kapasitöre yeterli elektriksel yük depolandıktan sonra, yük aktarım devresi aktif hale gelerek çift katmanlı kapasitör ile boost dönüştürücü arasında bir bağlantı kurar. Böylece, yüke kısa bir süreliğine güç sağlanır, yani enerji kaynağında üretilen güç, yükün gerektirdiği güçten daha düşük olduğu için yük burst modda çalışır. Boost dönüştürücü, yüke sabit bir voltaj seviyesi (örneğin 3.3 V) sağlamak için kullanılır. Önerilen devre, piyasadaki hazır cipler kullanılarak test edildi ve taklit edilen enerji kaynağına bağlandı. Enerji kaynağını taklit etmek için bir voltaj kaynağına seri bir direnç bağlanarak modellenilebilir. Önerilen devre, en az 0.3 V giriş voltajında çalışmaya başlatılabilir ve 3.3 V'a yükseltebilir. Önerilen ara devresinin etkin bir şekilde çalıştığını göstermek için çeşitli yükler altında test edilmiştir. Önerilen ara devre, %11.56'lık bir verime sahiptir ve bu verim, önceki çalışmadaki ara devrenin veriminden daha yüksektir. Önceki çalışmadaki ara devresi ile karşılaştırıldığında, önerilen devre verimi 1.8 kat artırır. Ölçülen sonuçlar, önerilen devrenin harici beslemeye ihtiyaç duymadan yüksek bir verim elde ettiğini gösterir.

**Anahtar Kelimeler:** Enerji hasadı, Boost dönüştürücü, Voltaj katlayıcı.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Bitlis Eren University, Faculty of Engineering, Department of Electrical Electronics Engineering, Turkey, ORCID: 0000-0003-3733-2327, rumaz@beu.edu.tr

## 1. Introduction

There are many electronic devices (e.g. sensors) utilized in the environment in order to increase awareness on protecting and controlling the environment. The most deployed energy sources for these applications are batteries. However, there are some issues related to batteries utilized for these applications; limited life time, so required frequent replacement. The realization of power supply for these applications is a critical issue that essentially confronts to achieve the performance and usability. Therefore, power supply for these applications should be placed around them and self-sustainable. As a result, energy harvesting with ambient sources is a promising alternative energy sources.

Various types of ambient energy sources have been introduced such as photovoltaic cells, thermoelectric generators (TEGs), piezoelectric, radio frequency (RF), microbial fuel cells (MFCs). However, these energy sources generate low voltage and power at their outputs which are insufficient to provide power supply for applications. Therefore, there is a need for boosting the low voltage at the output of the energy source to a voltage level demanded by the load. Also, the energy produced by the energy source should be accumulated over time into a temporary storage element and periodically transported to the load i.e. burst mode operation for the load. These can be achieved by an interface circuit that bridges between the energy source and the load.

Prior work (Wang, 2013) proposed an interface circuit for thermoelectric generator, but it has low efficiency. Thus, there is a need for an efficient interface circuit for ambient energy sources.

This paper presents an efficient self-sustainable interface circuit for energy transducers. The proposed circuit has been evaluated with off-the-shelf components including a charge pump, a boost converter, a charge transfer control circuit and some passive components. Experimental results indicate that the proposed circuit accomplishes the peak end-to-end efficiency of 11.56%. The circuit starts the operation as low as 0.3V, and provides the voltage of 3.3V at the output.

## 2. Material and Methods

### 2.1. Prior Work

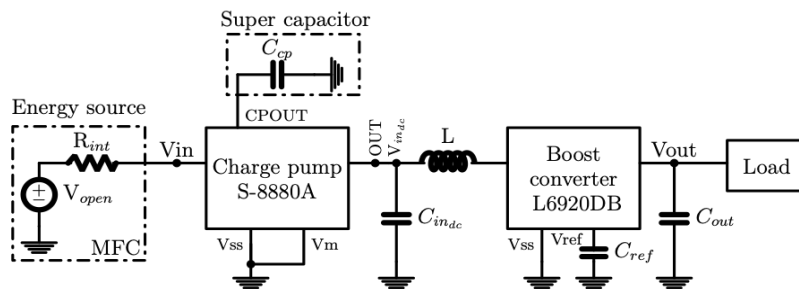


Fig. 1 Conventional interface circuit.

The existing energy harvesting circuit with thermoelectric generator has been introduced in (Wang, 2013). The circuit consists of a charge pump, two boost converters and some passive components. The charge pump (S-8880A manufactured by Ablic Inc.) is directly connected to the energy source, and its output is directly connected to the one of boost converters. The connection of the charge pump to the boost converter through the output of the charge pump causes efficiency degradation due to large energy dissipation at circuitry placed inside of the charge pump output.

In order to emulate the existing work and compare with the proposed circuit, a conventional circuit is shown in Fig. 1. This circuit is exactly similar to the prior work (Wang, 2013), but has a dissimilarity such as the connected boost converter. Nevertheless, this conventional circuit is good at showing the efficiency degradation once the output of the charge pump directly connects to a boost converter.

Once the supercapacitor starts discharging through the out pin of the charge pump (see Fig. 1), the stored energy at the supercapacitor is transferred to the boost converter, as shown in Fig. 2. It can be seen that the supercapacitor is discharging when  $R_M$  PMOS transistor turns on. Thus, there is a conduction loss on the PMOS transistor. The discharge control switch ( $R_M$  PMOS transistor) resistance is typically  $30\Omega$  (ABLIC Inc.), which causes a large power dissipation at the overall circuit. The resistance should be small in order to minimize the efficiency degradation.



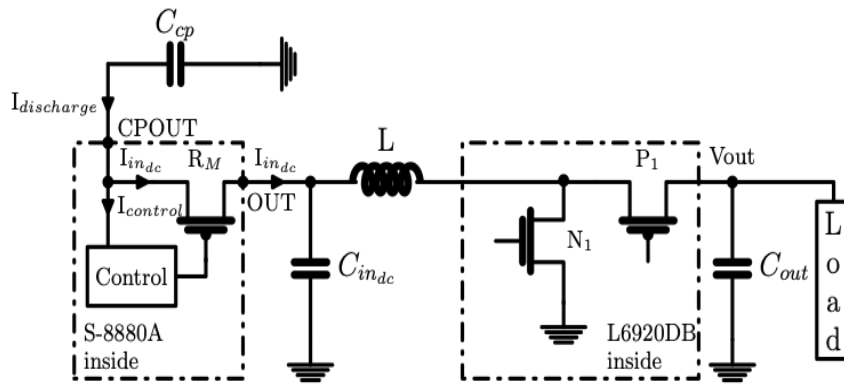


Fig. 2 The supercapacitor discharging scenario for conventional interface circuit.

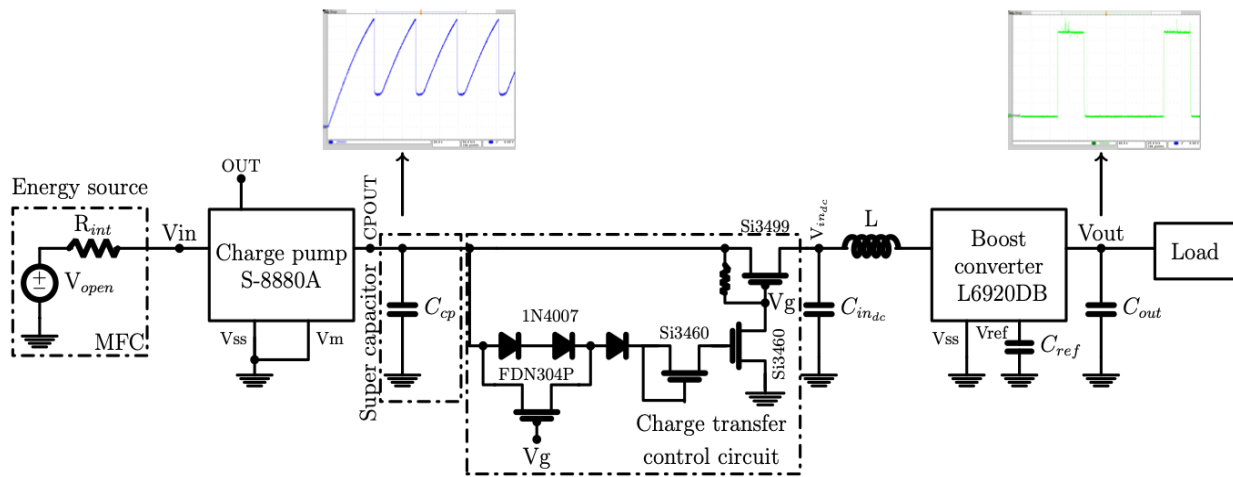


Fig. 3 The proposed interface circuit.

## 2.2. Proposed Interface Circuit

Fig. 3 shows the circuit implementation of the proposed interface circuit that consists of a charge pump, a charge transfer control circuit and a boost converter. The charge transfer control circuit is used for managing the stored energy at the super capacitor and providing power supply to the load. Unlike the conventional circuit, the proposed circuit achieves the charge transfer to the load through the boost converter by adding the charge transfer control circuit that bridges between the super capacitor and the boost converter. This scheme leads the discharging of the super capacitor through a small resistance discharge control switch (Si3499DV manufactured by Vishay semiconductor) whose resistance is  $36\text{m}\Omega$  (Vishay Siliconix). However, the resistance of the discharge control switch in the conventional interface circuit has a value of  $30\Omega$  (ABLIC Inc.), which is 833x greater than the proposed circuit has. The discharging scenario for the proposed circuit is shown in Fig. 4.

Due to low resistance value at the charge transfer control circuit, the power dissipation at the switch will be small. This results in increasing in the overall efficiency.

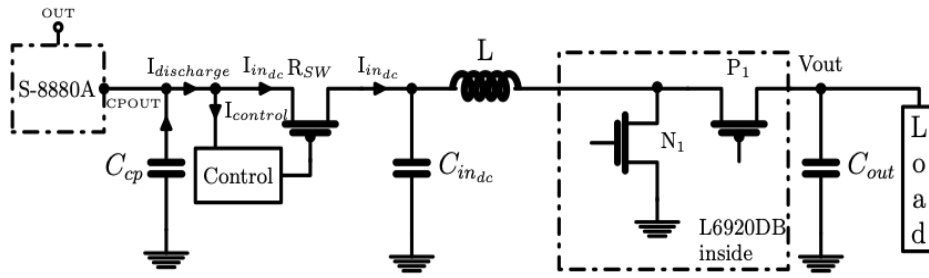
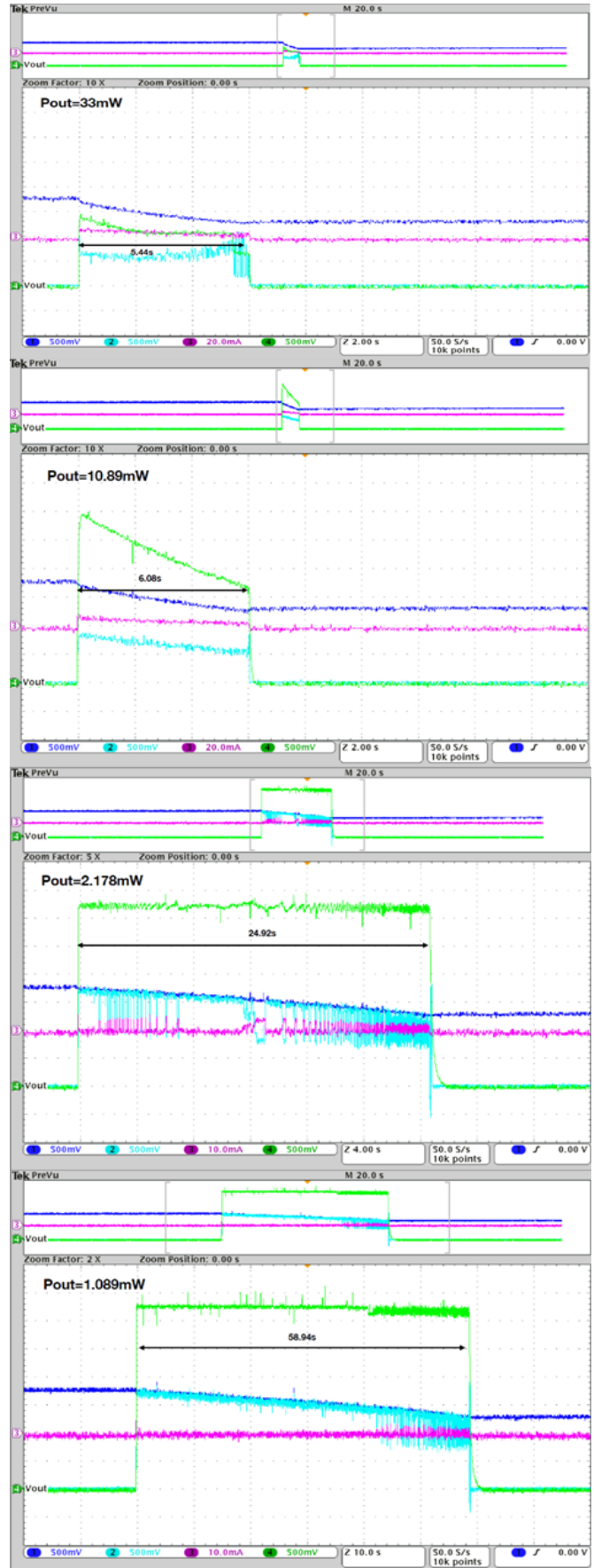
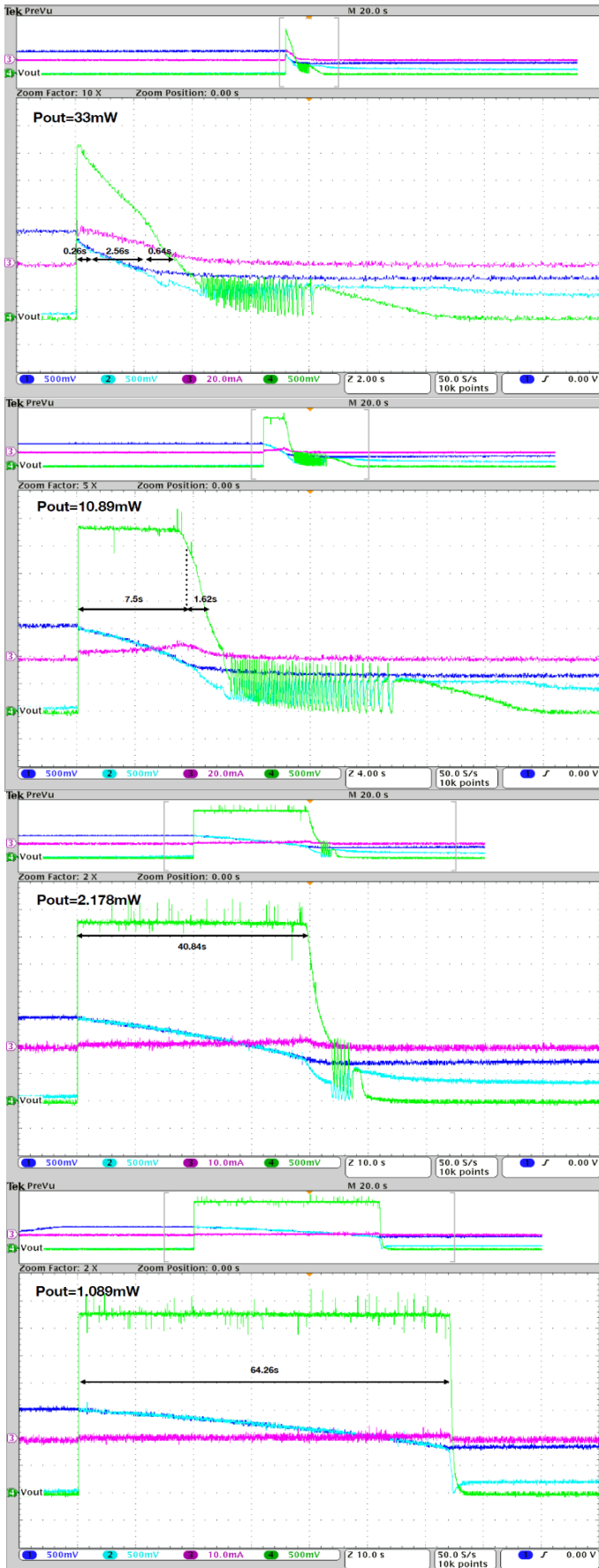


Fig. 4 The supercapacitor discharging scenario for the proposed interface circuit.

### 3. Results and Discussion

To evaluate the proposed and the conventional interface circuits, test circuits deployed discrete components were constructed. These circuits are connected to an energy source which is emulated as a voltage source ( $V_{open}$ ) of 800 mV in series with a resistor ( $R_{int}$ ) of 100  $\Omega$ . The parameters are used in the circuits as follow: a 235mF supercapacitor, a 1mH inductor, a 470 $\mu$ F input capacitor  $C_{indc}$  and a 47 $\mu$ F output capacitor  $C_{out}$ .

Fig. 5 shows voltage waveforms for the output voltage of the circuit  $V_{out}$ , the input voltage of the boost converter  $V_{indc}$  and the voltage at node CPOUT. It can be seen that the proposed interface circuit can up-convert the output voltage to above 3V for load ranging from 1.089mW to 33mW while the conventional circuit can boost to below 3V for some load ranging (e.g., 33mW and 10.89mW). Also, time duration for the load being active (i.e., the load receives power supply) is variable for two circuits; the proposed circuit has a longer time to keep the load receiving power supply. This is because the power dissipation at the discharge control switch in the proposed circuit is minimized by deploying the charge transfer control circuit.



Conventional

Fig. 5 Voltage waveforms at  $V_{out}$  (green color),  $V_{indc}$  (turquoise color) and  $CPOUT$  (blue color).

The end-to-end efficiency for these circuit is expressed as

$$\eta_{end} = \frac{P_{out} \times t_{discharge}}{P_{max} \times t_{charge}} \quad (1)$$

where  $P_{out}$  is the power obtained at the output of the circuit.  $t_{discharge}$  is the time duration that load receives power supply.  $t_{charge}$  is the time period between two power cycles received by the load.  $P_{max}$  is the maximum power available from the energy source which is given by

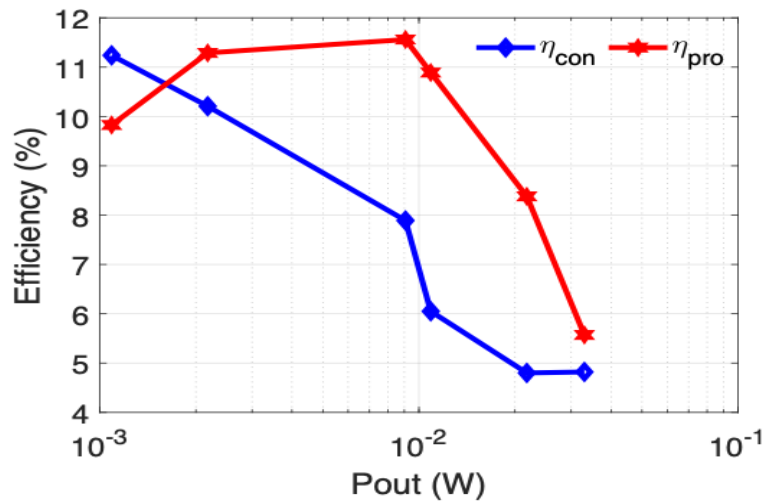
$$P_{max} = \frac{V_{open}^2}{4 \times R_{int}} \quad (2)$$

The end-to-end efficiencies for the conventional ( $\eta_{con}$ ) and the proposed ( $\eta_{pro}$ ) interface circuits under various loads are shown in Fig. 6. The peak end-to-end efficiency of the proposed circuit is 11.56%. It can be seen that the proposed circuit generally has higher efficiencies than the conventional circuit has. With the proposed circuit, the efficiency is improved by 1.8x.

Fig. 6 Measured end-to-end efficiencies for circuits under various loads.

#### 4. Conclusion

This paper presents an interface circuit for energy sources. It consists of a charge pump, a charge transfer control circuit and a boost converter. A test circuit is constructed by using off-the-shelf components. Measured results show that the proposed interface



circuit is superior to the conventional circuit in terms of power dissipation and efficiency. The proposed circuit achieves a peak end-to-end efficiency of 11.56%. The proposed circuit needs the input voltage as low as 0.3V, and can step-up to 3.3V.

#### REFERENCES

Wang, W., Cionca, V., Wang, N., Hayes, M., O’Flynn, B., & O’Mathuna, C. (2013). Thermoelectric energy harvesting for building energy management wireless sensor networks. *International Journal Distributed Sensors Networks*.

ABLIC Inc., Energy harvesting powered by ultra-low power and ultra-low voltage operation boost charge pump for step-up dc-dc converter startup, S-8880A Datasheet, 2018.

Vishay Siliconix, P-Channel 1.5V (G-S) MOSFET, Datasheet, 2011.



# Hatalar ile Öğrenme Tabanlı Anahtar Kapsülleme Protokolleri İçin Uygulama Atakları ve Savunma Yöntemleri\*

Bilge Kağan Yazar<sup>1\*\*</sup>, Erdem Alkım<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2149-142X)

<sup>2</sup> Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4638-2422)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf32)

**ATIF/REFERENCE:** Yazar, B. K. & Alkım, E. (2020). Hatalar ile Öğrenme Tabanlı Anahtar Kapsülleme Protokolleri İçin Uygulama Atakları ve Savunma Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 251-259.

## Öz

Şifreleme sistemleri gizli değerlerin korunmasını sağlamakta olan sistemlerdir. Bu sistemlere karşı son yıllarda kuantum bilgisayarlar üzerinde çok sayıda araştırmalar yapılmaktadır. Yeterli işlem kapasitesine sahip kuantum bilgisayarlar üretildiğinde günümüzde kullanılmakta olan açık anahtarlı şifreleme sistemlerinin güvensiz duruma geleceği düşünülmektedir. Bu durum internet üzerindeki haberleşmenin güvenliğini tehlikeye atmaktadır. Bu durumdan dolayı, kuantum bilgisayarlara karşı güvenli sistemlerin oluşturulması için kuantum bilgisayarların günlük hayata girmesinin beklenmemesi gerektiği düşünülmektedir. NIST bu doğrultuda hem günümüz hem de kuantum bilgisayarlardan gelecek ataklara karşı dayanıklı kriptosistemlerin üretilmesi için bir standartlaştırma projesi başlatmıştır. Bu süreçte birçok sistem önerilmiştir. Kafes tabanlı sistemler en çok gelecek vadeden sistemler olarak ön plana çıkmıştır. Kafes tabanlı kriptosistemler kafes yapısı üzerinde tanımlı olan LWE gibi problemlerin çözümlerinin zorluğuna dayanarak önerilmiş olan sistemlerdir. Fakat yan kanal saldırıları ile kriptografik sistemler çalışırken çıkan bilgiler toplanarak gizli anahtar hakkında bilgi edinilebilmektedir. Bu durumdan dolayı NIST kuantum bilgisayarlara karşı dayanıklı şifreleme sistemleri için yaptığı çağrının yanı sıra, yapılacak sistemlerin minimum maliyetle yan kanal saldırılarına karşı dayanıklı olmasını gerektiğini söylemiştir. 2016 yılında Bindel ve arkadaşlarının yaptıkları bir çalışmada uygulama atağı olarak sınıflandırılan ve bir yan kanal saldırı çeşidi olan hata ataklarını önermişlerdir. 2018 yılında Han ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, 2016 yılında önerilen yöntemleri kullanarak Lizard protokolünde gizli anahtar elde edebildiklerini söylemişlerdir ve bu ataklara karşı alınabilecek önlemlerden bahsetmişlerdir. Bu çalışmada; önceden yapılan çalışmalarda önerilenler ve kriptosistemlerin uygulamalarında olması gereken özellikler doğrultusunda Lizard protokolünün uygulaması üzerinde yapılan değişikliklerden ve bu değişikliklerin uygulama üzerindeki etkilerinden bahsedilmiştir. Protokolün uygulamasının güvenliği artırılmış ve gerçekleştirilen bazı hata ataklarına karşı önlem alınmıştır. Yapılan değişikliklerden sonra protokolün çalışma süresinde hızlanma olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kuantum Sonrası Kriptografi, Kafes Tabanlı Kriptografi, Hatalar ile Öğrenme, Yan Kanal Saldırıları, Hata Atakları.

## Implementation Attacks and Their Countermeasures For Learning With Errors Based Key Encapsulation Mechanisms

### Abstract

Encryption systems are built to protect shared secrets. Recently, several research projects conducted on the usability of quantum computers on the cryptanalysis of those systems. The general understanding is that the current public-key encryption systems can be broken when quantum computers with sufficient processing capacity produced. Because this endangers the security of the communication on the internet, NIST has started a standardization project to produce cryptosystems resistant to attacks from both classical and quantum computers. Many systems have been proposed in this project. Lattice-based systems, which are based on the

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye, ORCID: 0000-0003-2149-142X, [bilgekaganyazar@gmail.com](mailto:bilgekaganyazar@gmail.com)



difficulty of solving problems such as LWE defined on the lattices, have developed great attention as the most promising systems. However, information about the secret key can be obtained by collecting the side-channel information obtained during cryptographic systems are working. For this reason, NIST commented that proposals to its call for encryption systems that are resistant to quantum computers should require a small cost to make them resistant to side-channel attacks if they are not resistant by design. In 2016, Bindel et al. have proposed fault attacks targeting lattice-based schemes, which are classified as implementation attacks, and a type of side-channel attacks. In 2018, Han et al. showed that they were able to obtain the secret key in the Lizard protocol using the methods proposed in 2016 and proposed some countermeasures to prevent such attacks. In this study; the implementation of the Lizard protocol changed and the effects of these changes on the implementation are discussed with regards to the features suggested in the previous studies and the features that the cryptosystems should have. Not only the implementation security of the protocol has been increased and some countermeasures proposed to prevent fault attacks but also it was observed that the protocol's performance accelerated.

**Keywords:** Post-quantum Cryptography, Lattice-based Cryptography, Learning With Errors, Side-channel Attacks, Fault Attacks

## 1. Giriş

Günümüzde internet ortamında güvenli ve düzgün veri iletişimi için açık anahtarlı şifreleme sistemleri kullanılmaktadır. Kullanılan bu sistemlerin güvenliklerinin birçoğu çarpanlara ayırma ve ayrık logaritma problemlerinin zorluklarına dayanmaktadır. En çok bilinen açık anahtarlı şifreleme sistemlerinden birisi olan RSA sisteminde anahtar boyutu 2048-bit seçildiğinde, günümüz bilgisayarlarında bu boyutta bir şifreyi çözebilecek işlem gücü bulunmadığı düşünülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere; günümüz bilgisayarlarına karşı şu anda kullanılan açık anahtarlı şifreleme sistemleri güvenliği sağlayabilmektedir.

Son yıllarda klasik bilgisayarlara göre çözülmesi çok zor olan bu problemleri çözmek için kuantum fiziğini temel alan bilgisayarlar üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Yeterli işlem kapasitesine sahip kuantum bilgisayarlar üretildiğinde günümüzde kullanılmakta olan açık anahtarlı şifreleme sistemlerinin temelinde bulunan birçok zor problemin kolayca çözülebileceği düşünülmektedir (Bernstein, 2009; Chen vd, 2016). 1994 yılında Peter Shor yaptığı bir çalışmada; çarpanlara ayırma ve ayrık logaritma problemlerini kuantum bilgisayarlar ile birlikte polinom zamanda çözebilen bir algoritma önermiştir. Bu durum internet üzerindeki veri iletişiminin gizliliğini tehlikeye atan bir durumdur. Bundan dolayı NIST (Amerika Standartları ve Teknoloji Enstitüsü) hem günümüz bilgisayarlarından hem de kuantum bilgisayarlardan gelecek ataklara karşı dayanıklı açık anahtarlı şifreleme şemaları oluşturulması ve standart oluşturulabilmesi adına bir proje başlatmıştır. Önerilen sistemler doğrultusunda kuantum bilgisayarlar günlük hayata tamamen girmeden önlem alınması amaçlanmaktadır.

Kuantum sonrası kriptografi standartlaştırma (PQCStandardization) projesi toplamda 5 yıllık bir süreç olarak belirlenmiştir ve şuanda ikinci tur incelemeleri devam etmektedir. İlk turda 82 tane sistem önerilmiştir ve bunlardan 26 tanesi ikinci tura geçmiştir (Computer Security Division, 2017). Bu süreçte kafes tabanlı sistemler ön plana çıkmıştır ve önerilen sistemlerin çoğu kafes tabanlı sistemlerdir. Kafes tabanlı sistemler; kafes yapısı üzerinde tanımlanmış olan en kısa vektör problemi (Shortest Vector Problem – SVP), en yakın vektör problemi (Closest Vector Problem – CVP), hatalar ile öğrenme (Learning With Errors – LWE), gibi problemlerin çözümlerinin zorluklarını temel almakta olan sistemlerdir.

2005 yılında Oded Regev LWE problemini ve bu problemi temel alan bir açık anahtarlı şifreleme sistemi önermiştir ve bu problemin en kötü durumdaki kafes problemleri kadar zor olduğunu göstermiştir (Regev, 2005). Devamında LWE problemi birçok kafes tabanlı kriptosistemin oluşturulmasında temel olmuştur. 2011 yılında Lindner ve Peikert tarafından yapılan bir çalışmada, LWE problemi içerisinde dikdörtgen şeklinde matrisler yerine kare matris kullanmak gibi bazı değişiklikler yapılarak daha verimli bir şifreleme sistemi önerilmiştir (Lindner ve Peikert, 2011).

2011 yılında Banerjee ve arkadaşları tarafından LWE problemine farklı bir bakış açısı olarak yuvarlayarak öğrenme (Learning With Rounding – LWR) problemi önerilmiştir. Bu problem LWE probleminin rastgele olmayan bir versiyonudur (Banerjee vd, 2011). Düzgün parametreler ile kullanıldığında en az LWE problemi kadar zor bir problem olduğu düşünülmektedir (Banerjee vd, 2011). LWR problemi ile LWE problemine göre daha hızlı şifreleme yapılabilir.

Çalışmanın ana konusunu oluşturan, LWE ve LWR problemlerini temel alan ve standart kafesleri kullanan açık kaynaklı Lizard protokolü Cheon ve arkadaşları tarafından 2018 yılında önerilmiştir. Bunlara ek olarak standart kafesleri ve LWE problemini kullanan FrodoKEM (Naehrig vd, 2017), Emblem (Seo vd, 2017), Lotus (Le Trieu Phong vd, 2017) protokolleri ve LWE tabanlı bir imzalama şeması olan BLISS (Ducas vd, 2013) gibi sistemler literatürde yer almaktadır.

Şifreleme sistemleri gizli anahtar, düz metnin veya şifre metnin saldırgan tarafından bilindiği durumlarda, saldırgandan korumakta olan sistemlerdir. Fakat yan kanal saldırıları (uygulama saldırıları) ile, kriptografik sistemler çalışırken sızan bilgiler toplanarak gizli anahtar hakkında bilgi edinilebilir (Taha ve Eisenbarth, 2015). Bu durumdan dolayı yan kanal saldırılarına dayanıklı şifreleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. NIST standartlaştırma projesi için belirttiği kriterlerde; oluşturulacak sistemlerin minimum maliyetle yan kanal saldırılarına karşı dayanıklı olmaları gerektiğini belirtmiştir.

2016 yılında Bindel ve arkadaşları kafes tabanlı imzalama protokollerinin bazılarının uygulamaları üzerinde yaptıkları bir çalışmada; bir uygulama saldırısı çeşidi olan hata atakları (Fault Attack) yöntemlerinden bahsetmişlerdir. Bindel ve arkadaşları bu çalışmada kafes tabanlı imzalama protokolleri olan BLISS, ring-TESLA, GLP ve bu protokollerin uygulamalarındaki zayıflıkları incelemişlerdir. Bu incelemeler doğrultusunda bu saldırılara karşı alınabilecek önlemlerden bahsetmişlerdir. Devamında 2018 yılında Han ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada; Lizard protokolüne bu hata ataklarını uygulamışlardır ve gizli anahtar elde ettiklerini söylemişlerdir. Bu doğrultuda protokolün uygulaması üzerinde yazılımsal değişiklikler ile birlikte alınabilecek bazı önlemler önermişlerdir.

(Bindel vd, 2016), (Han vd, 2018) çalışmalarından yararlanılarak ve kriptografik protokollerin uygulamalarında olması gereken özellikler doğrultusunda, bu çalışmada Lizard protokolünün güvenliğinin ve verimliliğinin artırılabilmesi için uygulamadaki bazı eksiklikler giderilmeye çalışılmıştır. Bu eksiklikler giderilirken LWE problemini kullanan farklı protokollerde kullanılan yöntemler incelenmiştir (çoğunlukla FrodoKEM). Lizard protokolünün uygulaması üzerinde hata ataklarına karşı olan güvenliği ve uygulamanın genel verimliliğini artırmak için yapılan değişikliklerden bahsedilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Hatalar İle Öğrenme (LWE)

LWE problemi kafes yapısı üzerinde tanımlanmış olan kuantum bilgisayarlarla bile çözülemeyeceği düşünülen problemlerden bir tanesidir. 2005 yılında Oded Regev tarafından önerilmiştir ve devamında bu problemi temel alan birçok kriptografik sistem önerilmiştir. LWE problemini kuantum sonrası algoritmalar dâhil olmak üzere şuan için polinom zamanda çözebilen bir algoritmanın olmadığı düşünülmektedir.

Gizli bir  $s \in \mathbb{Z}_q^n$ ,  $A_{s,\chi} \in \mathbb{Z}_q^n \times \mathbb{Z}_q^n$ ; rastgele olarak seçilen bir  $a \in \mathbb{Z}_q^n$  vektörü ile elde edilen olasılık dağılımı,  $\chi$  değerine göre elde edilen hata değeri  $e \in \mathbb{Z}_q^n$ , çıktı olarak  $(a, \langle a, s \rangle + e) \bmod q$  olsun.

Arama – LWE problemi; elimizdeki  $A_{s,\chi}$  dağılımından elde edilen  $m$  tane  $a_i, b_i \in \mathbb{Z}_q^n \times \mathbb{Z}_q$  ve rastgele olarak üretilmiş  $s \in \mathbb{Z}_q^n$  değerleri ( $s$  her örnek için sabit) üzerinden  $s$  değerini bulma problemidir (Peikert, 2016).

Karar Verme – LWE problemi; elimizde  $A_{s,\chi}$  dağılımından elde edilen  $m$  tane  $a_i, b_i \in \mathbb{Z}_q^n \times \mathbb{Z}_q$  ve rastgele olarak üretilmiş  $s \in \mathbb{Z}_q^n$  değerleri (bütün örnekler için sabit) olsun. Üretilen LWE örnekleri ile rastgele olan değerleri birbirinden ayırma problemidir (Peikert, 2016).

Yeterince büyük bir  $q$  değeri ile Arama – LWE problemi en az CVP problemi kadar zor bir problemidir.

### 2.2. Yuvarlayarak Öğrenme (LWR)

LWE probleminin rastgele olmayan şekli olan LWR problemi Banerjee ve arkadaşları tarafından 2011 yılında önerilmiştir. Burada rastgele olmayan ile anlatılmak istenen; problem içerisindeki hata değerinin rastgele olmayışıdır.

Gizli bir  $s \in \mathbb{Z}_q^n$ ,  $A_{s,\chi} \in \mathbb{Z}_q^n \times \mathbb{Z}_q^n$ ; rastgele olarak seçilen bir  $a \in \mathbb{Z}_q^n$  vektörü ile elde edilen olasılık dağılımı, çıktı olarak  $(a, \left\lfloor \frac{p}{q} \cdot (\langle a, s \rangle \bmod q) \right\rfloor)$  olsun.  $\lfloor \cdot \rfloor$  işlemi en yakın tam sayıya yuvarlama işlemi temsil etmektedir.

LWR probleminin LWE problemi gibi iki çeşidi bulunmaktadır. Bunlar; Arama – LWR ve Karar Verme – LWR problemleridir. Tanımları LWE probleminin çeşitlerinin tanımları ile çok benzer olduğundan tekrar yapılmamıştır. Tek farklılık LWR örneklerinin üretimindedir.

Uygun parametreler ile kullanıldığı zaman ve örnek sayısı sınırlı olduğunda LWR problemi en az LWE problemi kadar zor bir problem olarak görülmektedir (Banerjee vd, 2011; Alwen vd, 2013).

### 2.3. Lizard

Lizard protokolü LWE ve LWR problemlerini birleştirerek kullanmakta olan bir açık anahtarlı şifreleme/kapsülleme protokolüdür (Cheon vd, 2018). Açık anahtar  $m$  tane  $n$  boyutlu LWE örneğinden ve  $n + \ell$  tane  $m$  boyutlu LWR örneğinden oluşmaktadır.  $\ell$  değeri burada düz metin vektörlerinin boyutunu ifade etmektedir. Protokolün genel yapısı şu şekildedir;

#### İklendirme

1.  $m, n, q, p, t$  ve  $\ell$  pozitif tamsayıları seçilir.
2. Gizli anahtar için  $D_s \in \mathbb{Z}^n$ , geçici gizli değer için  $D_r \in \mathbb{Z}^m$  dağılımları ve ayrık Gauss dağılımı ( $\chi_\sigma$ ) için  $\sigma$  değeri seçilir.
3. Çıktı olarak  $params \leftarrow (m, n, q, p, t, \ell, D_s, D_r, \sigma)$

#### Anahtar Üretimi (params)

1. Rastgele  $A \in \mathbb{Z}_q^{m \times n}$  matrisi üretilir.
2. Reddetme örnekleme ile gizli  $S = (s_1 \parallel \dots \parallel s_t) \in \mathbb{Z}^n$  matrisi  $D_s$  dağılımından bağımsız olarak üretilir.
3. Belirli bir dağılım tablosu üzerinden (Cumulative Distribution Table)  $E = (e_1 \parallel \dots \parallel e_t) \in \chi_q^{m \times t}$  hata matrisi üretilir.
4.  $B \leftarrow AS + E \in \mathbb{Z}_q^{m \times t}$  işlemi ile açık anahtarın bir parçası üretilir.
5. Açık anahtar  $pk \leftarrow (A \parallel B) \in \mathbb{Z}_q^{m \times (n+t)}$  ve gizli anahtar  $sk \leftarrow S \in \mathbb{Z}^{n \times t}$  çıktı olarak verilir.

#### Şifreleme (m)

1.  $m \in \mathbb{Z}_t^l$  düz metni için,  $r \in \mathbb{Z}^m$  şeklinde bir vektör  $D_r$  dağılımında seçilir.

2.  $c'_1 \leftarrow A^T r$  ve  $c'_2 \leftarrow B^T r$  vektörleri elde edilir.
3.  $c_1 \leftarrow \left[ \binom{p}{q} \cdot c'_1 \right] \in \mathbb{Z}_p^l$ ,  $c_2 \leftarrow \left[ \binom{p}{t} \cdot m + \binom{p}{q} \cdot c'_2 \right] \in \mathbb{Z}_p^l$  vektörleri hesaplanır.
4. Çıktı olarak  $c \leftarrow (c_1, c_2) \in \mathbb{Z}_p^{n+l}$  şifre metni verilir.

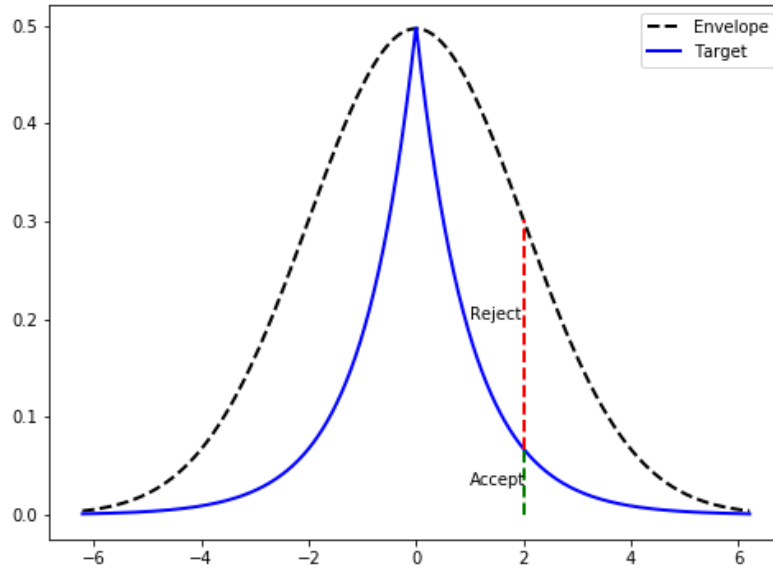
#### Şifre Çözme (c)

1. Şifre metinler ile  $m' \leftarrow \left[ \frac{t}{p} (c_2 - S^T c_1) \right]$  işlemi yapılır.
2.  $m$  ve  $m'$  değerleri eşit mi değil mi kontrol edilir.

Lizard protokolü LWE ve LWR problemlerinin çözümlerinin zor olduğu varsayımı ile kuantum sonrası için 128-bit ve IND-CPA güvenliği sağlamaktadır (Cheon vd, 2018).

### 2.4. Reddetme Örnekleme (Rejection Sampling)

Kafes tabanlı protokollerde ayrık Gauss dağılımı kullanılarak rastgele hata üretimi veya rastgele değerlerin üretilmesi işlemi yapılmaktadır. Reddetme örnekleme kafes tabanlı protokollerde hata örnekleme için önerilmiş olan ilk yöntemdir (Gentry vd, 2008). Bu yöntem ile bir olasılık dağılımı (f) verildiğinde isteğe bağlı bir hedef dağılım (g) üretilebilmektedir (Gentry vd, 2008; Howe vd, 2016). g dağılımından bir örnek  $f(x)/(M \cdot g(x))$  ( $M \in \mathbb{R}^+$ ) olasılığı ile  $f(x)/g(x)$  sınırı altında kabul edilebilir. Ayrık Gauss dağılımından örnek üretmek için reddetme örnekleme kullanılırken, düzgün bir rastgele değer x, rastgele bir değer  $\mu \in [0,1)$  seçilir ve  $\mu < f_\sigma(x)$  olup olmadığına bakılır (Howe vd, 2016). Eğer rastgele  $\mu$  değeri Gauss dağılımı eğrisinin altında ise örnek kabul (accept), eğrinin üstünde ise örnek reddedilir (reject). Bu yöntem kullanılırken, bir örnek kabul edilene kadar ortalama olarak  $2\tau/\sqrt{2\pi}$  deneme yapılmaktadır ( $\tau$  = kuyruk kesimi). Kabul edilecek değere ulaşana kadar çok fazla reddetme işlemi gerçekleştiğinden çok maliyetli bir yöntemdir. Uygulamalarda verimsiz olduğu için çok fazla tercih edilmeyen bir yöntemdir. Lizard protokolünde S matrisi üretilirken bu yöntem kullanılmaktadır. Ek olarak S matrisini ayrık Gauss dağılımı ile veya rastgele üretmek sistemin güvenliği üzerinde bir etki yaratmamaktadır (Peikert, 2016).



Şekil 1. Reddetme Örnekleme (Rejection Sampling Explained, 2018)

### 2.4. Hata Atakları (Fault Attack)

Hata atakları aktif uygulama saldırıları olarak sınıflandırılmaktadır (Taha ve Eisenbarth, 2015). Bir hata atağında, saldırgan taraf kriptografik sistemde kasıtlı olarak bir hata oluşturur ve bu hatanın sistemde oluşturduğu sonucu inceler (Farhady Ghalaty, 2016). Hata ataklarının amacı; sistemdeki gizli anahtarları açığa çıkarmak ve sistemin güvenliğini azaltmaktır (Farhady Ghalaty, 2016). Genel olarak hata atakları ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır fakat kafes tabanlı sistemler üzerinde bu atakların çok fazla uygulaması bulunmamaktadır. Bilindiği kadarıyla kafes tabanlı sistemler üzerinde yapılan hata atakları NTRU (Hoffstein vd, 2010) sistemi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kamal ve Youssef 2011 yılında NTRUEncrypt ve 2012 yılında NTRUSign protokolleri üzerinde hata atakları yöntemleri ile saldırı gerçekleştirmişlerdir.

2016 yılında Bindel ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada kafes tabanlı imzalama şemalarını inceleyerek, uygulamalar üzerinde gerçekleştirilebilecek üç tane hata atağı yöntemi önermişlerdir. Bu hatalar; rastgeleleştirme (randomization), atlama (skipping) ve sıfırlama (zeroing) hatalarıdır.

- Rastgeleleştirme Hatası: Bu yöntemde, uygulama içerisinde kullanılmakta olan bir değer rastgele olarak değiştirilir. Saldırgan değişkenin değerini bilmez fakat değişkenin hangi aralıkta olduğunu bilir ve bu açıktan yararlanır. Saldırgana bağlı olarak hata tüm değişkeni veya sadece bazı bytelar ile bitleri hedef alabilir (Bindel vd, 2016).
- Atlama Hatası: Program içerisinde seçilen kod satırlarının göz ardı edilmesi ile bu yöntem gerçekleştirilir (Bindel vd, 2016).
- Sıfırlama Hatası: Saldırgan program içerisindeki bir değer tamamını veya bir kısmını sıfır değeri ile değiştirerek saldırıyı yapmaktadır (Bindel vd, 2016).

## 2.5. Lizard Protokolü Üzerinde Gerçekleştirilen Hata Atakları

Han ve arkadaşları 2018 yılında yaptıkları bir çalışmada atlama ve sıfırlama hataları ile Lizard<sup>+</sup> protokolünde kullanılan gizli değerleri elde edebildiklerini, rastgeleleştirme hatası ile herhangi bir bilgi elde edemediklerini söylemişlerdir. Bu bölümde Lizard protokolüne Han ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmadaki bu ataklardan bahsedilmiştir. Sadece atlama ve sıfırlama hata ataklarından sonuç alınabildiği için bu ataklardan bahsedilmiştir. Rastgeleleştirme hata atağı ile herhangi bir sonuç alınmadığından bu kısımda bu ataktan bahsedilmemiştir.

Lizard protokolüne atlama hata atakları üç parça olarak uygulanmıştır. Bunlar; rastgele sayı üretimi, toplama işlemleri ve modüler indirgeme işlemleri üzerinde yapılmıştır. Yapılan atak whitebox atak modeli olarak varsayılmıştır. Bu yöntem saldırı tarafın birkaç gizli bilgi dışında her şeyi bildiği ve kaynak koda erişimi olduğu bir saldırı modelidir. Lizard protokolünün yapısı gereği S, E matrisleri ve r vektörü bilinmemektedir. Ancak bu elemanlar dışında bütün açık parametreler bilinmektedir.

Rastgele sayı üretimi kısmında rastgele A matrisi oluşturulması, E hata matrisi oluşturulması ve S gizli matrisinin oluşturulması aşamasında atlama hatası uygulanmıştır.

```
1 void gen_A_CPA() {
2     for (int i = 0; i < LWE_M; ++i) {
3         uint16_t* pk_Ai = pk_CPA.A + LWE_N * i;
4         for (int j = 0; j < LWE_N; ++j) {
5             pk_Ai[j] = rand() << _16_LOG_Q;
6         }
7     }
8 }
```

Şekil 2. Lizard protokolü rastgele A matrisi üretimi

Lizard protokolünde A matrisinin üretimi Şekil 2 de görülen kod bloğu ile yapılmaktadır. Bu kod bloğu içerisinde matrisin üretildiği 5. satır atlandığında, C programlama dili A matrisini otomatik olarak 0 değerine eşitlediğinden düz metin şifre metin üzerinden elde edilebilir hale gelmektedir (Han vd, 2018). Bu durum şu şekilde açıklanabilir; A matrisi 0 olduğunda  $c_1 \leftarrow A^T r$  işleminden dolayı  $c_1$  değeri 0 olmaktadır ve  $c_1 \leftarrow [(p/q) \cdot c_1]$  işlemi 0 sonucunu verdiği için düz metin direkt elde edilebilmektedir.

```
1 void gen_E_CPA() {
2     for (int i = 0; i < LWE_M; ++i) {
3         uint16_t* pk_Bi = pk_CPA.B + LWE_L * i;
4         for (int j = 0; j < LWE_L; ++j) {
5             pk_Bi[j] = SAMPLE_DG() << _16_LOG_Q;
6         }
7     }
8 }
```

Şekil 3. Lizard protokolü E hata matrisi üretimi

Lizard protokolünde E matrisinin üretimi Şekil 3 deki kod bloğu ile yapılmaktadır. Bu kod bloğu içerisinde 5. satır atlandığında Gauss elemesi yöntemi kullanılarak S matrisi kabul edilebilir bir zamanda elde edilebilmektedir. E matrisi üretimi atlandığında, matrisin değeri otomatik olarak 0 olduğundan LWE probleminden E matrisi çıkarılmış olmaktadır.  $S = A^{-1}B$  işlemi yapılarak gizli anahtar kolayca elde edilmektedir. Bu gizli bilgi kullanılarak düz metin şifre metin üzerinden elde edilebilmektedir (Han vd, 2018).

\* [https://github.com/LizardOpenSource/Lizard\\_c](https://github.com/LizardOpenSource/Lizard_c)

```

1 void gen_sk_CPA() {
2     for (int i = 0; i < LWE_L; ++i) {
3         uint16_t* sk_i = sk_CPA + LWE_N * i;
4         for (int j = 0; j < LWE_N; ++j) {
5             sk_i[j] = (rand() & 0x01) + (rand() & 0x01) - 1;
6         }
7     }
8 }

```

Şekil 4. Lizard protokolü gizli S matrisi (gizli anahtar) üretimi

Protokol içerisinde S matrisinin üretimi Şekil 4 de görülmektedir. Bu kod bloğu içerisinde 5. satır atlandığında, A matrisinin atlandığı zaman ortaya çıkan durumla aynı durum ortaya çıkmaktadır.  $m' \leftarrow [t/p(c_2 - S^T c_1)]$  işleminden dolayı düz metin şifre metin üzerinden direk elde edilebilmektedir (Han vd, 2018).

Lizard protokolünde 3 kısımda toplama işlemi yapılmaktadır. Bunlar; B matrisinin üretimi,  $c_2$  şifre metni üretimi ve  $m'$  düz metni üretimi aşamalarında yapılmaktadır. B matrisinin üretimi aşamasındaki toplama işlemi atlandığında  $m'$  düz metni direkt olarak elde edilebilmektedir (Han vd, 2018). Han ve arkadaşları şifreleme ve şifre çözüme kısımlarındaki toplama işlemleri üzerinde atlama hatası kullanılarak herhangi bir bilgi elde edilemediğini söylemişlerdir (Han vd, 2018).

Yukarıdaki kısımlarda bahsedildiği üzere; rastgele sayı üretimi kısmında atlama yapıldığında, C programlama dili oluşacak değeri 0'a eşitlediğinden bu kısımda atlama hatası ile sıfırlama hatası aynı durumda olmaktadır. Yani sıfırlama hata ataklarından elde edilen sonuçlar atlama hata ataklarından elde edilen sonuçlar ile aynıdır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Bu kısımda Lizard protokolünün verimliliğinin, güvenliğinin artırılması için ve hata analizi saldırılarına karşı olan güvenliği artırmak için uygulama üzerinde yapılan değişikliklerden ve elde edilen sonuçlardan bahsedilmiştir.

#### 3.1. Rastgele Sayı Üretimi İçin Yapılan Değişiklik

Lizard protokolünde yapılan ilk değişiklik rastgele sayı üretimi üzerinde yapılmıştır. Günümüzde kullanılmakta olan neredeyse bütün kriptosistemlerin güvenliğinin temelinde yüksek kalitede rastgele sayı üretimi işlemi bulunmaktadır (Hughes ve Nordholt, 2016). Bu rastgele sayılar uzun vadeli anahtar oluşturma, geçici anahtar oluşturma ve yan kanal saldırılarını önleme amacıyla kullanılmaktadır. Gerçek rastgele veriler entropi denilen belirsizliği ölçülebilir bir özelliğe sahiptir. Eğer kriptosistemlerde kullanılmakta olan rastgele sayılar gerçekten rastgele sayı değilse (entropisi düşükse), kriptosistemin güvenliği büyük ölçüde tehlikeye girmektedir.

Lizard protokolünde rastgele sayı üretimi için C programlama dilinin rastgele sayı üretici fonksiyonu olan rand() fonksiyonu kullanılmıştır. Fakat bu fonksiyon belirli sayıda çalıştırmadan sonra sürekli aynı çıktıyı üretmektedir. Bunun sebebi bu fonksiyonda kullanılan giriş verisinin (tohum, seed) sistem saati olmasıdır ve bu girdinin entropisinin düşük olmasıdır. Rastgele sayı üretirken belirli bir sayıya göre üretim yapmak güvenliği artırmaktadır. Fakat kullanılan bu sayı her saniye değişiyor olsa bile vereceği çıktı tahmin edilebilir olmaktadır (Eastlake vd, 2005). Bu durumdan dolayı rand() fonksiyonu kriptografik sistemlerde kullanılması önerilmemekte olan bir fonksiyondur.

Han ve arkadaşları yaptıkları çalışmada gerçek rastgelelik için kernelde bulunan dev/urandom fonksiyonunun kullanılmasını önermişlerdir. dev/urandom fonksiyonunun herhangi bir limiti yoktur ve bundan dolayı istenilen kadar byte çıktı vermektedir. Bu durum entropi havuzunun tekrar yenilenmesi için yeterli zamanı vermeden daha fazla byte gerektirdiğinden oluşacak rastgele sayılar kriptografik açıdan güçlü olacaktır. Ancak bu güvenlik seviyesi kriptografik sistemler için yeterli olmayabilmektedir.

Rastgele sayılar istendiğinde entropi havuzu içerisinden SHA (Secure Hash Algorithm) özeti alınarak elde edilebilmektedir. SHA özet değeri kriptografik açıdan güçlü olduğundan entropi havuzunun içeriğini göstermemektedir ve fonksiyona verilen girdiyi elde etmek için SHA çıktısını tersine çevirmek gerekmektedir. Bu durum hesaplama açısından mümkün olmayan bir durumdur. Bundan dolayı rastgele sayı üretimi için özet fonksiyon kullanılması, kriptografik sistemler açısından güvenliği büyük ölçüde artırmaktadır.

Bu incelemeler doğrultusunda protokol içerisindeki rand() fonksiyonları cSHAKE-128 fonksiyonu ile değiştirilmiştir. Ek olarak ayrık Gauss dağılımı ile örnek üretme aşamasında kullanılan rand() fonksiyonları uygulamadan çıkarılmıştır. Bu yapılanlar doğrultusunda, uygulama rastgele sayı üretimi açısından öncesine oranla çok daha güvenli hale gelmiştir.

Rastgele sayı üretimi aşamasındaki yapılan değişiklikler sonrasında, A matrisinin üretimi kısmında yapılan atlama hatası uygulanamaz duruma gelmiştir. Çünkü uygulamada A matrisinin üretimi atlandığı zaman derleme aşamasında program hata üretmektedir. Bu sayede atlama ataklarına kısmen de olsa önlem alınabilmektedir. S ve E matrisleri üzerinde yapılan atlama ataklarına karşı bir önlem alınamamıştır.



```

1 void gen_A_CPA() {
2     unsigned char seed_A[32] = { 0,1,2,3,4,5,6,7,0,1,2,3,4,5,6,7,
3     0,1,2,3,4,5,6,7,0,1,2,3,4,5,6,7 };
4     uint16_t* pk_Ai = pk_CPA.A;
5     cshake128_simple((uint8_t*)pk_Ai, 2 * LWE_M*LWE_N, 0, seed_A, 32);
6     for (int i = 0; i < LWE_M*LWE_N; ++i) {
7         pk_Ai[i] = pk_Ai[i] << _16_LOG_Q;
8     }

```

Şekil 5. Değiştirilmiş olan A matrisi üretimi kodları

### 3.2. Gizli Anahtar Üretim Fonksiyonunda Yapılan Değişiklik

Lizard protokolünde S matrisinin (gizli anahtar) üretimi Şekil 4 de gösterilen gen\_sk\_CPA() fonksiyonu ile yapılmaktadır. Bu üretim işleminde reddetme örnekleme yöntemi kullanılmaktadır. S matrisi üretilirken; değeri 0 veya 1 olan rastgele iki değer üretilmektedir. Devamında bu değerler toplanıp 1 çıkarılmaktadır. Bu şekilde bir üretim yapıldığında -1 ve 1 değerleri %25 ihtimalle, 0 değeri ise %50 ihtimalle seçilmektedir. Han ve arkadaşları yaptıkları çalışmada bir durumda tutarsız bir durum olduğunu ve saldırıların gizli anahtarları kolayca tahmin edebileceklerini söylemişlerdir (Han vd, 2018). Bu durumdan dolayı -1, 0, 1 değerlerinden oluşmakta olan S matrisinde, bütün değerlerin eşit şekilde seçilmesi (reddedilmesi) gerektiğini söylemişlerdir (Han vd, 2018). Bu öneri doğrultusunda Lizard protokolünün uygulamasında S matrisinin üretilmesi aşamasında kullanılan reddetme örnekleme yöntemi; -1, 0 ve 1 değerleri eşit (%33) ihtimaller ile seçilecek, diğer olası durumları reddedecek şekilde yeniden düzenlenmiştir. Bu sayede gizli anahtar üretimi kısmına gelebilecek ataklara önlem alınması amaçlanmıştır.

```

1 void gen_sk_CPA() {
2     int count = 0;
3     int count2 = 0;
4     unsigned char seed_A[32] = { 0,1,2,3,4,5,6,7,0,1,2,3,4,5,6,7,
5     0,1,2,3,4,5,6,7,0,1,2,3,4,5,6,7 };
6     uint16_t* sk_i = sk_CPA;
7     cshake128_simple((uint8_t*)sk_i, LWE_N*LWE_L * 2, 0, seed_A, 32);
8     SAMPLE_DG(sk_i, LWE_N*LWE_L);
9     for (int i = 0; i < LWE_N*LWE_L; i++) {
10        count = 0;
11        if ((sk_i[i] & 0x03) != 1) {
12            sk_i[i] = (sk_i[i] & 0x01) + ((sk_i[i] >> 1) & 0x01) - 1;
13        }
14        else if ((sk_i[i] & 0x03) == 1) {
15            if (count < 8) {
16                sk_i[i] = (sk_i[i] >> 2);
17                count++;
18            }
19            else {
20                count = 0;
21                cshake128_simple(sk_i + i, 2, count2++, seed_A, 32);
22            }
23        }
24    }
25 }

```

Şekil 6. Değiştirilmiş olan S matrisi üretimi kodları

### 3.3. Yapılan Değişikliklerden Sonra Protokoldeki Değişimler

Protokolün uygulamasında rastgele sayı üretimi fonksiyonları ve S matrisi üretim fonksiyonu daha verimli ve güvenli hale getirildikten sonra, çalışma süresi açısından uygulama önceki hali ile karşılaştırılmıştır. Protokolün uygulaması üzerinde yapılan değişikliklerin birçoğu anahtar üretimi kısmında yapılmıştır. Bu durumdan dolayı sadece anahtar üretimi kısmı çalışma süresi açısından incelenmiştir. Yapılan değişikliklerden sonra protokolün uygulamasındaki değişiklikler Tablo 1’de verilmiştir.

Sonuçlar elde edilirken Intel Core i7-4700HQ 2.40GHz işlemci ve 16 GB RAM’a sahip bir bilgisayar ve Windows işletim sistemi üzerinde Ubuntu 16.04 LTS işletim sistemi (kabuk) kullanılmıştır. Kodların derlenmesi ve çalıştırılması için gcc 5.4.0 derleyicisi, ayrıca derleyici tarafından sağlanan en iyi optimizasyon seçeneği kullanılmıştır (-O3). Bütün kodlamalar C programlama dilinde yapılmıştır. Lizard protokolünün *Recommended* parametre seti üzerinde bu çalışma yapılmıştır.

Tablo 1. Yapılan değişikliklerden sonra Lizard protokolü anahtar üretimi kısmındaki değişiklikler

	Uygulamanın Orijinal Anahtar Üretimi	Uygulamanın Değiştirilmiş Anahtar Üretimi
Çalışma Süresi (ms)	18 - 19	12 - 14
Cycle	4 – 4.5 milyon	3 – 3.5 milyon

## 4. Sonuç

Bu çalışmada Lizard protokolünün uygulaması verimlilik ve güvenlik açısından incelenmiştir. Uygulamalar üzerindeki hata ataklarının incelemesi yapıldıktan sonra, Lizard protokolü üzerine yapılan hata ataklarının uygulamaları incelenmiştir. (Bindel vd, 2016) ve (Han vd, 2018) çalışmalarından yola çıkılarak Lizard protokolünün hata ataklarına veya gelebilecek farklı saldırılara karşı güçlendirilmesi ve daha verimli çalışması için uygulama üzerinde değişiklikler yapılmıştır. Bu doğrultuda gelecek çalışma olarak, NIST'e önerilmiş olan kafes tabanlı şifreleme sistemleri üzerinde bu gibi incelemeler yapılması ve güvenliğinin yetersiz olduğu düşünülen protokollerin uygulamalarının iyileştirilmesi amaçlanmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışma EEEAG – 116E279 numaralı proje kapsamında TÜBİTAK tarafından desteklenmiştir.

## Kaynakça

- Alwen, J., Krenn, S., Pietrzak, K., & Wichs, D. (2013, August). Learning with rounding, revisited. In Annual Cryptology Conference (pp. 57-74). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Banerjee, A., Peikert, C., & Rosen, A. (2012, April). Pseudorandom functions and lattices. In Annual International Conference on the Theory and Applications of Cryptographic Techniques (pp. 719-737). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bernstein, D. J. (2009). Introduction to post-quantum cryptography. In *Post-quantum cryptography* (pp. 1-14). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bindel, N., Buchmann, J., & Krämer, J. (2016, August). Lattice-based signature schemes and their sensitivity to fault attacks. In 2016 Workshop on Fault Diagnosis and Tolerance in Cryptography (FDTC) (pp. 63-77). IEEE.
- Chen, L., Jordan, S., Liu, Y. K., Moody, D., Peralta, R., Perlner, R., & Smith-Tone, D. (2016). Report on post-quantum cryptography," National Institute of Standards and Technology. US Department of Commerce.
- Cheon, J. H., Kim, D., Lee, J., & Song, Y. (2018, September). Lizard: Cut off the tail! A practical post-quantum public-key encryption from LWE and LWR. In International Conference on Security and Cryptography for Networks (pp. 160-177). Springer, Cham.
- Computer Security Division, I. T. L. (2017, February 3). Round 1 Submissions—Post-Quantum Cryptography | CSRC. CSRC | NIST. <https://csrc.nist.gov/projects/post-quantum-cryptography/round-1-submissions>
- Ducas, L., Durmus, A., Lepoint, T., & Lyubashevsky, V. (2013, August). Lattice signatures and bimodal Gaussians. In Annual Cryptology Conference (pp. 40-56). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Eastlake, D., Schiller, J., & Crocker, S. (2005). Randomness requirements for security. RFC4086.
- Farhady Ghalaty, N. (2016). Fault Attacks on Cryptosystems: Novel Threat Models, Countermeasures and Evaluation Metrics (Doctoral dissertation, Virginia Tech).
- Gentry, C., Peikert, C., & Vaikuntanathan, V. (2008, May). Trapdoors for hard lattices and new cryptographic constructions. In Proceedings of the fortieth annual ACM symposium on Theory of computing (pp. 197-206).
- Han, S., Choi, N., An, H., Choi, R., & Kim, K. (2018, January). Prey on Lizard: Mining Secret Key on Lattice-based Cryptosystem. In 2018 Symposium on Cryptography and Information Security (SCIS 2018). IEICE Technical Committee on Information Security.
- Hoffstein, J., Howgrave-Graham, N., Pipher, J., & Whyte, W. (2009). Practical lattice-based cryptography: NTRUEncrypt and NTRUSign. In The LLL Algorithm (pp. 349-390). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Howe, J., Khalid, A., Rafferty, C., Regazzoni, F., & O'Neill, M. (2016). On practical discrete Gaussian samplers for lattice-based cryptography. IEEE Transactions on Computers, 67(3), 322-334.
- Hughes, R., & Nordholt, J. (2016). Strengthening the security foundation of cryptography with Whitewood's quantum-powered entropy engine.
- Kamal, A. A., & Youssef, A. (2011). Fault analysis of the NTRUEncrypt cryptosystem. IEICE transactions on fundamentals of electronics, communications and computer sciences, 94(4), 1156-1158.

- Kamal, A. A., & Youssef, A. M. (2012, August). A scan-based side channel attack on the NTRUEncrypt cryptosystem. In 2012 Seventh International Conference on Availability, Reliability and Security (pp. 402-409). IEEE.
- Le Trieu Phong, T. H., Aono, Y., & Moriai, S. LOTUS: Algorithm Specifications and Supporting Documentation.
- Lindner, R., & Peikert, C. (2011, February). Better key sizes (and attacks) for LWE-based encryption. In Cryptographers' Track at the RSA Conference (pp. 319-339). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Nachrig, M., Alkim, E., Bos, J. W., Ducas, L., Easterbrook, K., LaMacchia, B., ... & Raghunathan, A. (2017). FrodoKEM: practical quantum-secure key encapsulation from generic lattices. NIST submissions.
- Peikert, C. (2016). A decade of lattice cryptography. *Foundations and Trends® in Theoretical Computer Science*, 10(4), 283-424.
- Regev, O. (2005). On Lattices, Learning with Errors, Random Linear Codes, and Cryptography. *Proceedings of the Thirty-seventh Annual ACM Symposium on Theory of Computing*, 84–93. <https://doi.org/10.1145/1060590.1060603>
- Sampling: Rejection Sampling Explained. Erişim tarihi: 11 Şubat 2020, gönderen <https://relguzman.blogspot.com/2018/04/rejection-sampling-explained.html>
- Seo, M., Park, J. H., Lee, D. H., Kim, S., & Lee, S. J. (2017). Emblem and r. EMBLEM. Technical Report. National Institute of Standards and Technology.
- Shor, P. W. (1994, November). Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring. In *Proceedings 35th annual symposium on foundations of computer science* (pp. 124-134). Ieee.
- Taha, M., & Eisenbarth, T. (2015). Implementation Attacks on Post-Quantum Cryptographic Schemes. *IACR Cryptology ePrint Archive*, 2015, 1083.



# Hough Transform Görüntü İşleme Yöntemiyle Ekim Makineleri için Tohum Sayma Uygulaması\*

Ahmet Çelik<sup>1\*\*</sup>, Emre Tekin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6288-3182)

<sup>2</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2189-9265)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf33)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, A. & Tekin, E. (2020). Hough Transform Görüntü İşleme Yöntemiyle Ekim Makineleri için Tohum Sayma Uygulaması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 260-267.

## Öz

Dünyadaki yaşamın devamlılığı, meyve, sebze, tahıl ürünlerin tohumlarının korunmasına ve optimum şekilde kullanılmasına bağlıdır. Tohumların yüzeye uygun yerleşimde ne az ne de çok uygulanması gerekir. Tohumlar yüzeye, az uygulandığında beklenen verim elde edilemez, çok uygulandığında da yüzeyden veya ortamdan yeterince faydalanamayacağından, yine verim düşük olacaktır. Bu yüzden ekim yapılırken birim alana düşen tohum adedini belirlemek için, laboratuvar ortamında tarım makinelerinin optimizasyonu yapmak gerekmektedir. Görüntü işleme birçok alanda kullanılmasına rağmen, tarım alanında da kullanılabilir bir yöntemdir ancak bu zamana kadar yeterince kullanılmamıştır. Özellikle ürün tohum ekim makinelerinin üzerinde, birim yüzeye düşecek tohum miktarı veya birim yüzeye düşecek gübre miktarını belirlendiği değerler vardır. Bu değerlerin doğruluğu büyük önem arz etmektedir. Bu güne kadarki tarım makinelerinin tohum ve gübre ayarlarında kullanılan en yaygın yöntem, ekim makinesi tekeri döndürülerek, yüzeye düşen tohumların toplam ağırlıklarına bakılarak bulunmaktaydı. Bu yöntem hem yavaş hem de tohumların türüne göre farklılık göstermektedir. Bu çalışmada ise, tohum makinesinin optimizasyonu yapılırken, kamera vasıtasıyla elde edilen görüntü işlenerek yüzey üzerindeki tohum sayısı elde edilmiştir

**Anahtar Kelimeler:** Hough dönüşümü, Tohum sayma, Görüntü işleme, Gri görüntüye dönüştürme, Optimizasyon

## Counting Application for Planting Machines with Hough Transform Image Processing Method

### Abstract

The continuity of life in the world depends on the protection and optimum use of the seeds of fruits, vegetables, cereals. The seeds, applied neither more nor less in a suitable surface placement. As the seeds are applied less to the surface, the expected yield will not be achieved, and when it is applied too much, the yield will be low again. Therefore, in order to determine the amount of seed per unit area while planting, it is necessary to optimize the sowing machines in the laboratory environment. Although image processing is used in many fields, it is a method that can be used in agriculture, but it has not been used enough until this time. Especially, values in which the amount of seed per unit surface or the amount of fertilizer per unit surface is determined on the product seed sowing machines. The accuracy of these values is of great importance. The most common method used in the seed and fertilizer settings of the agricultural machinery to date was by turning the seeder wheel and looking at the total weight of the seeds falling on the surface. This method differs both slowly and depending on the type of seeds. In this study, while optimizing the seed machine, the image obtained by camera was processed and the number of seeds on the surface was obtained.

**Keywords:** Hough transform, Seed counting, Image processing, Transform gray image, Optimization

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6288-3182, [ahmet.celik@dpu.edu.tr](mailto:ahmet.celik@dpu.edu.tr)

## 1. Giriş

Görüntü işleme çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Ürün yüzeylerindeki kusur tespitinde, etkin bir şekilde kullanılmaktadır(Çelik 2016). Amaç daha hızlı ve hatasız sonuç veri işlemek ve doğru sonuçlar almaktır (Çelik, 2016; Orak ve Çelik, 2016 ). İnsan faktörü bazı süreçlerin işlenmesi sırasında hata yapabilmekte veya tehlike oluşturabilmektedir. Ayrıca süreçlerin yavaş ve güvensiz olmasına neden olmaktadır(Orak ve Çelik, 2016).

Tarım alanında ürün meyvelerinin tespit edilmesi, sayılması ve sınıflandırılmasında görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır(Solak ve Altınışik, 2017; Sahu ve Dewangan, 2017). Sağlık alanında kan hücre sayımında (Sönmez vd.,2016) ya da röntgen, ultrason görüntülerinin analiz edilmesinde de kullanılmaktadır. Güvenlik alanında otoyol ya da köprü girişlerinde araç plakalarının tespit edilmesinde (HGS, OGS sistemlerinde) kullanılmaktadır (Çevik ve Çakır, (2011). Ayrıca nesne tespiti, yüz tanıma sistemlerin, özellik tanıma sistemlerinde de görüntü işleme yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Ürün tohumlarının ekimi yapılırken birim alana düşen tohum adedini bilerek, uygun oranda toprağın verimliliğini, iklimsel ve çevresel faktörleri göz önünde bulundurmak bereketli bir sezonu geçirmek için oldukça önemlidir. Ek olarak, Ekim işleminde birim alana düşen tohum adedinin uygun oranda olduğunda her bitkiye düşen yaşam alanındaki farklılıklar azalmaktadır. Bu durum bitkilere yeterli bir yaşam alanı sağladığından verimin artırılabilirdiğini göstermiştir.

Ekim makinalarının optimizasyonu yapılarak çiftçinin arzu ettiği oranda tohum dökülmesi önemlidir. Bu nedenle ekim makinalarının yapılan ayara göre birim alana döküldüğü tohum adedinin belirlenmesi gerekmektedir.

Laboratuvarlarda yapışkan bir bant düzeneği yardımıyla sıra üzeri tohum adedinin belirlenmesi yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ancak sıra üzeri tohum sayım işleminin tek tek sayılması zahmetli ve yorucu olmaktadır(Dursun ve Dursun, (2000). Tohum sayımının daha doğru ve hızlı bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu nedenle elektronik sayım sistemlerinin kullanılması zaruri olmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Görüntü İşlemeyle Tohum Tespiti

Tohum sayım işlemini yapılırken kamera ile elde edilen görüntüler üzerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır. İlk başta görüntü gri görüntüye dönüştürülmüş daha sonra Bitmap yani siyah beyaz resme çevrilmiştir. Bu görüntü üzerinde içindeki nesnelere sınırları kenarlık tespiti yapılarak belirlenmiştir(Çelik, 2016). Tohumların daha net tespit edilmesi ve görüntü üzerindeki gürültülerin giderilmesi amacıyla görüntü erozyon, genişletme ve bulanıklaştırma işlemleri yapılmıştır. Bu uygulamalardan sonra Hough dönüşümü ile tohumlar sayılırken daha başarılı sonuçlar alınmıştır.

### 2.2. Renkli Resmin Gri Resme Dönüştürülmesi

Görüntüler çoğu cihazdan renkli olarak elde edilmektedir. Bazı algoritmalar renkli görüntüler üzerinde çalışabilirken bazı görüntüler Gri görüntüye dönüştürülmesi gerekir. Sayım işlemi yapmadan önce ilk yapılması gereken renkli resmin siyah beyaz resme dönüştürülmesi olacaktır(Biswas vd., 2011). Gri resimler ışığın yoğunluğunu gösteren resimlerdir. Bu resimler bilgisayarda 8 bit formatında saklanır. Bunun anlamı her piksel 8 bit ikili kod ile saklanır. Yani  $2^8=256$  olarak gösterilirse 0-255 arasında değer alır. 0 siyah rengi gösterirken, 255 beyaz rengi gösterecektir. Ancak 128 değerindeki renk ise siyah ile beyaz rengin karışımı olan ara bir renk olacaktır.

24 bit renk derinliğine sahip bir görüntü içindeki her piksel  $256*256*256$  yani 16.777.216 tane farklı renk tonu oluşturacaktır. Eğer Alfa kanalı da olursa görüntü 32 bit renk derinliğine sahip olacaktır. Aynı resim renkli olarak saklanmış olsaydı, her renk benzer şekilde 256 ton renk olarak  $2^8 * 2^8 * 2^8 = 2^{24}$  yani 24 bit yer kaplar. Bu durumda aynı resim bu sefer 3 katı yer kaplamış olur.

Renkli sayısal bir görüntüyü gri bir görüntüye dönüştürme işlemi aslında RGB (Red: Kırmızı, Green:Yeşil, Blue:Mavi) renk modelinde belirtilen her bir piksele düşen gri görüntülerin ölçeklendirilmesidir. Normalde her bir pikseldeki RGB değerlerini toplayıp üçe bölerek gri resim elde edilebilir. Ancak bu gözünün farklı renkleri farklı algılama hassasiyetini tam yansıtmaz.

### 2.3. Gri Görüntü Oluşturma Algoritmaları

Gri görüntü 0 ile 255 arasında yani siyah ile beyaz arasında bir renktir. Renkli görüntüler kırmızı, yeşil ve mavi renklerin değişik oranlarda karışımlardan oluşmaktadır. Bu renkli resimlerin temsil ettiği ortama göre kırmızı, yeşil ya da mavi oranlar(dalga boyları) değişmektedir. Deniz görüntüsünde mavi rengin dalga boyu daha fazla, orman görüntüsünde yeşil rengin dalga boyu daha fazla, bir ateş görüntüsünde ise kırmızı rengin dalga boyu daha fazladır. Bu yüzden 3 tane algoritma kullanılmaktadır(Biswas vd., 2011). Şekil 1'de bu algoritmaların bir görüntü üzerinde uygulanmış sonuçları görülmektedir.

#### 2.3.1. Ortalama(Average:Avg) Gri Değer Algoritması

Bu yöntemde renkli görüntünün piksellerinin sahip olduğu kırmızı, yeşil ve mavi renk değerlerinin ortalaması alınarak hesaplanır. Bu işlemde önce kırmızı, yeşil ve mavi değerler toplanır sonra çıkan sonuç üçe bölünür. Bu işlem resmi oluşturan bütün pikseller için uygulanır(Biswas vd., 2011; Cheng, 2009). Ortalama gri değer dönüştürme formülü aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{GriDeğeri} = (R + G + B)/3 \quad (1)$$



### 2.3.2. Açıklık(Lightness:Li) Gri Değer Algoritması

Bu yöntemde görüntü içindeki piksellerin renklerin ağırlıklı ortalamaları bulunarak gri değer hesaplaması yapılır. Piksel içindeki en büyük olan kırmızı, yeşil ve mavi değer ile aynı piksel içindeki en küçük kırmızı, yeşil ve mavi değer toplanarak ikiye bölünür. Aşağıda formül belirtilmiştir(Biswas vd., 2011). Açıklık gri değer dönüştürme formülü aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{GriDegeri} = (\max(R, G, B) + \min(R, G, B))/2 \quad (2)$$

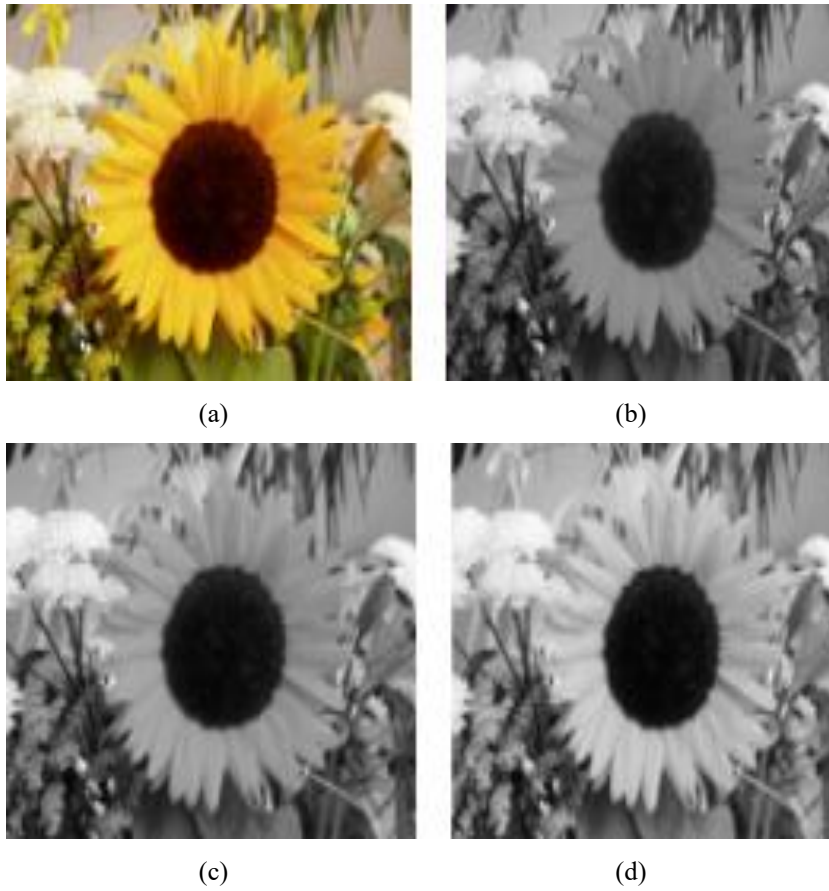
### 2.3.3. Parlaklık(Luminosity:Lu) Gri Değer Algoritması

Bu metot daha karmaşık bir yöntemdir. İnsan gözleri yeşil renge daha çok hassastır. O yüzden yeşil rengin dalga boyunun daha fazla olduğu bölgeler daha parlak olur. Aşağıda bu yöntemin algoritması verilmektedir(Biswas vd., 2011). Parlaklık gri değer dönüştürme formülü aşağıda gösterilmektedir.

$$\text{GriDegeri} = 0.33 \times R + 0.56 \times G + 0.11 \times B \quad (3)$$

Resim Gri resme dönüştürüldüğü zaman, R,G,B değerleri hepsi aynı değeri almalıdır.

$$R = \text{GriDegeri}, G = \text{GriDegeri}, B = \text{GriDegeri} \quad (4)$$



Şekil 1. a-) RGB renkli görüntü, b-)Açıklık Gri, c-)Ortalama Gri, d-)Parlak Gri (Biswas vd., 2011).

### 2.4. Bitmap Görüntü(Siyah-Beyaz)

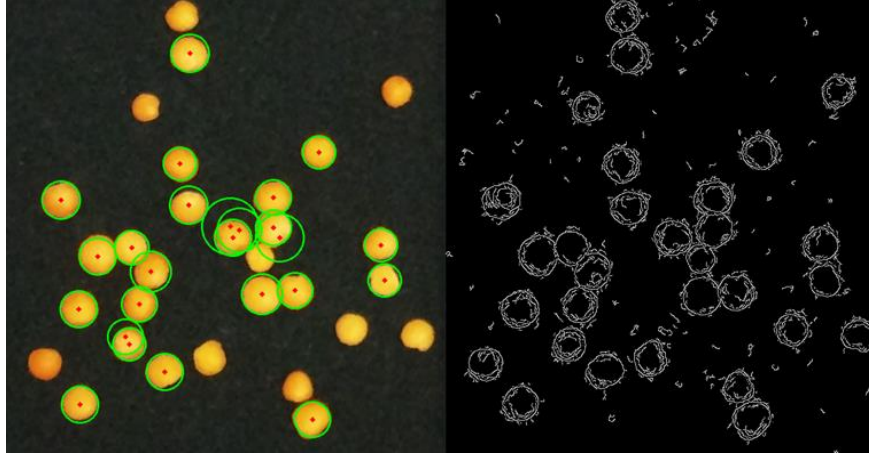
Bitmap görüntü 2 bit renk derinliğine sahiptir ve Gri görüntünün bir eşik değeriyle kıyaslaması sonucu elde edilir. Bitmap görüntü sadece siyah ve beyaz renkli görüntü elde edilir. Bitmap görüntüye dönüştürülürken bir eşik değeri(Threshold) kullanılır. Bu eşik değeri kullanıcı tarafından belirlenebilir ancak verilmez ise varsayılan değer 128 kabul edilebilir. Gri değeri 128 ve üstünde olan(255 e kadar) pikseller beyaz(255), 128 değerinin altında (0-127 arasında) olan pikseller ise siyah(0) olur. Bitmap görüntüye dönüştürme işlemi aşağıdaki şekilde yapılmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Eğer Gri değeri} \geq \text{Threshol ise Bitmap} &= 255(\text{beyaz}) \\ \text{else Bitmap} &= 0(\text{siyah}) \end{aligned} \quad (5)$$

### 2.5. Uygulama Gerçekleştirme

Bu uygulamanın gerçekleştirilmesi için, ölçüleri belirlenmiş yüzey üzerine yeşil mercimek tohumları (örnek 30 adet) rastgele dağıtılmıştır. Daha sonra yüzeyden görüntü alınmıştır. Tohum sayım işlemi yapmadan önce arka plan çıkartılmış ve resmi gri

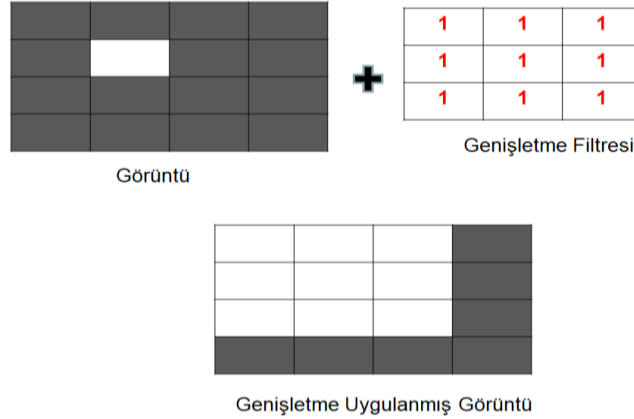
görüntüye dönüştürülmüştür. Tohumların tespitinde Hough dönüşümü uygulanmıştır çünkü dairesel Hough dönüşümü tohumların şekillerine uygun görülmektedir. Ancak sadece siyah beyaz resimler ile örnek resim kümesinde yapılan denemelerde başarılı bir sonuç elde edilememiştir (Şekil 2). Tohumların yerinin tam olarak tespit edilemediği yanlış işaretlendiği durumlar olmuştur.



Şekil 2. Ön işlem uygulamadan Hough algoritmasıyla tohum tespiti

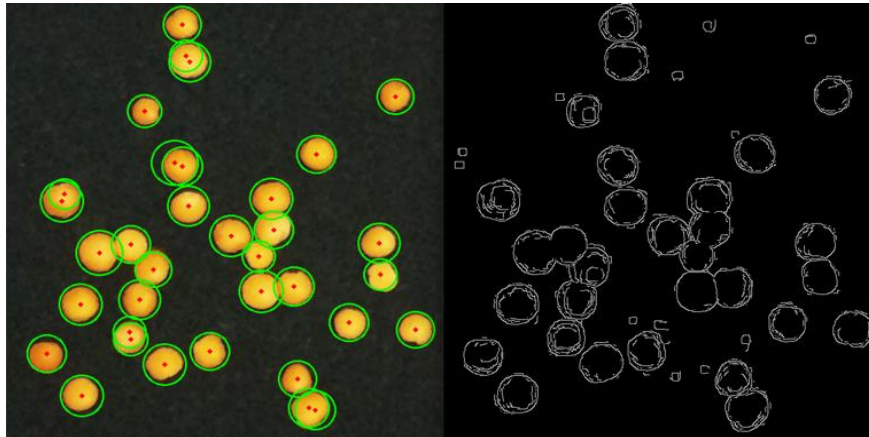
### 2.5.1. Gri Resme Genişletme(Dilation) Uygulanması

Resim genişletme işlemi nesnenin bir gürültü ile ince bir şekilde bölünerek ayrı iki nesne gibi görünmesini engellemek için kullanılır.  $3 \times 3$  boyutlarındaki sıfır ve birlerden oluşan çekirdek matris resim üzerinde gezdirilerek işlem uygulanır (Cheng, 2009). Şekil 3 üzerinde 1 piksel olarak görülen görüntü üzerinde  $3 \times 3$  genişletme matrisi uygulandığında komşu piksellerinde etkilendiği görülmektedir. Genişletme uygulaması komşu piksellere merkezdeki pikselin renk değerini geçmesini ve daha büyük nesne oluşmasını sağlar.



Şekil 3. Görüntü üzerinde Genişletme İşlemi

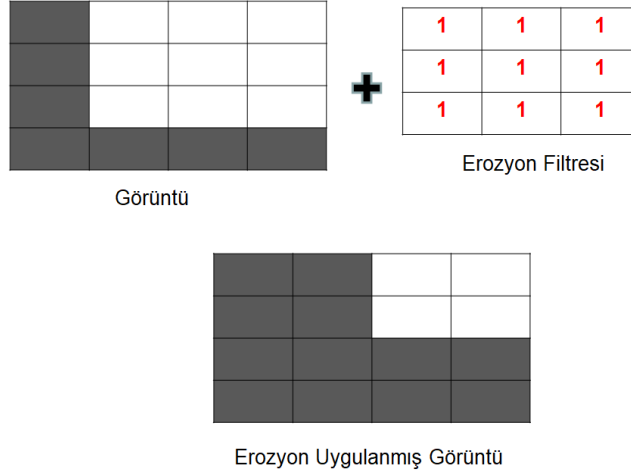
Projede resim siyah beyaz resme dönüştürüldükten sonra görüntü genişletme yapılmıştır. Ancak istenilen sonuç yine elde edilememiştir. Şekil 4'de görüldüğü gibi bazı tohumlar çift sayılmıştır. Bu beklenilmeyen ve istenilmeyen bir durumdur. Ancak burada tohumların bazıları çift de sayılmış olsa yüksek oranda doğru tespit gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. Siyah beyaz resme görüntü genişletme uygulanarak tohum tespiti

### 2.5.2. Erozyon(Erosion) Uygulaması

Erozyon yani aşındırma kenarlarda ya da görüntünün bir bölgesindeki piksellerin ortadan kaldırmak için kullanılmaktadır (Cheng, 2009). Bu işlemde de yine filtre matrisi kullanılmaktadır. Şekil 5 üzerinde, 9 piksel olarak görülen görüntü üzerinde 3x3 erozyon matrisi uygulandığında komşu piksellerinde etkilendiği görülmektedir. Erozyon uygulaması komşu piksellere etkilenir daha küçük nesne oluşmasını sağlar.



Şekil 5. Görüntü Üzerinde Erozyon İşlemi

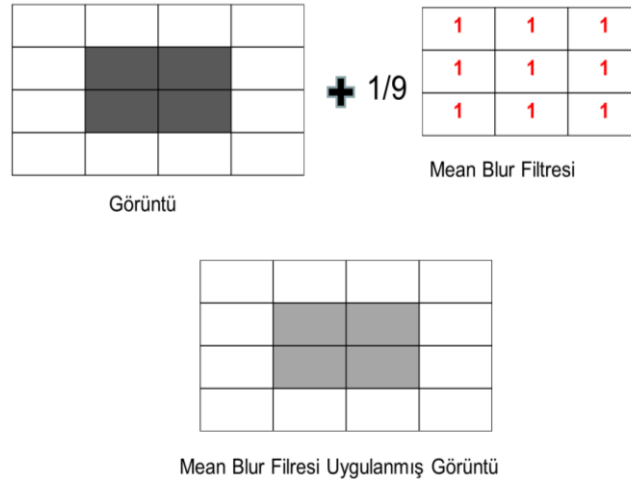
### 2.5.3. Görüntü Bulanıklaştırma

Bir resmin netliğinin kaybolmasının sağlandığı bulanıklaştırma, temel de belirli uzamsal bölgede komşu piksellerin ortalamasının alınması ve bu ortalama değerlerin piksellere atanması esasına dayalı bir yöntemdir. Bulanıklaştırma piksel temelli değil görüntünün bütünü ya da bir kısmı üzerinde bir filter matrisinin uygulanması temeline dayanır. En çok kullanılan Gaussian bulanıklaştırma yöntemidir(Çelik, 2016).

$$g(x, y, t) = \frac{1}{2\pi t^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2t^2}} \quad (6)$$

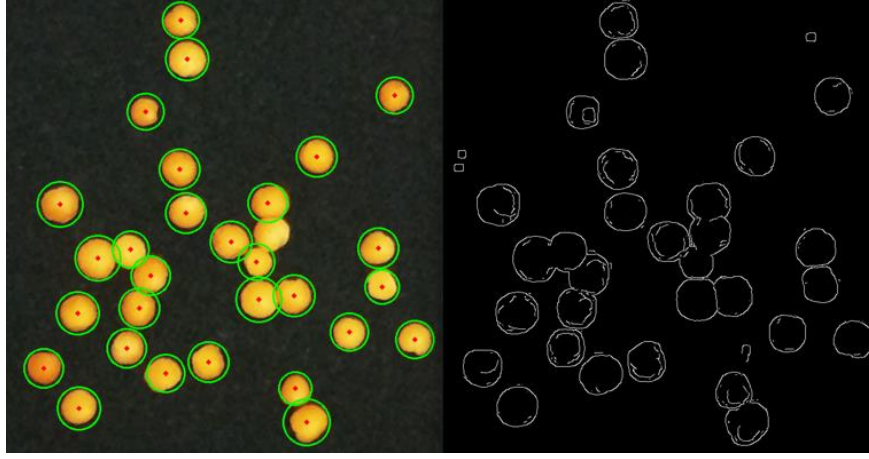
Burada x,y pikselin konumlarını, t ise bir ölçek değişkenini belirtmektedir.

Ancak başka bulanıklaştırma filtreleri de mevcuttur. Şekil 6 üzerinde ortalama (Mean) Blur filtresi matrisi ve uygulandığında oluşacak muhtemel resim gösterilmektedir. Görüntü bulanıklaştırma gürültü etkisini ortadan kaldırmak için kullanılan bir yöntemdir(Lee ve Kim, 2014; Maraşlı ve Öztürk, 2018).



Şekil 6. Görüntü üzerinde Ortalama Blur İşlemi

Görüntü genişletmeden resimde oluşan gürültüleri gidermek tohum tespitinin başarısını yükseltmek ve doğruluğunu sağlamak için fayda sağlamıştır.



Şekil 7. Görüntü genişletilme yapılmış siyah beyaz resme, görüntü bulanıklaştırma uygulayarak tohum tespiti

#### 2.5.4. Görüntü Closing(Kapatma) İşlemi

Bu işlemde, görüntü üzerinde, önce Dilation, sonra Erosion işleminin art arda yapılmasıdır. Bu işlemde görüntü içindeki nesnenin iç bölgelerinde var olan deformasyonlar ya da pikseller ortadan kalkmaktadır.

#### 2.5.5. Görüntü Opening(Açma) İşlemi

Bu işlemde, ise görüntü üzerinde, önce Erosion, sonra Dilation işleminin peş peşe yapılmasıdır. Bu işlemde görüntü içindeki nesnenin dış bölgelerinde var olan deformasyonlar ya da pikseller ortadan kalkmaktadır.

#### 2.5.6. Görüntü Üzerinde Hough Dönüşümü

Nesne tespit yöntemlerinden en önemlisi Hough dönüşümü tekniğidir. Hough Dönüşümü sayısal görüntü işlemede matematiksel olarak ifade edilebilen şekillerin varlığının, yerinin, açılarının bulunmasında kullanılmaktadır. Yöntem 1962 yılında Paul Hough tarafından geliştirilmiştir. Yöntem daha çok herhangi bir resimdeki doğruların tespitinde kullanılmaktadır(Çelik, 2016). Ancak genel Hough dönüşümü matematiksel olarak ifade edilebilen bütün şekillerde çalışmaktadır. Doğrusal, dairesel ve genel olmak üzere üç farklı biçimiyle karşılaşılmaktadır( Fokkinga, 2011; Xiao, vd., 2010).

Sayısal görüntülerde geometrik şekil bulmanın görüntü işlemede birçok uygulama alanı bulunmaktadır. İris bulma, plaka bulma, saha üzerinde top bulma, duvar üzerinde portre bulma, masa üzerinde kalem bulma veya nesne üzerinde düzgün, düzgün olmayan kusurlu bölgeyi bulma görüntü üzerinde algoritmalar kullanılarak tespit edilebilir(Çelik,2016).

Bir kamera veya benzeri bir algılayıcı yardımı ile elde edilen görüntülerdeki şekillerin her zaman eksiksiz yer alması mümkün olmamaktadır ve şekillerdeki kopukluklar şekil tespitini zorlaştırmaktadır. Bu noktada Hough dönüşümü ile görüntünün tamamının görülebilir olmadığı durumlarda da olası şekiller tespit edilebilmektedir. Ancak doğru tespit için görüntünün eksiksiz elde edilmesi gerekmektedir. Bu projede şekil bulmada kullanılan Hough dönüşümünün dairesel şekil tespitinde kullanımı ile tohum tespiti yapılmıştır(Çelik, 2016; Ballard, 1981; Ping vd., 1996; Taşel,2012)

Hough dönüşümü temelde kenarların olası geometrik şekilleri oylaması mantığı ile çalışmaktadır. Hough dönüşümü kullanılarak şekil tespiti genel olarak aşağıdaki adımlar ile özetlenebilir(Xiao vd., 2010).

- Kaynak görüntü üzerinde kenarlar belirlenir.
- Bir eşik değeri kullanılarak görüntü ikili (siyah-beyaz) hale getirilir.
- Her kenar pikseli için noktanın üzerinde olabileceği olası geometrik şekillerin polar koordinattaki değerleri kullanılan bir matris üzerinde birer birer artırılarak her kenar pikselin olası şekilleri oylaması sağlanmış olur.
- Matris değeri en yüksek olan şekiller en çok oy alan şekiller olduklarından görüntü üzerinde bulunma veya belirgin olma olasılıkları en yüksek olmaktadır.

Bulunan şekiller isteğe bağlı olarak görüntü üzerine yazdırılabilir. Kaynak görüntüler üzerinde dairesel şekil arandığından kullanılan matrisi çemberin merkezi olan [a,b] noktaları ve yarıçap değeri [r] olmak üzere üç boyuttan oluşmaktadır. Belirlenen aralıktaki yarıçap değerleri için çember merkezi çember denklemi ile bulunur(Ballard, 1981).

$$\begin{aligned} r^2 &= (x - a)^2 + (y - b)^2 \\ x &= a + r \times \sin(\theta) \\ y &= a + r \times \cos(\theta) \end{aligned} \quad (7)$$

Kullanılan açı değeri 0 - 2π değer aralığında değiştirilerek bir noktanın, yarıçapı bilinen bir çember üzerinde yer alıp almadığı tespit edilebilmektedir. Yarıçap değerinin bilinmesi durumunda çember merkezini ifade eden [a,b] değerlerinin iki boyutlu bir matrisi üzerinde tutulması yeterli olacaktır. Yarıçap değerinin bilinmemesi veya bir aralık halinde olması durumunda ise olası yarıçap değerleri bir döngü içerisinde denenerek merkez koordinatları ve yarıçap uzunluğu boyutlarına (a,b,r) karşılık gelen değerleri

artırılarak üç boyutlu matris elde edilebilmektedir(Ballard, 1981; Ping vd., 1996; Taşel,2012). Bu çalışmada anlatılan görüntü işleme teknikleri ile istenilen forma sokulan görüntünün içerisindeki dairesel tohum taneleri, Hough dönüşümü sayesinde tespit edilerek sayılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Görüntü İşleme Algoritmalarının Kıyaslanması

Bu çalışmada; daha önceden tohum miktarını bulan (kilo hesabı ya da deneme yanılma) klasik yöntemleri yerine(MEB, 2015), bilgisayar destekli otomatik ve hızlı bir yöntem geliştirilmiştir. Yapılan çalışmada çeşitli görüntü işleme algoritmaları ayrı ayrı denenmiş ve sonuç olarak tohum tespitinde sadece bir yöntemle yapmak yerinde birden fazla yöntem birleştirilerek optimum sonucu ulaşmanın faydalı olacağı görülmüştür. Projede, tohum tespiti için önce ön işlem algoritması uygulamadan Hough dönüşümü uygulanmış sonra ön işlemler uygulanarak Hough dönüşümü uygulanmış en son olarak ise Dilation, Closing ve Blur işlemleri kombinasyonu uygulanmıştır.

Aşağıdaki Tablo 1’de de görüleceği üzere bazı yöntemlerde çok başarısız sonuçlar alınmıştır. Aslında başarılı gibi görünen işlemlerde, bir tohumun, birden fazla sayılarak hatalı sonuç verdiği görülmüştür.

Tablo 1. Görüntü işleme yöntemi ve başarı yüzdesi tablosu

İşlem	Başarı Yüzdesi
Siyah beyaz görüntüye dönüştürme	83%
Görüntü genişletme	93%
Görüntü erozyona uğratma	60%
Görüntü kapatma	79%
Görüntü bulanıklaştırma	78%
En iyi kombinasyon sonucu	95%

Bu projede ulaştığımız bulgular bize tohum tespiti veya ne amaçla olursa olsun farklı görüntü işleme yöntemlerini denenerek birden çok yöntemin beraber kullanıldığında çok yüksek (%95) başarılı sonuç alınabileceğini göstermiştir.

Örnek kümede yapılan denemelerde ise başarılı sayım yapılmış gibi duran bazı durumlarda aslında başarılı olunmadığı yanlış sayım yapıldığı anlaşılmıştır. En doğru sonucun, görüntü işleme yöntemlerinin birleştirilerek alınabileceği anlaşılmıştır.

### 4. Sonuç

Bu projede tek tek tohum sayma işleminden çok daha hızlı ve kolay bir şekilde sayım işlemi yapılabilmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, tarım makinelerinin özellikle de tohum ekme makinelerinin ayarlamaları ve optimizasyonları, test ortamında daha kısa sürede ve daha doğru olarak yapılabilecektir. Daha önceleri elle yapılan birim yüzeydeki tohum sayma işlemleri, bilgisayar destekli görüntü işleme yöntemiyle yüksek doğruluk oranıyla, kısa sürede gerçekleştirilebilecektir. İnsanların yaptıkları işlemler hem uzun süre almakta hem de hata oranları yüksek olmaktadır. Bu çalışmada, görüntü işleme yöntemlerinin yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca görüntü işleme yöntemlerin tarım alanında kullanılmasına da örnek olacak ve büyük katkı sağlayacaktır.

### Kaynakça

- Çelik, A. (2016). Haddemeleme İşlemi Sırasında Ray ve Profil Yüzeylerinde Oluşan Kusurların Tespit Edilmesine Yönelik Paralel İşlemci Uygulaması. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük, Türkiye.
- Orak, İ. M. & Çelik, A. (2016). An algorithm (COLMSTD) for detection of defects on rail and profile surfaces. International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), 14(4), 45-50
- Solak, S. & Altınışık, U. (2017 ). Görüntü işleme teknikleri ve kümeleme yöntemleri kullanılarak fındık meyvesinin tespit ve sınıflandırılması”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Türkiye.
- Sahu, D. & Dewangan, C.( 2017). Identification and Classification of Mango Fruits Using Image Processing. International Journal of Scientific Research in Computer Science, 2(2), 203-210.
- Sönmez, Y., Kutlu H. & Avcı, E. (2016) .White Blood Cell Morphology Detection with BLOB Analysis. Tıp Teknolojileri Kongresi, Gaziantep, Türkiye.
- Çevik, K. K. & Çakır, A. (2011). Görüntü İşleme Yöntemleriyle Araç Plakalarının Tanınarak Kapı Kontrolünün Gerçekleştirilmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10(1),31-38.



- Dursun, İ. G. & Dursun, E.(2000). Ekim makinası Sıra Üzeri Tohum Dağılımının Görüntü İşleme Yöntemi ile Belirlenmesi. Tarım Bilimleri Dergisi, 6(4), 1-5.
- Biswas, D., Nag, A., Ghosh, S., Pal, A., Biswas, A., Banerjee, S. & Pal, A.(2011). Novel Gray Scale Conversion Techniques Based on Pixel Depth. Journal of Global Research in Computer Science Journal of Global Research in Computer Science, 2(6),.....
- Cheng, X. (2009). Fast Binary Dilation/Erosion Algorithm Using Reference Points. 2009 International Conference on Networking and Digital Society, Guizhou, China,
- Lee, H. & Kim, C.( 2014). Blurred image region detection and segmentation, 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Paris, France.
- Maraşlı, F & Öztürk, S.(2018). Görüntü İyileştirme ve Görüntü Onarma Teknikleriyle ile Yapılmış Uygulamalar. II International Scientific and Vocational Studies Congress, Nevşehir, Türkiye.
- Fokkinga, M. (2011). The Hough Transform. In: Journal of Functional Programming. Cambridge University Press, USA, 129-133.
- Xiao, F., Jin, L. & Haopeng, W. (2010). A study of image retrieval based on hough transform, 3rd IEEE Computer Science and Information Technology (ICCSIT), Chengdu, China.
- Ballard, H. D. (1981). Generalizing the hough transform to detect arbitrary shapes. Elsevier B. V. Pattern Recognition, 13(2), 111-122.
- Ping, F. F., Wing S. L. & King, I. (1996). Randomized generalized hough transform for 2D grayscale object detection. Pattern Recognition, Vienna, Austria.
- Taşel, F. S. (2012). Hough Dönüşümünün Dairesel Şekil Tespiti İçin CUDA Üzerinde Paralleştirilmesi. Mühendislik ve Teknoloji Sempozyumu, Çankaya Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
- Milli Eğitim Bakanlığı(MEB) (2015). Tarım Alet ve Makineleri. Mesleki Eğitim ve Öğretim Sistemini Güçlendirme Projesi, Ankara, Türkiye.



# Tekstil Baskı Kalite Kontrolünün Görüntü İşleme Teknikleri ile Gerçekleştirilmesi\*

Ahmet Çelik<sup>1\*\*</sup>, Emre Tekin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6288-3182)

<sup>2</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2189-9265)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf34)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, A. & Tekin, E. (2020). Tekstil Baskı Kalite Kontrolünün Görüntü İşleme Teknikleri ile Gerçekleştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 268-276.

## Öz

Üretici firmaların ürünlerinin kaliteli olması gerekmektedir. Kalite, ürünlerin farklı özellikleri taşınmasına bağlıdır. Kalite, üretilen ürünün hammadesine bağlı olduğu kadar tasarımına, montajına ve sonradan üzerine eklenen ürünlerin de bağlıdır. Tekstil üretimi Türkiye’de çok büyük ihracat payına sahiptir. Üretilen tekstil ürünlerinin hammadesi olan ipliklerin kaliteli olması gerekir. Bu tekstil ürünlerinin üzerinde kullanılan baskı desenlerinde kaliteli olması büyük önem arz etmektedir. Tekstil baskılarının kusurlu olması kalitesiz defolu olmasına sebep olmaktadır. Bu baskılar tekstil sektöründe kumaş yüzeylerine uygunlanmakta ve baskı üzerindeki kusur hatası oluşursa büyük bir tekstil kumaşının kullanılmamasına neden olmaktadır. Tekstil yüzeyindeki bu kusurların geç fark edilmesi durumunda ise üreticiler açısından büyük bir maliyet kaybı ortaya çıkabilmektedir. Günümüzde tekstil ürünleri üzerinde baskı hata kontrolü çalışan personeller tarafından yapılmaktadır. Bu çalışmada; tekstil ürünleri üzerindeki baskıların kalite kontrol aşamasında, çalışanlar(insan) tarafından kontrol edilmesi yerine, yazılım ve donanım vasıtasıyla otomatik bir sistem tarafından yapılması için kullanılabilecek bir uygulama yapılmıştır. Kamera yardımıyla elde edilen kumaş görüntüleri üzerinde, piksel fark görüntü işleme tekniklerini kullanarak baskı kusurları tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Görüntü işleme, Kusur tespiti, Piksel karşılaştırma, Kalite kontrol, Kumaş baskısı

## Performing Textile Print Quality Control with Image Processing Techniques

### Abstract

Product quality must have one standard for production companies. Quality depends on the different characteristics of the products. Quality depends on raw material, design and installation of the product. Textile production have large share of export in Turkey. Yarns must be high quality for textile and printing on textile also important for textile products. Defect on printing makes whole product defected. This Prints used for textile surface. If defect on printing occur this may lead to whole product defected. Noticing late this defect could very high costs of product. Recently quality control made by employees. This work focused on making quality control by automatically software and hardware instead of employees. The print defects were detected by using pixel difference image processing techniques on the fabric images obtained with the help of the camera. The obtained values will effect last decision about image whether is acceptable or not. It will be more reliable if values are obtained by much more image processing techniques.

**Keywords:** Image processing, Defect detection, Pixel Difference, Quality control, Textile print

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye, ORCID: 0000-0002-6288-3182, [ahmet.celik@dpu.edu.tr](mailto:ahmet.celik@dpu.edu.tr)

## 1. Giriş

Ülkemizde günümüzde üretim yapılan tesislerde çok fazla insan gücüne dayalı işlemler yapılmaktadır. Bilgisayar ve otomasyon sistemlerinin üretim süreçlerinde yer alması hem yapılan işi hafifletecek hem de daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır. Özellikle maliyet ve hata payları göz önüne alınacak olursa bu konularda düşüş sağlamak üretim sürecine ve firmalara ciddi anlamda katkı sağlayacaktır.

Sanayi sektörü başta olmak üzere fabrikalarda üretilen ürünlerin hata kontrolünün yapılması gerekmektedir. Çünkü hatalı ürün üretimi fabrika sahiplerine büyük zararlar oluşturmaktadır. Hatalı ürünlerin üretildikten sonra müşterilere ulaştırılması ve fabrikalara hatalı ürünlerin iade edilmesi, üretici firmalar için büyük maliyet ve itibar kaybıdır. (Çelik, A. 2016). Sanayi alanında metal, alüminyum, demir, ray, saç, tekstil ürünleri üzerinde üretim aşamasında kusurlar oluşabilmektedir.

Fabrikalarda üretilen ürünlerin ilk aşamada hızlı kalite kontrolünün yapılması çok büyük önem arz etmektedir. Hatalı ürünün kısa sürede tespiti gerçekleşirse fabrika anında çözüm mekanizmasını devreye sokabilmektedir. Günümüzde birçok üretici kalite kontrolünü çalışan personeller tarafından gözle kontrol ederek gerçekleştirmektedir. Ancak bilgisayar destekli akıllı bir görüntü işleme sistemiyle, üretilen ürünlerin görüntüleri üzerinden, hızlı bir kalite, kusur kontrol sistemin olması büyük fayda sağlayabilir(Çelik, A. 2016), (Orak, İ. M. & Çelik, A. 2017).

E. Karami ve arkadaşları yaptıkları çalışmada SIFT, SURF, BRIEF algoritmaları hakkında bilgi vermişler ve bu algoritmalar arasındaki performans farklılıkları işlemişlerdir. Bu algoritmalar birden fazla görselin birbirine benzeyip benzemediğini bulan algoritmalar. Yapmak istediğimiz projenin uygulanma kısmında hız çok önemli bir etkidir bu yüzden en hızlı şekilde işlemin yapılması gerekmektedir(Karami, E. Prasad, S. & Shehata, M. 2015).

A. Serdaroglu ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, bez üzerindeki hatalar üzerinde durulmuştur. Wavelet transform kullanılarak oluşturulan kalite kontrol algoritmasından yararlanılabilir (Serdaroglu, A., Ertuzun, A. & Ercil, A. 2016). N. Jayanthi, Genel olarak feature detection'dan bahsedilmiş ve Blob detection, Template matching, Surf feature detection teknikleri 7 özelliğine göre farklı görsel örnekleri ile karşılaştırılmıştır(Jayanthi, N. & Sreedevi, I. 2018). S.Anitha, Görsel üzerinde Contrast, Adjustment, Intensity adjustment, Histogram equalization, Binarization ve Morphological operation teknikleri kumaş üzerindeki defolu kısımların tespit edilmesini kolaylaştırma açısından birbiri ile karşılaştırılmış(Anitha, S. & Radha, V. 2010).

Oni, D.I., Tekrar eden desenlerin kullanıldığı kumaşlarda hata kontrolü yapmak amacıyla sınıflandırma algoritmaları kullanılarak sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır(Oni, D.I., Ojo, J.A\*, Alabi, B.O., Adebayo, A.A., & Amoran, A.E). Qülin C., Tekstil ürünü üzerinde lokal hataların bulunmasına yönelik yapılmış bu çalışmada Gauss piramidi ve Seçici arama (Selective search metotları) kullanılmıştır(Chena, Q., Jessomeb, R., Maggardb, E. & Allebacha, J. P.). Kazım Hanbaya Bu makalede kumaş hata tespitinde kullanılacak Kamera lens, ışık ve poz yakalayıcı (Frame Grabber) seçimi üstünde durulmuş bununla birlikte yapısal yaklaşımlar, istatistiksel yaklaşımlar, spectral (Wavelet, Fourier, Gabor transform teknikleri) yaklaşımlar, model tabanlı yaklaşımlar, öğrenme tabanlı yaklaşımlar, hibrit olarak bu yaklaşımların hata tespitinde kullanılması değerlendirilmiştir(Hanbaya, Kazım., Talub, M. F. & Özgüvenc, Ö. F.).

Bu projede herhangi bir tekstil ürününün üzerine yapılan fabrikasyon baskı boya işleminin kalite kontrol aşamasında uyarı ve destek yapılması amacıyla orijinal görüntü ile baskısı yapılmış görüntünün karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu noktada konumuz nevesim ürünü ile sınırlandırılacaktır. Bunun sebebi hem örnek görüntülerin nevesim baskısı yapan bir firma tarafından alınması hem de nevesim ürününün bir bant şeklinde aralıksız olarak sarılması ve bu aşamada kamera aracılığıyla bant üzerinden daha kolay veri alınmasıdır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Grayscale

Renkli görüntünün pikselleri gri tona çevrilir. 3 farklı gri değere dönüştürme gerçekleştirilebilir. En yaygın kullanılan yöntem ortalama gri değere dönüştürme işlemidir.

### 2.2. Template matching

Orijinal resimdeki bütünden parçanın hangi kısımda olduğunu anlamak gerekiyor bu teknik kullanılarak hangi parça olduğu gösterilir.

### 2.3. Pixel Difference

Piksel farklarının mutlak değerini alıp aradaki fark matematiksel bir ifadeye koyarak bir benzerlik değeri bulabileceğiz.

#### 2.3.1. Pixel difference kod uygulaması

Karşılaştırılacak görsellerin boyutları alınıyor. Burada dikkat edilmesi gereken nokta aynı boyutta olmalarıdır. Şekil 1 üzerinde karşılaştırılacak iki görüntünün boyutları, ilgili değişkenlere atayan kod görülmektedir.

```
int width = img1.getWidth();
int height = img1.getHeight();
int width2 = img2.getWidth();
int height2 = img2.getHeight();
```

Şekil 1. Değişken atama kodları

Bu işlem basamağından sonra eğer görseller kriterlere uygunsa matris yöntemi ile x,y düzleminde hareket edilerek piksellerin tek tek RGB (Red:Kırmızı, Green:Yeşil, Blue:Mavi) değerleri alınarak karşılaştırılıyor(Şekil 2).

```
long diff = 0;
for (int y = 0; y < height; y++) {
    for (int x = 0; x < width; x++) {
        diff += pixelDiff(img1.getRGB(x, y), img2.getRGB(x, y));
    }
}
```

Şekil 2. RGB değerlerinin karşılaştırma kodu

### 2.3.2. Piksel difference işlemi

Burada R, G, B değerlerini ayrı ayrı elde etmek için Righth Shift işlemi uygulanıyor. Binary değerler R, G, B için 16 bit kaydırılıp ilk 8 bit'in sona gelmesi sağlanıyor.

Red: 255  
Green: 0  
Blue: 0

Binary: 111111110000000000000000

Şekil 3. Shift işlemi

Kaydırma işleminden sonra & 0xff işlemi ile kaydırmış olduğumuz R, G, B değerlerini elde etmiş oluyoruz. 0xff işlemi kaydırılan değeri AND işlemine sokarak ilk 16 bit'in kaldırılmasına sadece ihtiyacımız olan değer kısmını elde etmemizi sağlar.

```
0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1
& 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1
-----
0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 0 1 0 1 0 1
```

Şekil 4. 0xff işleminin uygulanışı

Aşağıdaki kodlar ile bu işlemi tüm R,G,B değerleri için uygulanır. Elde edilen değerler mutlak değer içerisinde bir birinden çıkararak farkları toplayıp değeri tüm piksel'lerin farklı olma durumuna göre karşılaştırarak arasındaki farklılık ne kadar küçükse iki görüntü arasında benzerlik o kadar fazladır.

```
int r1 = (rgb1 >> 16) & 0xff;
int g1 = (rgb1 >> 8) & 0xff;
int b1 = rgb1 & 0xff;
int r2 = (rgb2 >> 16) & 0xff;
int g2 = (rgb2 >> 8) & 0xff;
int b2 = rgb2 & 0xff;
return Math.abs(r1 - r2) + Math.abs(g1 - g2) + Math.abs(b1 - b2);
```

Şekil 5. RGB değerlerinin üzerinde Shift işlemi ve iki görüntünün karşılaştırılması

## 2.4. Algoritma Tanımı

Bu çalışmanın gerçekleştirilme aşamalarından en önemlisi, uygun görüntünün kaliteli kameralar yardımıyla elde edilmesine bağlıdır. Eğer elde edilen görüntüler üzerinde istenmeyen pikselleşmeler varsa belirli oranda bulanıklaştırılmalı, açıklık değeri, zıtlık değeri ayarlanarak hatalı pikselleştirilmelerin önüne geçilmesi başarı oranını arttıracaktır(Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R. & Simoncelli E. P. ).

Bu çalışmada en önemli diğer adım ise tekstil üzerindeki kusur tespiti yapacak yöntemdir. Kusur tespiti için Orak, I.M ve Çelik A. ray yüzeylerindeki kusur tespitlerini geliştirdikleri COLMSTD algoritmasıyla yapmışlardır(Çelik, A. 2016)(Orak, İ. M. & Çelik, A. 2017). Ancak SIFT, MSE ve KNN gibi diğer yöntemlerde görüntü üzerinde kusur tespitleri için kullanılabilir.

### 2.4.1 SIFT

Bölgesel özellikleri tanıyarak karşılaştırmada daha doğru sonuca ulaşmamızı sağlayacaktır(Laganière, R. 2011) .

### 2.4.2 MSE

Görüntü karşılaştırmada hataların karelerinin ortalamasını ölçer - yani, tahmini değerler ile gerçek değer arasındaki ortalama kare farkıdır(Laganière, R. 2011) .

### 2.4.3 KNN

Makine öğrenmesinde kullanılan sınıflandırma yapmaya yarayan algoritmadır. Proje hayata geçirildiğinde örneklemeler verilerek sistemin kalite kontrol yapması ve daha doğru sonuçlara ulaşmak için gerekli bir tekniktir(Peterson, L. E. 2009) .

### 2.4.4 Canny edge detector

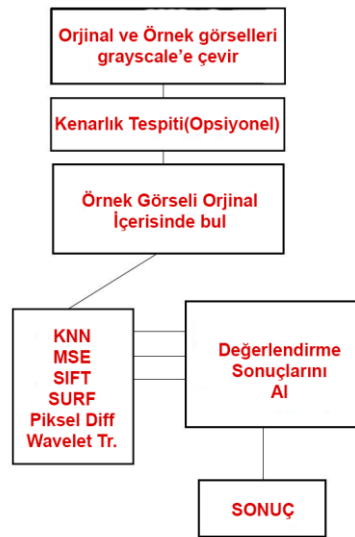
Resimlerin kenarlıklarının çıkarılmasını sağlar. Uygulama Java dilinde programlanacaktır. Bununla birlikte Open CV Kütüphanesi kullanılarak görüntü işleme teknikleri uygulanacaktır(Laganière, R. 2011) .

## 2.5. Algoritmanın Akış Şeması

Yapılan bu çalışmada elde edilen görüntü üzerinde planlanan işlem basamaklarının uygulanması gerekmektedir. Şekil 6 üzerinde uygulamanın genel akışı verilmiş olup farklı teknikler sırasıyla uygulanıp sonuçlar alınabilir. Burada piksel difference(Piksel Fark) yöntemi kullanılmıştır Burada ayrıca kenarlık tespiti kullanılacak olup alınan sonuçlar daha geliştirilecektir.

Algoritmada birinci adımda kumaş yüzeyindeki desenin görüntüsü alınacaktır. İkinci adımda kenarlık tespiti yapılarak desenin sınırları çizilecektir. Ancak bu seçenek kullanıcı seçimine bağlı olacaktır. Üçüncü adımda gerçek desenin(ana desen) kumaş yüzeyinde varlığı kontrol edilir. Aslında gerçek desen ile kumaş yüzeyindeki konumu tespit edilir. Dördüncü adımda ise benzerlik oranı hesaplanır. Burada piksel fark yöntemi kullanılmıştır. Beşinci adımda ise sonuçlar form üzerinde gösterilir. Altıncı adımda algoritmanın bitirilir.

Uygulama sonucunda yüzdelik cinsinden 0(sıfır)a yakın farklılık varsa, gerçek desen ile kumaş yüzeyindeki farklılık az demektir ve kusur oranı azdır. Farklılık çok ise baskı kalitesinde bozukluk var demektir.



Şekil 6. Uygulama Algoritmasının Genel Yapısı



Uygulamada kullanılacak olan fabrikadan ve alınmış basımı yapılmış örnek nevresim örneği ile değerlendirilecektir(Şekil 7). Desenler 240x64 cm boyutlarındaki kumaşlara uygulanır.



DESEN NO	:12769	KALIPLAR	
MÜŞTERİ	: ayt	1	k.fusya
MÜŞTERİ DESEN İSMİ	: desen 4	2	fusya
RAPORT	:64	3	k.gul
BASKI ENİ	:240	4	a.gul
TAKIMLARI	:	5	k.bej
BOYA VE KUMAŞ	: pigment-ranforce	6	bej
VARYANT DURUMU	: varyantlı kumaşları var	7	yavruagzı
TARİH	:21.09.2017	8	k.yesil
APRE DURUMU	:	9	yesil
		10	gri
		11	a.gri
		12	zemin
		13	

Şekil 7. Örnek bir orijinal nevresim deseni

Şekil 8’te basımı yapılmış iki görüntü verilmiştir. Görüntülerden biri siyah zemine diğeri beyaz zemine konumlandırılmıştır.



Şekil 8. Fabrikadan alınmış basım yapılmış nevresim görseli

Bununla birlikte test olması açısından örnek görüntüler;



Şekil 9. Örnek görseller

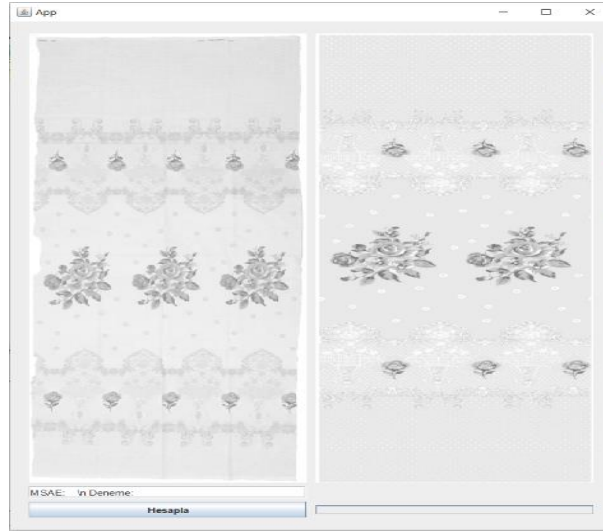
Aşağıda kullanılan görsellerin açıklamaları mevcuttur.

Tablo 1. Görsel açıklaması

Görüntü Tanımı	Görüntü Özelliği
Main.png	Şablon Görsel
Hatali1.png	Az Farklılık içeren
Hatali3.png	Çok farklılık içeren
Hatali2.png	Renk ve şekil farklılıkları

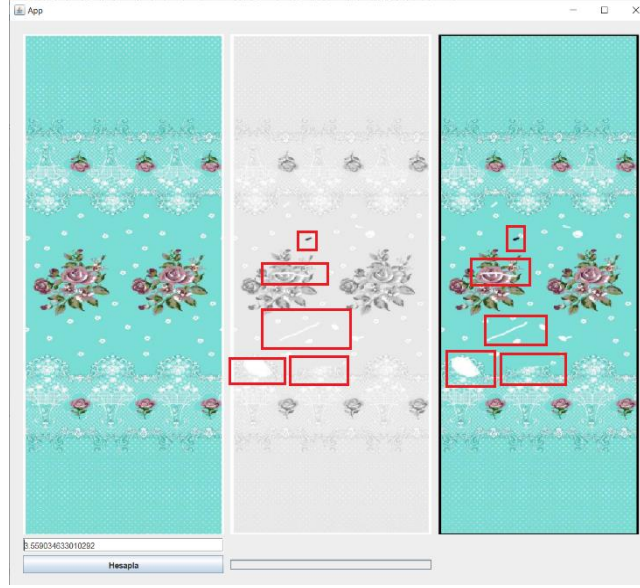
## 2.6. Uygulama Gerçekleştirme

Şekil 10 üzerinde Grayscale çevirme işlemi uygulanmış görseller;



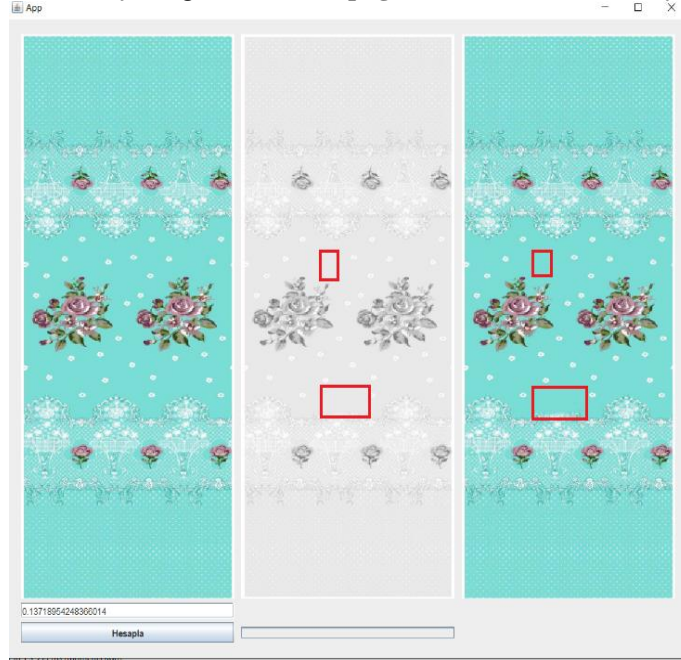
Şekil 10. Grayscale çevrilmiş görseller

Şekil 11'de piksel farklılığı kullanılarak alınmış sonuç mevcuttur(hatali3.png). Sonuç : %3,55 farklılıktır.



Şekil 11. Yüksek hata içeren görseller

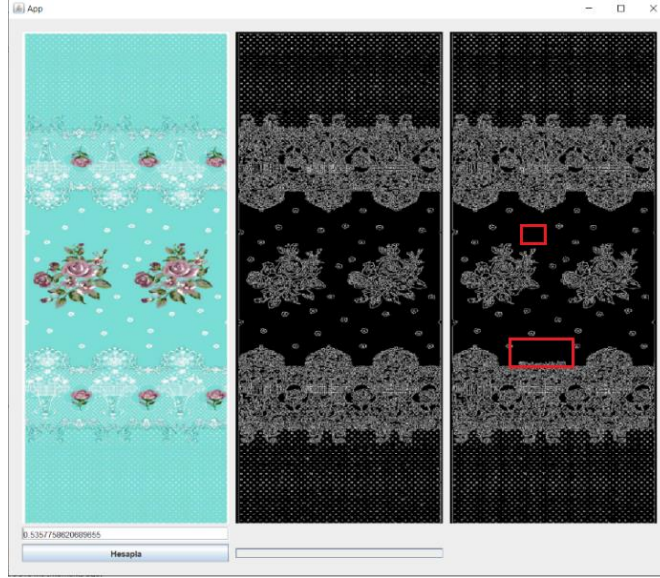
Yine aynı algoritma kullanılarak daha az hata içeren görsel (**hatali1.png**) kullanılarak alınan sonuç ise %0,16 farklılık olmuştur.



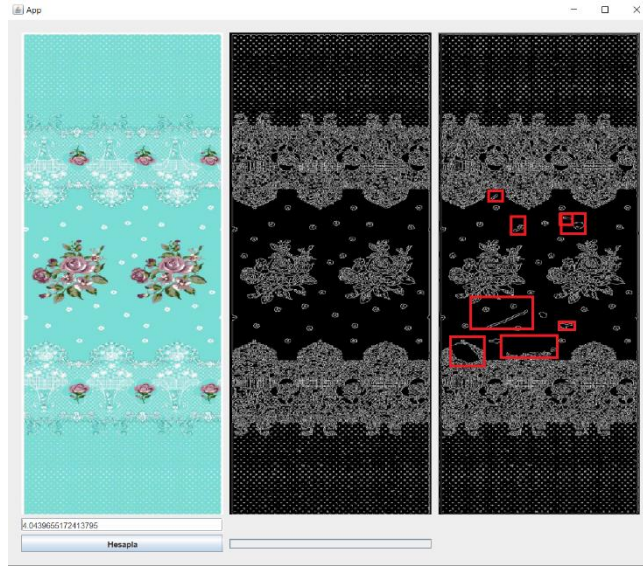
Şekil 12 Düşük hata içeren görseller

### 2.6.1. Canny Edge Detector Kullanılarak Pixel Difference Uygulaması

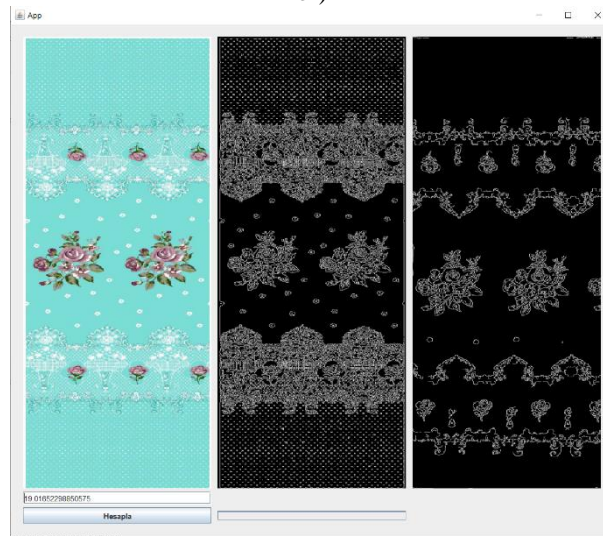
Bu uygulamada örnek görseller üzerinde ilk önce Canny Edge Detector kullanıyoruz. Aldığımız sonuç görselleri tekrar pixel difference uygulayarak sonuçları gözlemliyoruz.



a-)



b-)



c-)

Şekil 13. a,b,c Desen üzerinde Kenar Tespiti yapılarak kusurlu değer bulma



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Karşılaşılan Zorluklar

Yapılan çalışmada desen hizalamalarının düzgün olması gerekmektedir. Bu yüzden kumaş yüzeyinden görüntü alınma aşamasında desenin başlangıç ve bitiş noktaları doğru işaretlenmeli ve görüntü kamera ile buradan doğru uzaklıklarda alınmalıdır. Bu çalışmada çok tercih edilen Template matching yöntemi uygulanmış ancak uygulamada tam istenilen sonuç alınamamıştır. Kumaş deseni görseli içersinde, verilen gerçek desen örneğinin yeri istenilen ölçüde bulunamamıştır. Bu engel farklı nesne tanıma algoritmalarıyla çözümlenmeye çalışılacaktır.

#### 3.2 Bulgular

Yapılan çalışmadaki bulgular piksel difference işleminin hataları saptamak adına kullanılabileceğini ortaya koymaktadır. Yüksek hata içeren ürünlerde az olana göre değer yükselmiştir. Bu değer kenar tespit uygulanarak daha da artmıştır. Burada yapılabilecek işlem firmaların uygulamalarında hataları ne derecede önemsedikleri ne gibi durumlarda uyarı sisteminin harekete geçireceği bilgisini almak ve bu bilgiye göre sınırları oluşturmak olacaktır.

#### 3.3 Tartışma

Yapılan çalışmaların yoğun olarak tekstil ürünlerinin dokuma kalitesi konusunda olduğu anlaşılmaktadır. İplik dokuması hataları, yanlış şekilde örülmüş bölümler, delinme, yırtılma gibi bölümlerin saptanması konusunda başarılı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmalarda kullanılan tekniklerden faydalanılabilir. Baskı konusunda piksel difference tekniği örneklerden anlaşılacağı üzere anlamlı bir bilgi vermektedir. Bu teknik ile birlikte kullanılacak amaca yönelik farklı teknikler uygulamada daha doğru sonuçlar üretmemizi sağlayabilir.

### 4. Sonuç

Ülkemizde tekstil alanında üretimin yoğun olması ve görüntü işleme tekniklerinin ilerlemiş olması bu iki alanın ortak bir paydada daha sık buluşabileceğini gösteriyor. Tekstil firmalarında kalite kontrol anlamında otomasyon çok fazla bulunmuyor bu konuda yabancı otomasyonlar mevcut fakat yerli üretim yukarıdaki teknikler ilerletilerek uygulanabilir durumdadır.

### Kaynakça

- Çelik, A. (2016). Haddelme İşlemi Sırasında Ray ve Profil Yüzeylerinde Oluşan Kusurların Tespit Edilmesine Yönelik Paralel İşlemci Uygulaması. Karabük Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Orak, İ. M. & Çelik, A. (2017). Üretim aşamasında ray ve profilde oluşan kusurların tespitine yönelik bir paralel kusur algılama algoritması, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2),: 439-448.
- Karami, E. Prasad, S. & Shehata, M. (2015) Image Matching Using SIFT, SURF, BRIEF and ORB: Performance Comparison for Distorted Images. *Conference: 2015 Newfoundland Electrical and Computer Engineering Conference*.
- Serdaroglu, A. , Ertuzun, A. & Ercil, A. (2016) Defect Detection in textile fabric images using wavelet transforms and independent component analysis. *Pattern Recognition and Image Analysis*, pp. 16(1):61-64
- Jayanthi, N. & Sreedevi, I. (2018) Comparison of Image Matching Techniques.
- Anitha, S. & Radha, V. (2010) Comparison of Image Preprocessing Techniques for Textile Texture Images.
- Oni, D.I., Ojo, J.A\*, Alabi, B.O., Adebayo, A.A., & Amoran, A.E. Patterned Fabric Defect Detection and Classification (FDDC) Techniques: A Review.
- Chena, Q., Jessomeb, R., Maggardb, E. & Allebacha, J. P. Segmentation-Based Detection of Local Defects on PrintedPages
- Hanbaya, Kazım., Talub, M. F. & Özgüvenc, Ö. F. Fabric defect detection systems and methods—A systematic, literature review.
- Wang, Z., Bovik, A. C., Sheikh, H. R. & Simoncelli E. P. Image Quality Assessment: From Error Visibility to Structural Similarity.
- Laganière, R. (2011) *OpenCV Computer Vision Application Programming Cookbook*, **PACKT Publishing**, Birmingham-Mumbai, 10-200.
- Peterson, L. E. (2009) K-nearest neighbor. [Online]. Available:[http://scholarpedia.org/article/K-nearest\\_neighbor](http://scholarpedia.org/article/K-nearest_neighbor)





# Çok Antenli Bilişsel Radyolarda GLRD Tabanlı Spektrum Algılama\*\*

Meryem Yazar<sup>1</sup>, Fatih Yavuz Ilgın<sup>2\*</sup>, Cebraail Çiflikli<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali YILDIRIM Üni, Fen Bilimleri Ens.Elektrik Elektronik Mühendisliği ABD Yüksek Lisnas Öğrencisi, Erzincan, Türkiye

<sup>2</sup>Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7449-4811)

<sup>3</sup>Kayseri Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Otomasyon Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7449-4811)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf36)

**ATIF/REFERENCE:** Yazar, M., Ilgın, F. Y & Çiflikli, C. (2020). Çok Antenli Bilişsel Radyolarda GLRD Tabanlı Spektrum Algılama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 285-291.

## Öz

Bilindiği gibi, çok antenli Bilişsel Radyo sistemleri için özdeğer tabanlı spektrum algılama yöntemleri algılanacak sinyale ilişkin önceden hiçbir bilgi gerektirmemesi nedeni ile oldukça tercih edilen bir yöntemdir. Bunun yanısıra özdeğer tabanlı algılama yöntemleri genellikle gürültü belirsizliği faktöründen en az etkilenen yöntemlerdir. Özdeğer tabanlı algılama yöntemlerinde algılama performansı, test istatistiğinin doğru hesaplanmasına ve eşik değerine bağlıdır. Bu çalışmada genelleştirilmiş en çok olabilirlik tabanlı algılama (Generalized Likelihood Ratio Detection- GLRD) yöntemlerinde farklı eşik değerlerinin performans değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Eşik değeri hesaplanırken, Wishart matrisleri için farklı olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak yanlış algılama olasılığı ( $P_{fa}$ ) ve eşik değeri teorik olarak verilmiştir. Benzetim çalışmaları, MIMO-OFDM sistemleri için gürültü belirsizliği altında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca benzetim çalışması sonuçlarında en yaygın spektrum algılama yöntemlerinden olan enerji algılamaya da yer verilmektedir. Yapılan benzetim çalışmaları farklı gürültü seviyeleri için verilmektedir. Alınan sonuçlara göre iyileştirilmiş GLRD yönteminin başarılı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bilişsel Radyo, GLRD Eşik Değeri,,MIMO-OFDM Sistemleri, Tracy-Widom Dağılımı, Spektrum verimliliği,

## Multiple Antenna Spectrum Sensing Based on GLR Detector in Cognitive Radios

### Abstract

As it is known, eigenvalue-based spectrum detection methods are very preferred method for multi-antenna Cognitive Radio systems since they do not require any prior knowledge of the signal to be detected. In addition, eigenvalue based detection methods are generally the least affected by the noise uncertainty factor. In eigenvalue-based detection methods, detection performance depends on the correct calculation of the test statistics and the threshold value. In this study, it is aimed to evaluate the performance of different threshold values in generalized Likelihood Ratio Detection (GLRD) methods. While calculating the threshold value, misperception probability ( $P_{fa}$ ) and threshold value are given theoretically using different probability distribution functions for Wishart matrices. Simulation studies were carried out under noise uncertainty for MIMO-OFDM systems. In addition, energy detection, which is one of the most common spectrum sensing methods, is included in the results of the simulation study. Simulation studies are given for different noise levels. According to the results, it is observed that the improved GLRD method gives successful results.

**Keywords:** Cognitive Radio, GLRD Threshold Value ,MIMO-OFDM Systems, Tracy-Widom Distribution, Spectrum efficiency

\* **Sorumlu Yazar:** Erzincan Binali YILDIRIM Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Müh. Bölümü, Erzincan, Türkiye, [fyilgin@erzincan.edu.tr](mailto:fyilgin@erzincan.edu.tr) (ORCID: 0000-0002-7449-4811)

\*\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Yapılan son ölçümler, frekans spektrumunun büyük bir bölümünün zamanın önemli bir bölümünde kullanılmadığını ortaya koymaktadır. Bu durumun en önemli nedeninin sabit spektrum atama yöntemleri olduğu bilinmektedir. Kablosuz iletişimde sunulan hizmet standardı ve bu hizmetlerden yararlanan kullanıcı sayısı giderek arttığından, sabit spektrum politikası artık sürdürülebilir olmaktan çıkmıştır. Günümüzde en önemli çözüm yöntemlerinden biri, Bilişsel Radyo (BR) sistemleridir. BR sistemlerinin amacı, frekans boşluklarını tespit etmek ve bu frekans boşluklarını lisanssız ikincil kullanıcılara tahsis etmektir (Kortun, Ratnarajah, Sellathurai, Liang, & Zeng, 2014). Bu teknolojiyi uygulamanın en büyük zorluklarından biri, spektrumda birincil kullanıcı olup olmadığını en doğru şekilde belirlemektir. Bu zorlukla baş edebilmek için literatürde farklı yöntemler önerilmiştir. Filtre eşleştirme (QI, PENG, WANG, & LUO, 2009), enerji algılama (Verma & Singh, 2016), döngüsel durağanlık algılama (S & Jayasheela, 2012), özdeğer tabanlı algılama (Çiflikli & Ilgin, 2018) ve kovaryans tabanlı algılama (Wei, Tirkkonen, & McKay, 1993), spektrum algılama için en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Bu yöntemler kendi içinde avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Örneğin, filtre denkleştirme yöntemi için algılanacak olan sinyal istatistiksel özellikleri bakımından tam olarak bilinmelidir (işaret varyansı, modülasyon türü vb.). Çevrimsel durağanlık algılama yöntemi sadece Dikgen Frekans Bölüşümlü Çoğullama (Orthogonal Frequency Division Multiplexing-OFDM) tabanlı işaretlere uygulanabilir olması bu yöntemin dezavantajlarından biridir (Bandari, Vakamulla, & Drosopoulos, 2018). Enerji algılama yöntemi hesaplama maliyeti açısından oldukça basit olsa da uygulamadaki zorlukları da beraberinde getirmektedir (Lavanya & Bhagyaveni, 2019). Bu zorluklardan en önemlisi enerji algılama yönteminin başarılı bir algılama yapabilmesi için, ortamda varolan gürültü varyansının tam olarak bilinmesi gerekliliğidir. Enerji algılama tabanlı spektrum algılama performansı, özellikle gürültü belirsizliği altında, önemli ölçüde bozulabilir. Bazı algılama yöntemlerinde gürültü sinyali ve birincil kullanıcı sinyali hakkında önceden herhangi bir bilgi (varyans, modülasyon, kanal bilgisi) gerektirmediğinden uygulama açısından kolay olmaktadır. Bu yöntemlerin başında özdeğer tabanlı algılama yöntemleri gelmektedir. Ayrıca bu yöntemlerin çoğunda, test istatistiği ve eşik değeri, gürültü varyansından bağımsız olduğundan, bu yöntemler gürültü belirsizliği faktöründen önemli ölçüde etkilenmez. Literatürde özdeğer tabanlı algılama için farklı yöntemler önerilmiştir. Maksimum Minimum Özdeğer (MMÖ) (Zeng & Liang, 2009) ve Genelleştirilmiş En çok Olabilirlik Oranı (GEO) (Liu, Z., Wang, 2017) gibi yöntemler performans bakımından önemli bir yer tutmaktadır. Bu yöntemler hesaplama maliyeti ve performansı açısından oldukça faydalı olsa da kovaryans matrisinin en büyük özdeğer dağılımı için uygun bir fonksiyon kullanılmadığından eşik değerleri doğru bir şekilde hesaplanamamıştır. Özellikle geleneksel yöntemle hesaplanan gürültü belirsizliği altındaki eşik değeri, bu yöntemlerde performansın düşmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, özdeğer tabanlı algılama yöntemlerinde performans artışı sağlamak için eşik değerlerinin iyileştirilmesi gerekir.

Bu çalışmada toplanır beyaz Gauss gürültüsü ve Çok Giriş Çok Çıkışlı Sistemler (Multiple Input Multiple Output-MIMO) MIMO-OFDM sistemleri için Rayleigh sönmülenmeli kanal altında spektrum algılama sorunu incelenmektedir. Eşik değerinin belirlenmesi, spektrum algılamada algılayıcı performansını etkileyen en önemli faktörlerden biri olarak sayılabilir. Bu nedenle yapılacak çalışmalarda eşik değerinin doğru belirlenmesi çok önemlidir. Bu nedenle bu çalışmada GLRD tabanlı spektrum algılama yöntemleri için farklı eşik değerlerinin algılama performansları karşılaştırılmaktadır. Ayrıca benzetim sonuçlarında enerji tabanlı algılama için de ölçüm yapılmaktadır.

Bu çalışmanın organizasyonu şöyledir. İkinci bölümde, GLRD tabanlı spektrum algılama ve temel varsayımlar sunulmuştur. Üçüncü bölümde literatürde bulunan yeni eşik değeri ile, yanlış alarm olasılığı ( $P_{fa}$ ) ve algılama olasılığı ( $P_d$ ) teorik olarak hesaplanarak yarı kör bir GLRD tabanlı algılayıcı için teorik analizler yapılmaktadır. Dördüncü bölümde kör GLRD algılayıcısı için eşik değeri,  $P_{fa}$  ve  $P_d$  değerlerine teorik olarak yer verilmektedir. Benzetim çalışmaları beşinci bölümde, sonuçlar ise altıncı bölümde verilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

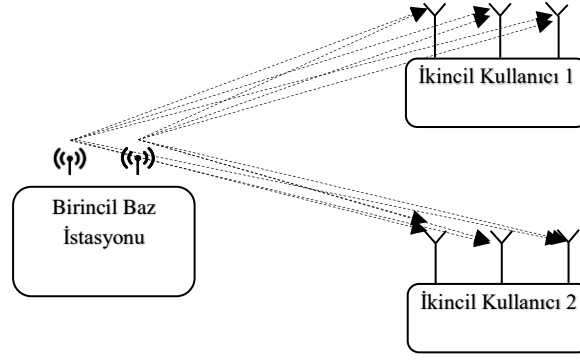
### 2.1. Genel Varsayımlar ve Spektrum Algılama

Çok antenli BR sistemleri için Rayleigh sönmümlü kanal altında  $m$  adet ile donatılmış ikincil kullanıcıların spektrum algılama problemi göz önünde bulundurulmaktadır (Şekil 1). Buradaki başlıca hedef, birincil/lisanslı verici pasif olduğunda bu frekans bandını ikincil kullanıcılar için kullanılabilir hale getirmektir. Bu nedenle ikincil kullanıcıların bu spektrumu sürekli olarak tespit etmesi ve bu spektrumu lisanslı kullanıcı etkin olmadığına kullanması amaçlanmıştır. Birincil kullanıcı sinyali sıfır ortalamalı ve Gauss dağılıma sahip olduğunu varsayıyoruz. Böylece  $H_0$  da ilgili spektrumun boş olduğunu veya ikincil kullanıcıların spektrumun bu bölgesini fırsatçı olarak kullanabileceğini belirtmektedir.  $H_1$  ise bu spektrum bölgesinin dolu olduğunu göstermektedir. Bu temel iki varsayım matematiksel olarak Eşitlik (1) ve Eşitlik (2) 'de ifade edilmektedir (Kortun, Sellathurai, Ratnarajah, & Zhong, 2012).

$$H_0 : \mathbf{x}(n) = \boldsymbol{\eta}(n) \quad (1)$$

$$H_1 : \mathbf{x}(n) = \mathbf{s}(n) + \boldsymbol{\eta}(n) \quad (2)$$

Burada  $\boldsymbol{\eta}(n)$ , sıfır ortalamalı Gauss dağılımlı gürültü işaretini,  $\mathbf{s}(n)$ , birincil kullanıcı sinyalini temsil etmektedir.  $\mathbf{x}(n)$  ise  $m$  adet ikincil kullanıcı tarafından alınan işaretlerin bir matriste depolanmış biçimidir. Bu nedenle, sistemdeki ikincil kullanıcı sayısı  $m$  olduğunda ve  $n$  adet örnek alındığında,  $\mathbf{x}(n)$  matrisi  $pxn$  boyutunda olmaktadır. Bu durumda, (3) ve (4) nolu eşitlikleri olasılık dağılım fonksiyonları açısından aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.



Şekil 1. Bilişsel Radyo Sistemleri için Önerilen Algılama Modeli

$$H_0 : \mathbf{x}(n) \sim CN(0, \sigma_n^2 I_m) \quad (3)$$

$$H_1 : \mathbf{x}(n) \sim CN(0, \sigma_x^2 h h^H + \sigma_n^2 I_m) \quad (4)$$

Burada  $h \in \mathbb{C}^{m \times 1}$ , birincil kullanıcı ile  $m$ . anten arasındaki kanal katsayısı vektörünü,  $\sigma_x^2$  ve  $\sigma_n^2$  sırasıyla, birincil kullanıcı sinyali ve gürültüsünün varyansını göstermektedir. Böylece, her iki hipotez altında alınan sinyalin kovaryans matrisleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır (Maaref & Aïssa, 2007).

$$H_0 : \mathbf{R}_\eta = \boldsymbol{\eta}(n) \boldsymbol{\eta}(n)' \quad (5)$$

$$H_1 : \mathbf{R}_x = \mathbf{x}(n) \mathbf{x}(n)' \quad (6)$$

Burada  $\mathbf{R}_\eta$ , Wishart matrisidir. Bu matrislerin en büyük özdeğer dağılımı, son birkaç yılda, sayısal haberleşme de dahil olmak üzere birçok çalışmanın yapıldığı bir konudur. Wishart matrislerinin en büyük özdeğer dağılımı için ilk kapalı fonksiyon Jhonstone tarafından bulunmuş olsa da en doğru kapalı fonksiyon Deo tarafından elde edilmiştir (Deo, 2016a).

$$\frac{\lambda_{\max} \mathbf{A}(n) - \mu_c}{\sigma_c} \rightarrow TW_1 \quad (7)$$

Burada  $\rightarrow TW_1$  ifadesi  $m, p \rightarrow \infty$  koşulu ile bu eşitliğin 1. Dereceden Tracy-Widom dağılımına yakınsayacağını göstermektedir. Ayrıca  $\lambda_{\max}$  kovaryans matrisi en büyük özdeğerinin tanımlanmaktadır. Bu eşitlikte kullanılan bazı parametreler Teorem 1 ile verilmektedir (Deo, 2016b).

Teorem 1: Gürültünün karmaşık olduğunu varsayalım.

$$\mathbf{A}(n) = \frac{n}{\sigma_\eta^2} \mathbf{R}_\eta, \quad \mu_{n,m} = n^{-1} \left( \sqrt{n - \frac{1}{2}} + \sqrt{m - 1/2} \right)^2, \quad \sigma_{n,m} = (\mu_{n,m}/n)^{1/2} \left( \frac{1}{\sqrt{n-1/2}} + \frac{1}{\sqrt{m-1/2}} \right)^{1/3}, \quad \mu_c = \mu_{n,m} + a \sigma_{n,m} \quad \text{ve} \quad \sigma_c = \sqrt{\frac{nm}{2+nm}} (\sigma_{n,m,0}^2 - \mu_c^2) \quad \text{olsun.}$$

Burada  $a, b$  ve sırasıyla  $-1.206548, 1.267941$ 'e eşittir. Ve  $\sigma_{n,m,0} = b \sigma_{n,m}$  anlamına gelmektedir. Bu nedenle  $\frac{\lambda_{\max} \mathbf{A}(n) - \mu_c}{\sigma_c}$ , birinci dereceden Tracy-Widom dağılımına yakınsamaktadır.

Spektrum algılama uygulamalarında genellikle bir test istatistiği eşik değeri ile karşılaştırılıp buna göre spektrum kararı verilmektedir. Yarı-kör GLRD dedektörü için Neyman-Pearson kuralına göre test istatistiği ve algılama kuralı aşağıda belirtilmiştir (He, Ratnarajah, Yousif, Xue, & Sellathurai, 2016).

$$\frac{\lambda_{\max}}{\sigma_n^2} \underset{H_0}{\geq} \gamma_{yk} \quad (8)$$

Burada  $\frac{\lambda_{\max}}{\sigma_n^2}$  ve  $\gamma$  sırası ile Test İstatistiğini (Tİ) ve eşik değerinin gösterir. Dikkat edilirse, test istatistiği gürültü varyansına bağlıdır. Bu nedenle, bu yöntem yarı kör yöntem olarak tanımlanmaktadır. Yöntemin doğru kararı verme yeteneği, gürültü gücü tahminine ve

eşik değerine bağlıdır. Kör GLRD yöntemine gelince, test istatistiği yalnızca alınan sinyalin özdeğerlerine bağlıdır (gürültü gücünün tahmini gerekli değildir). Bu nedenle, yöntem kör algılama olarak bilinmektedir. Kör GLRD için test istatistiği aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$\frac{\lambda_{max}}{\sum_{i=2}^m \lambda_i} \underset{H_0}{\overset{H_1}{\geq}} \gamma_k \quad (9)$$

## 2.2. Yarı-Kör GLRD dedektörü İçin Eşik Değerinin Hesaplanması

Bu bölümde yarı kör GLRD için eşik değeri elde edilmektedir. Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) 'den görülebileceği gibi eşik değerin doğruluğu yöntemin başarısını doğrudan etkiler. Algılama teorisine göre yanlış alarm olasılığı ve algılama olasılığı, aşağıdaki koşullu olasılıklarla tanımlanmaktadır (Abbas Taherpour, Masoumeh Nasiri-Kenari, 2010).

$$P_{fa} = P(TS > \gamma_{yk} | H_0) \quad (10)$$

$$P_d = P(TS > \gamma_{yk} | H_1) \quad (11)$$

Burada  $\gamma_{yk}$ , yarı-kör GLRD dedektörü için eşik değerini belirtir. Böylece yarı kör GLRD için Pfa aşağıdaki şekilde elde edilmektedir.

$$P_{fa} = P\left(\frac{\lambda_{max}(R_\eta)}{\sigma_\eta^2} > \gamma_{yk}\right) \quad (12)$$

Eşik değerini elde etmek için eşitliğin her iki tarafına  $n$  eklendiğinde, bir taraf birinci dereceden Tracy-Widom dağılımına benzetilmektedir.

$$P_{fa} = P\left(\lambda_{max}(R_\eta) \frac{n}{\sigma_\eta^2} > \gamma_{yk} n\right) \quad (13)$$

Ardından Eşitlik (10) 'da  $\frac{n}{\sigma_\eta^2} R_\eta$  yerine  $A(n)$  yazıldığında Eşitlik (14) elde edilmektedir.

$$P_{fa} = P(\lambda_{max}(A(n)) > \gamma_{yk} n) \quad (14)$$

Eşitlik 14'ü birinci dereceden Tracy-Widom dağılımına benzetmek için gerekli eklemeler eşitsizliğin her iki tarafına yapılmalıdır.

$$P_{fa} = P\left(\left(\frac{\lambda_{max}A(n)-\mu_c}{\sigma_c}\right) > \left(\frac{\gamma_{yk}n-\mu_c}{\sigma_c}\right)\right) \quad (15)$$

Survival fonksiyonu kullanılarak Eşitlik (15) Eşitlik (16)'ya dönüşmektedir .

$$P_{fa} = 1 - F_1\left(\frac{\gamma_{yk}n-\mu_c}{\sigma_c}\right) \quad (16)$$

$$F_1^{-1}(1 - P_{fa}) = \left(\frac{\gamma_{yk}n-\mu_c}{\sigma_c}\right) \quad (17)$$

$$F_1^{-1}(1 - P_{fa}) = \left(\frac{\gamma_{yk}n - (\mu_{n,m} + a\sigma_{n,m})}{\sqrt{\frac{np}{2+np}(\sigma_{n,m,0}^2 - \mu_c^2)}}\right) \quad (18)$$

Son olarak, eşik değeri aşağıdaki gibi elde edilir (Çiflikli & Ilgin, 2018).

$$\gamma_{yk} = \frac{F_1^{-1}(1-P_{fa}) \sqrt{\frac{np}{2+np}(\sigma_{n,m,0}^2 - \mu_c^2)}}{n} + \frac{(\mu_{n,m} + a\sigma_{n,m})}{n} \quad (19)$$

Burada  $F_1^{-1}$ , 1.Dereceden Tracy-Widom dağılımını belirtir. Bu dağılım için bazı değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Birinci Dereceden Tracy-Widom Dağılımı için Sayısal Değerler.

$x$	-3.90	-2.78	-1.27	0.45	2.02
$F_1(x)$	0.01	0.10	0.50	0.90	0.99

### 2.3. Kör GLRD Dedektörü İçin Eşik Değerinin Hesaplanması

Kör GLRD için  $P_{fa}$  aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$P_{fa} = P\left(\frac{\lambda_{\max}(\mathbf{R}_\eta)}{\sum_{i=2}^m \lambda_i} > \gamma_k\right) \quad (20)$$

Burada  $\gamma_k$  kör GLRD dedektörü için eşik değerini belirtir.  $\sum_{i=2}^m \lambda_i \approx (m-1)\sigma_\eta^2$  olduğundan, denklem aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$P_{fa} = P(\lambda_{\max}(\mathbf{R}_\eta) > \gamma_k \sum_{i=2}^m \lambda_i) \quad (21)$$

$$P_{fa} = P\left(\frac{\lambda_{\max}(\mathbf{R}_\eta)}{\sigma_\eta^2} > \gamma_k (m-1)\right) \quad (22)$$

Denklemin bir tarafı birinci dereceden Tracy-Widom dağılımına dönüştürülmelidir.

$$P_{fa} = P\left(\lambda_{\max}(\mathbf{R}_\eta) \frac{n}{\sigma_\eta^2} > \gamma_k n(m-1)\right) \quad (23)$$

$$P_{fa} = P\left(\left(\frac{\lambda_{\max}(\mathbf{A}(n)) - \mu_c}{\sigma_c}\right) > \left(\frac{(\gamma_k n(m-1)) - \mu_c}{\sigma_c}\right)\right) \quad (24)$$

$$P_{fa} = 1 - F\left(\frac{(\gamma_k(m-1)n) - \mu_c}{\sigma_c}\right) \quad (25)$$

$$F_1^{-1}(1 - P_{fa}) = \frac{(\gamma_k(m-1)n) - \mu_c}{\sigma_c} \quad (26)$$

$$F_1^{-1}(1 - P_{fa})\sigma_c + \mu_c = \gamma_k(m-1)n \quad (27)$$

En son olarak, eşik değeri aşağıdaki şekilde elde edilir (Çiflikli & Ilgin, 2018).

$$\gamma_k = \frac{F_1^{-1}(1 - P_{fa})\sigma_c + \mu_c}{(m-1)n} \quad (28)$$

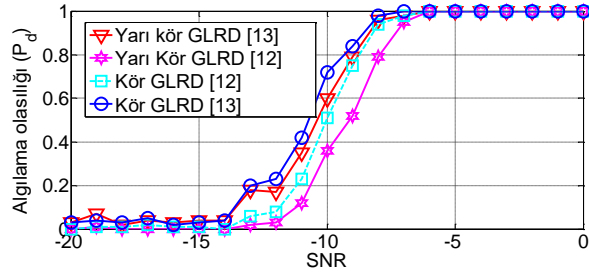
Eşitlik (19) ve eşitlik (28) karşılaştırıldığında yarı kör GLRD tabanlı yöntemde eşik değerinde  $\sigma_{n,m,0}^2$  ifadesi olduğu görülmektedir. Bu ifade eşik değeri hesaplanması için gürültü varyansının bilinmesi gerektiğini göstermektedir. Fakat eşitlik (28)'de eşik değerinin hesaplanması için gürültü varyansına ihtiyaç olmadığı görülmektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Bulgular

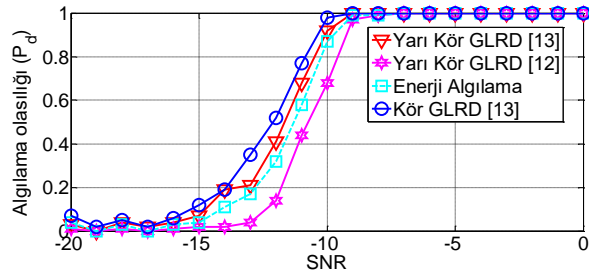
GLRD tabanlı algılama yöntemlerinin performanslarını görmek için bu bölümde benzetim sonuçları verilmiştir. Simülasyonlarda MIMO-OFDM tabanlı haberleşme sistemi kullanılmıştır. GLRD tabanlı algılama yöntemlerinin 2x4 MIMO sistemi için değişen SNR değerlerine karşı algılama performansları Şekil 2.'de verilmektedir.  $P_{fa}$  0.1 olarak seçilmiştir (bu WRAN 802.22 çalışma grubunun izin verdiği sınır değerdir). Sonuçların daha doğru yorumlanması için farklı eşik değeri kullanan GLRD tabanlı algılama yöntemleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 2. 2x4 MIMO-OFDM Sistemi için  $P_d$ - SNR Grafiği,  $n=500$ 

Şekil 2'den görüldüğü üzere bu çalışmada açıklanan eşik değeri kullanıldığında ve geleneksel eşik değeri kullanıldığında GLRD tabanlı algılama yöntemlerinin algılama performanslarında önemli ölçüde fark gözlemlenmektedir.

Şekil 3'te ise Şekil 2'den farklı olarak örnek sayısı 1000 seçilmiştir. BR sistemlerinde algılama süresi oldukça önemlidir. Belirlenen spektrum bölgesi en kısa sürede algılanmalı ve lisanslı kullanıcı tekrar hatta girdiğinde bu bölge boşaltılmalıdır. Bu nedenle algılama işlemi en kısa sürede en az örnek sayısı ile yapılmalıdır. Aksi durumlar lisanslı kullanıcıların spektruma erişimini kısıtlayacağından büyük hukuki sorumluluklar doğurabilmektedir. Ayrıca Şekil 3'te enerji tabanlı algılama sonucuna da yer verilmektedir. Görüldüğü üzere enerji tabanlı algılama GLRD yönteminden daha başarısız bir algılama gerçekleştirmektedir.

Şekil 3. 2x4 MIMO-OFDM Sistemi için  $P_d$ - SNR Grafiği,  $n=1000$ 

## 4. Sonuç

Bu çalışmada GLRD tabanlı spektrum algılama yöntemleri için farklı eşik değerleri kullanıldığında spektrum algılama performansları ölçülmektedir. Eşik değeri hesaplanırken, yanlış algılama olasılığı ( $P_{fa}$ ) ve algılama olasılığı Wishart matrisleri için yeni bir olasılık dağılım fonksiyonu kullanılarak geri kazanılmıştır. Simülasyonlar, MIMO-OFDM sistemleri için gürültü belirsizliği altında yapılmıştır ve geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında yeni eşik değeri ile belirgin bir performans artışı gözlemlenmiştir.

## Kaynakça

- Abbas T., Masoumeh Nasiri-Kenari, S. G. (2010). Multiple antenna spectrum sensing in cognitive radios. *IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS*, 9(2), 814–823.
- Bandari, S. K., Vakamulla, V. M., & Drosopoulos, A. (2018). GFDM/OQAM performance analysis under Nakagami fading channels. *Physical Communication*, 26, 162–169. <https://doi.org/10.1016/J.PHYCOM.2017.12.008>
- Çiflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2018). Covariance Based Spectrum Sensing with Studentized Extreme Eigenvalue. *Technical Gazette*, 25(6), 100–106.
- Deo, R. S. (2016a). On the Tracy-Widom approximation of studentized extreme eigenvalues of Wishart matrices. *Journal of Multivariate Analysis*, 147, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2016.01.010>
- Deo, R. S. (2016b). On the Tracy-Widom approximation of studentized extreme eigenvalues of Wishart matrices. *Journal of Multivariate Analysis*, 147, 265–272. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2016.01.010>
- He, Y., Ratnarajah, T., Yousif, E. H. G., Xue, J., & Sellathurai, M. (2016). Performance analysis of multi-antenna GLRT-based spectrum sensing for cognitive radio. *Signal Processing*, 120, 580–593. <https://doi.org/10.1016/j.sigpro.2015.10.018>
- Kortun, A., Ratnarajah, T., Sellathurai, M., Liang, Y. C., & Zeng, Y. (2014). On the eigenvalue-based spectrum sensing and secondary user throughput. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 63(3), 1480–1486. <https://doi.org/10.1109/TVT.2013.2282344>
- Kortun, A., Sellathurai, M., Ratnarajah, T., & Zhong, C. (2012). Distribution of the ratio of the largest eigenvalue to the trace of complex wishart matrices. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 60(10), 5527–5532.

<https://doi.org/10.1109/TSP.2012.2205922>

- Lavanya, S., & Bhagyaveni, M. A. (2019). EVM based rate maximized relay selection for cooperative cognitive radio networks. *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, 104, 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2018.12.018>
- Liu, Z., Wang, Y. (2017). A note on spiked Wishart matrices. *Statistics and Probability Letters*, 127, 1–6. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Maaref, A., & Aissa, S. (2007). Eigenvalue distributions of wishart-type random matrices with application to the performance analysis of MIMO MRC systems. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 6(7), 2678–2689. <https://doi.org/10.1109/TWC.2007.05990>
- QI, Y., PENG, T., WANG, W., & LUO, S. (2009). Cyclostationary signature design for common control channel of cognitive radio. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 16(2), 42–46. [https://doi.org/10.1016/S1005-8885\(08\)60202-2](https://doi.org/10.1016/S1005-8885(08)60202-2)
- S, A. P., & Jayasheela, M. (2012). Cyclostationary feature detection in cognitive radio using different modulation schemes. *International Journal of Computer Applications*, 47(21), 975–8887. <https://doi.org/10.7763/IJFCC.2013.V2.249>
- Verma, P., & Singh, B. (2016). Overcoming sensing failure problem in double threshold based cooperative spectrum sensing. *Optik*, 127(10), 4200–4204. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.01.108>
- Wei, L., Tirkkonen, O., & McKay, M. R. (1993). Exact demmel condition number distribution of complex wishart matrices via the mellin transform. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 29(3), 834–840. <https://doi.org/10.1109/7.220934>
- Zeng, Y., & Liang, Y. C. (2009). Spectrum-sensing algorithms for cognitive radio based on statistical covariances. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 58(4), 1804–1815. <https://doi.org/10.1109/TVT.2008.2005267>



# Primer Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sistemleri Kullanımının Analizi\*

Ercüment Özdemirci<sup>1\*\*</sup> ve Mehmet Cebeci<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

<sup>2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği/ Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.araconf37)

**ATIF/REFERENCE:** Özdemirci, E & Cebeci, M. (2020). Primer Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sistemleri Kullanımının Analizi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 292-297.

## Öz

Güç sistemlerinde artan yenilenebilir üretim, düşen sistem ataleti ve buna bağlı olarak değişen sistem frekans davranışı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu probleme depolama sistemlerinin frekans kontrolünde kullanımı ile önemli bir çözüm oluşturulabilmektedir. Batarya depolama sistemlerinin hızlı tepki verme özelliği, frekans kontrolünde en yaygın kullanılan teknoloji olmasını sağlamaktadır. Primer frekans kontrolü sistem frekansının düşmesine veya yükselmesine tepki olarak ünite aktif güç çıkışının otomatik artırılması veya düşürülmesi yoluyla sistem frekansının yeni bir denge noktasına getirilmesi olarak tanımlanır. Bu çalışmada bataryanın iletim sisteminde primer frekans kontrolünde kullanılması halinde sistem frekans kontrolü performansına katkısı Matlab/Simulink ortamında analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde Türkiye güç sisteminde işletmede olan santrallerin bir bölümüne ait hız regülatörü ve türbin modelleri kullanılmıştır. Batarya kullanımı ile birlikte maksimum frekans sapmasının önemli oranda azaldığı benzetim sonuçları ile gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:**Primer Frekans Kontrolü, Batarya Enerji Depolama Sistemleri.

## An Analysis of Battery Energy Storage Systems for Primary Frequency Control

### Abstract

Increased renewable production in power systems cause falling system inertia and consequently changing system frequency behavior. An important solution can be created to this problem via participation of storage systems in frequency control. The fast response facility of battery storage systems makes it the most widely used technology in frequency control. Primary frequency control is defined as setting the system frequency to a new balance point by automatically increasing or decreasing the generation unit active power output in response to the falling or rising of the system frequency. In this study, the batteries effect to the frequency control performance was analyzed through Matlab / Simulink. Speed regulators and turbine models of some part of power plants in Turkish power system were used in the analysis. Simulation results have shown that the maximum frequency deviation decreases significantly with support of the battery.

**Keywords:** Primary Frequency Control, Battery Energy Storage Systems

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\*Sorumlu Yazar:Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-ElektronikBölümü, Elazığ, Türkiye, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [ozdemirci@hotmail.com](mailto:ozdemirci@hotmail.com)

## 1. Giriş

Elektrik enerjisinin kalitesini; limitler dahilinde frekans, limitler dahilinde gerilim ve kesintisiz enerji olmak üzere üç temel bileşen belirlemektedir. Frekans limitleri, üretim-tüketim dengesinin oluşturulması ile sağlanabilmektedir. Yenilenebilir üretim kaynaklarının toplam üretimdeki payı her geçen gün artmakta olup, buna bağlı olarak elektrik sisteminin kalite limitleri dahilinde işletilmesi, her geçen gün zorlaşmaktadır. Konvansiyonel güç sistemlerinde kontrol dışı değişkenlik yalnızca tüketim tarafında iken, yenilenebilir üretim kaynakları ile birlikte kontrol dışı değişkenlik kavramı üretim tarafı için de söz konusu olmaktadır. Bu durumda sistem işletmeciliği çok daha karmaşık bir yapı halini almaktadır. Sistem işletmeciliğinde yenilenebilir enerji kaynaklarının getirdiği olumsuzluklara karşın; teknolojik çeşitliliği artan depolama sistemleri; elektrik sisteminde arz güvenliği, enerji kalitesi ve enerji ekonomisi ana başlıkları altındaki çeşitli uygulamalar için olumlu katkılar sunmaktadır. Önümüzdeki süreçte depolama sistemleri, enerjideki değişimi destekleyen en önemli araç olacaktır.

Bataryalar, pompa depolamalı HES'lerden sonra en çok kullanılan ikinci teknolojidir. Dünya genelinde bataryaların toplam kurulu gücü 1,9 GW seviyesine ulaşmıştır [1]. Depolama sistemleri yan hizmetler piyasasında, özellikle primer frekans kontrolünde her geçen gün daha fazla kullanım alanı bulmaktadır. Frekans normal olarak 50 Hz etrafında sürekli bir salınım gösterir, ters yönlü ani bir frekans sapması durumunda konvansiyonel bir elektrik santrali zamanında güç çıkışı değiştiremeyebilir. Bu durum, santralin bir süre boyunca istenilen primer frekans kontrol davranışının tam tersi tepki vermesi anlamına gelmektedir. Batarya depolama sistemlerinde ise bu gecikmeler pratik olarak mevcut değildir.

Elektrik Piyasasına satış yapan üretim santralleri, frekans kontrolünü etkinleştirmek için her zaman belirli bir Güç Rezervini elinde bulundurmalıdır. Enerji satışı ile rezerv güç arasında optimizasyon sağlamak her zaman mümkün olmayabilir. Bunun yerine bataryalar yalnızca yan hizmet servisleri için kullanılırlar. Primer frekans kontrolü yerel ve otomatik olarak etkinleştirilmiş bir hizmettir ve sekonder frekans kontrolü gibi, merkezi bir sinyal ve haberleşme sistemi kurulmasını gerektirmez. Evlerde kullanılan küçük bataryalar gibi dağıtılmış kaynaklar teorik olarak erişim noktasındaki frekans referans olarak kullanılarak kontrol mekanizmasına katılabilirler [2]. Bu çalışmada, batarya depolama sisteminin primer frekans kontrolünde kullanımı incelenmiş, sistem frekans performansına etkisi benzetim çalışmaları ile ortaya konulmuştur.

## 2. Materyal ve Metot

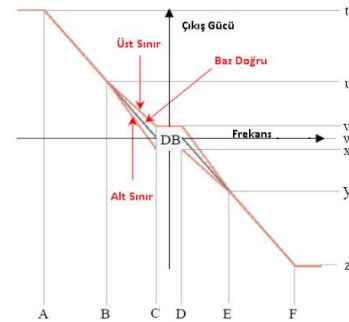
### 2.1. Batarya Depolama Sistemlerinin Frekans Kontrolünde Kullanımı

Şebekenin bir anma frekansında (örneğin, Avrupa Şebekesi için 50 Hz) dengelenmesi, birçok farklı üretim kaynağının değişken yüklerle karşı yönetilmesini gerektirir. Bu durum, yenilenebilir enerji kaynaklarının miktarındaki artış ve sisteme atalet sağlayan geleneksel üretim kaynaklarının azalması ile gittikçe zorlaşmaktadır. Bu sorunun üstesinden gelmek için, İngiltere'deki ana iletim şebekesi operatörü National Grid, sistem frekansını normal koşullarda 50 Hz'e daha yakın tutmayı amaçlayan.

Geliştirilmiş Frekans Cevabı (GFC, Enhanced Frequency Response-EFR) adı verilen yeni bir hızlı frekans hizmeti sunmaktadır. Böyle bir hizmeti şebekeye sunmak için Batarya Enerji Depolama Sistemi (BEDS, Battery Energy Storage System-BESS) ideal bir adaydır.

Ref.Noktası	Set-1 (Hz)	Set-2 (Hz)
A	49.5	49.5
B	49.75	49.75
C	49.95	49.985
D	50.05	50.015
E	50.25	50.25
F	50.5	50.5

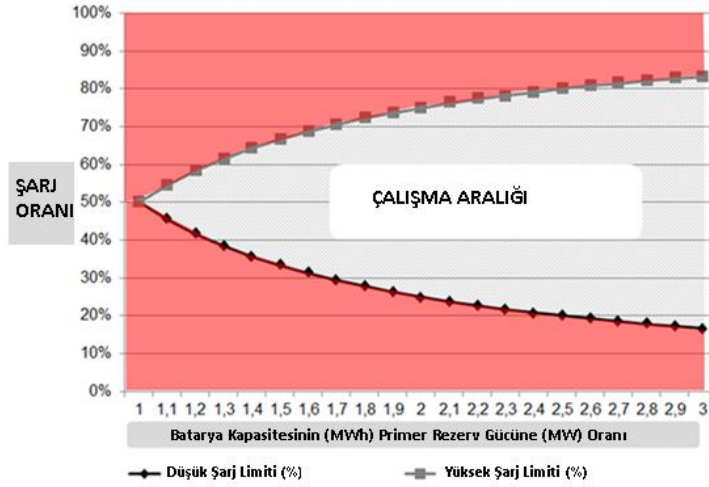
Ref.Noktası	Set-1 (%)	Set-2(%)
t	100	100
u	44.44444	48.45361
v	9	9
w	0	0
x	-9	-9
y	-44.44444	-48.45361
z	-100	-100



Şekil-1 İngiltere'de uygulanan gelişmiş frekans kontrolü hizmeti sınır değerleri [3]

İngiltere'de, şebeke frekans desteği sağlamak için uygun sınırlı sayıda kurulu batarya depolama sistemi mevcuttur. 2013'te, İngiltere'nin Willenhall Enerji Depolama Sistemi olarak adlandırılan ilk şebeke bağlantılı lityum titanyum BEDS, büyük ölçekli bataryalarla ilgili araştırma yapmak ve şebeke yan hizmetleri araştırması için bir platform oluşturmak amacıyla Sheffield Üniversitesi tarafından işletmeye alınmıştır. GFC frekans sapmasının 1 saniyesi içinde %100 aktif güç sağlayabilen yeni bir yan hizmet sunmaktadır National Grid, 2016 yılı bir GFC şartnamesi hazırlamıştır [3].

Şekil-2’de, 30 dakika boyunca sağlanan primer frekans kontrolüne ilişkin batarya sistemlerinin, Almanya’da uygulanan MWh/MW oranına göre çalışma aralığı grafiği verilmiştir. Örneğin 2,5 MWh depolama kapasitesine sahip bir batarya 1 MW Primer rezerv gücüne sahip ise %20-%80 şarj aralığında çalışması gerekmektedir.



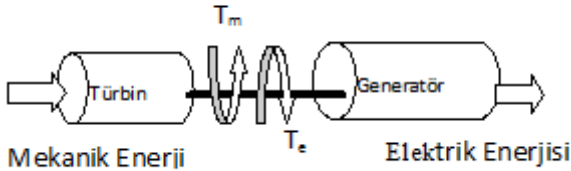
Şekil-2 Almanya’da uygulanan batarya çalışma sınır değerleri [4]

Sisteme güç elektroniği komponentleri üzerinden bağlı rüzgar ve güneş üretiminin artışı ile eş zamanlı kömür, doğal gaz ve petrol yakıtlı elektrik santrallerinin üretimi düşmektedir. Kaynak dağılımı değiştikçe, sistem ataleti azalmakta ve bu durum acil durum olaylarına daha duyarlı olabilecek bir elektrik şebekesi oluşturmaktadır. Düşük ataletli bir ortamda, frekans değişim hızı artacaktır. Bu da şebeke elemanlarının frekans düşüşünü durdurmak ve şebekeyi kararlı kılmak için daha hızlı cevap vermelerini gerektirmektedir. Düşük ataletli bir ortamda, sistem ataleti ve konvansiyonel santrallerin governer fonksiyonları ile primer frekans tepkisi, sistem kararlılığını korumak için yetersiz kalabilir. Güney Avustralya’da 2016 yılında meydana gelen sistem oturması, büyük çaplı düşük ataletli güç sistemlerinin bugün hali hazırda çalışmakta olduğunu ve bu tür riskleri azaltmak için sistem işletimi, kontrolü ve korumalarında farklı bir yaklaşım gerektiğini göstermektedir[4].

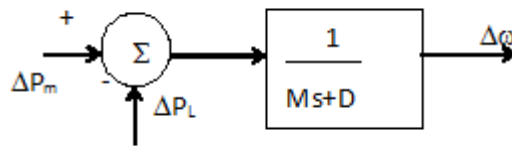
Yenilenebilir oranı arttıkça, sistem ataleti ve governer tepkisi azalacaktır. Bu durumda geleneksel olmayan kaynaklardan frekans tepkisi tedarik edecek yeni piyasa yapıları ve mekanizmaları gerekecektir. Bu mekanizmalar rüzgar ve güneş kaynakları, enerji depolaması ve talep tarafı tepkisi olarak sıralanır. İrlanda, İngiltere, Yeni Zelanda, Hawaii, Texas (ERCOT-Electric Reliability Council of Texas) ve Avustralya’da GFC pazarları ve ödeme mekanizmaları şekillenmektedir [4].

## 2.2. Güç Sistemi ve Batarya Modellemesi

Türbin-generatör sisteminin Şekil-3’de yer alan basite indirgenmiş blok diyagramı generatörün hızı ile generatöre uygulanan elektriksel ve mekanik güç arasındaki transfer fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil-3 Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli



Şekil-4 Dönen kütle ve yükün indirgenmiş blok diyagramı

$$P_a = P_m - P_e = M \frac{d\omega}{dt}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{M} (P_m - P_e)$$



Burada Pa ivme gücü, Pm mekanik güç, Pe elektriksel güç, ω açılmal hız, M ise makinanın açılmal momentumudur.

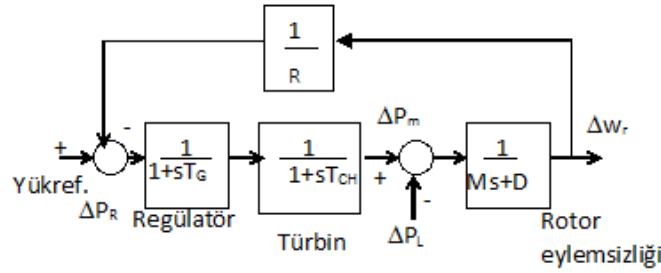
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega$$

Elektriksel güç sisteminde yükler değişik elektriksel aygıtlardan oluşur ve buna bağlı olarak farklı yük karakteristikleri mevcuttur. Elektriksel yüklerin önemli bir kısmını fanlar ve pompalar gibi frekansa bağlı olarak gücü değişen motor yükleri oluşturduğundan, frekans değişikliğinin sistemin çektiği toplam yükü nasıl etkilediğinin modellenmesi çok önemlidir. Frekans değişikliğine bağlı olarak yükün değişmesi aşağıdaki gibi modellenir:

Yük sönüm sabiti D, yükteki yüzde değişimin frekanstaki yüzde değişime oranı olarak ifade edilir. Örneğin frekanstaki %2 değişim için, yük %1 değişirse,  $D=2/1=2$  olarak hesaplanır.  $\Delta P_e$  elektriksel güçteki net değişim,  $\Delta P_L$  ise frekansa duyarsız yük değişimidir. Dönen Kütle ve yükün indirgenmiş modeli Şekil-4’de verilmektedir. Şekil-4’deki blok diyagramında verilen döner kütle-yük modelinde  $1/(Ms+D)$  ifadesi yerine  $K_p/(1+sT_p)$  ifadesi kullanılabilir [5].

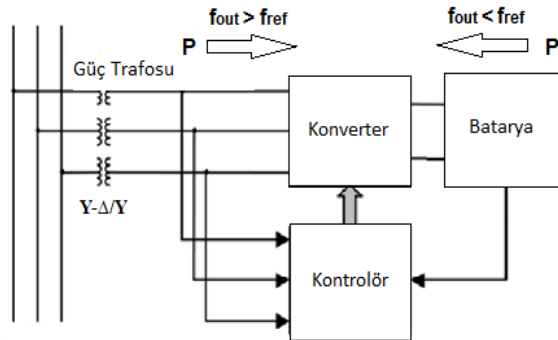
$$K_p = \frac{1}{D} \quad \text{ve} \quad T_p = \frac{M}{D} \quad \text{olur.}$$

Yük-frekans kontrolünde aktif rol oynayan hız regülatörü, türbin ve yükten oluşan ikincil regülasyonun olmadığı tek alanlı güç sistemi modeli Şekil-5’de görüldüğü gibidir. Burada R regülasyon sabiti, T ise hız regülatörü Türbin zaman sabiteleridir.



Şekil-5 İkincil regülasyonun olmadığı durumda tek alanlı güç sistemi blok diyagramı

Güç sistemi ile entegre batarya depolama sisteminin şematik gösterimi Şekil-6’da verilmektedir. Uygun kontrolör tasarımı ile dönüştürücü ve batarya kaskat bağlanmaktadır. Ayrıca Y/Δ-Y transformatör üzerinden sistemin şebeke bağlantısı gerçekleştirilmektedir [6].



Şekil-6 Batarya Depolama Sistemi Şebeke Bağlantısı [6]

Batarya depolama sistemleri, dönüştürücünün mevcudiyeti ve elektro-kimyasal olayların doğası sayesinde çok hızlı ve kolay regüle edilebilir bir ünedir. Bu nedenle Pimer Frekans Kontrolünde konvansiyonel üretim tesislerindeki %5 hız regülatörü karakteristiğine göre çok daha iyi performans gösteren %4'lük değer kullanılabilir. Konvansiyonel santrallerde Pmax değeri ile Pnom arasındaki

%5'lik primer frekans kontrolü için kullanılırken bataryada bu değer %100'dür. Bu nedenle batarya için yeni eşdeğer hız-eğim karakteristiği hesaplaması zorunludur. Şekil-7'de batarya için eşdeğer hız-eğim karakteristiği tablosu verilmektedir [7].

Generatör [%]	Batarya [%]
5	0.25
4	0.2
3	0.15
2	0.1

Şekil-7 Batarya Eşdeğer Hız-Eğim Karakteristiği [7]

Batarya depolama sisteminin dinamik karakteristiği basit ve çok hızlı olması nedeniyle batarya tepki modeli birinci dereceden zaman gecikmeli fonksiyon kullanılabilir [8].

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Benzetim Sonuçları

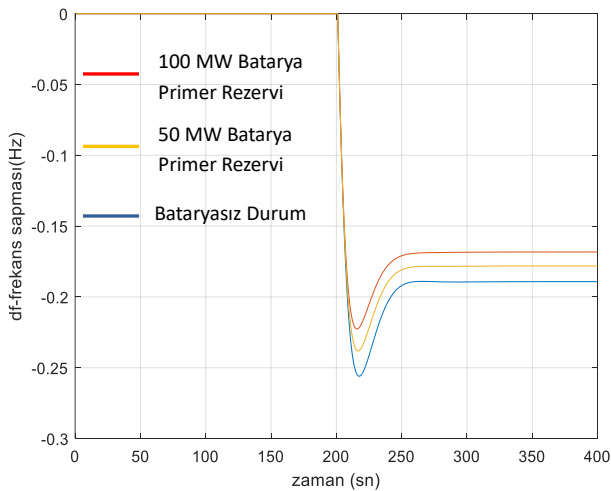
Benzetim çalışması Matlab/Simulink ortamında yapılmıştır. Tablo 1 ile Tablo 2'de yer alan termik ve hidrolik santral üniteleri çalışmaya dahil edilmiştir. Türkiye elektrik güç sistemi döner kütle yük modeli oluşturulurken literatürde yer alan bilgiler kullanılmış,  $K_p = 120 \text{ Hz/MWpu}$ ,  $T_p = 20 \text{ s}$  olarak seçilmiştir [9].

Tablo 1. Termik Santral Ünite Güçleri

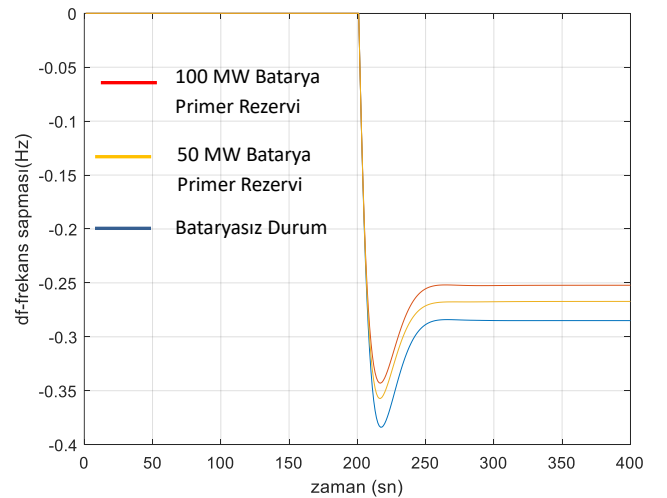
Santral Adı	Ünite No	Güç (MW)
Ambarlı Fueloil	1-5	5x114
Ambarlı Doğalgaz	A1,A2,A3 B1,B2,B3 C1,C2,C3	6x138,8+3x172,8
Bursa Doğalgaz	A1,A2,A3 B1,B2,B3	4x239+2x237,5
Çayırhan	1-4	4x160
Çolakoğlu	A1,A2,A3	2x136+170
Elbistan	1-4	4x344
Kangal	1-3	3x160
Kemerköy	1-3	3x210
Seyitömer	1-2	2x153
Seyitömer	3-4	2x159,8
Tunçbilek	5-6	2x159,8
Yatağan	1-3	3x210
Yeniköy	1-2	2x210

Tablo 2. Hidrolik Santral Ünite Güçleri

Santral Adı	Ünite No	Ünite Gücü (MW)
Alınkaya	1-4	4x175
Atatürk	1-8	8x300
Birecik	1-6	6x125
Gökçekaya	1-4	4x93,8
H.Uğurlu	1-4	4x125
Karakaya	1-6	6x300
Keban	1-4	4x157,5
Keban	5-8	4x165
Oymapınar	1-4	4x150



Şekil-8 600 MW üretim kaybı için frekans sapması



Şekil-9 900 MW üretim kaybı için frekans sapması

Batarya tepki modeli olarak birinci dereceden zaman gecikmeli (0.03 s) fonksiyon kullanılmıştır. Sistem 15190 MW üretim değerinde dengede çalışırken, 600 MW ve 900 MW üretimin devre harici olması durumları analiz edilmiştir. Analizler batarya desteğinin olmadığı durum, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için yinelenmiştir.

600 MW ani üretim kaybında bataryanın devrede olmaması, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için sırasıyla 0.26, 0.24 ve 0.22 Hz frekans sapması oluşmuştur. 900 MW ani üretim kaybında ise bataryanın devrede olmaması, 50 MW ve 100 MW batarya primer rezervi durumları için sırasıyla 0.38, 0.36 ve 0.34 Hz frekans sapması oluşmuştur.

#### 4. Sonuç

Batarya sistemlerinin hızlı tepki verme özelliği, frekans kontrolünde en yaygın kullanılan teknoloji olmasını sağlamaktadır. Yenilenebilir oranı arttıkça, sistem ataleti azalacaktır. Bu durumda geleneksel olmayan kaynaklardan frekans tepkisi tedarik edecek yeni piyasa yapıları ve mekanizmaları gerekecektir. Bu mekanizmalar rüzgar ve güneş kaynakları, enerji depolaması ve talep tarafı tepkisi olarak sıralanır. Bu çalışmada batarya depolama sisteminin primer frekans kontrolüne katkısı analiz sonuçlarına yansıtılmıştır. Herhangi bir ani üretim kaybında sistem için en kritik husus maksimum frekans sapması olup, batarya depolama sistemi primer kontrol rezerv miktarı arttıkça bu sapma değeri önemli oranda azalmaktadır. Batarya tarafından primer frekans kontrol rezervleri sağlanırken bataryalar için ana zorluk, şarj durumu yönetimidir. Dolayısıyla primer frekans kontrolüne katılan bataryanın elektrik piyasası yan hizmetler mekanizması fiili verileri dahilinde şarj durumu yönetimi ve optimizasyonu yapılacak çalışmaların temelini oluşturacaktır.

#### Kaynakça

- [1] «EPRI-DOE Handbook of Energy Storage for Transmission & Distribution Applications,» EPRI, Washington, 2003.
- [2] F. Arrigo, *Primary Frequency Control by Energy Storage System: a Fourier Transform procedure for the dynamic analysis of the Grid*, Milano: Politecnico Milano, 2016.
- [3] B. Gundogru, S. Nejad, D. Gladwin ve D. Stone, *A Battery Energy Management Strategy for UK Enhanced Frequency Response*, IEEE, pp. 26-31, 2017.
- [4] *FCR Storage Battery Capacity Requirements*, German TSO's, 2017.
- [5] Faried S.O, Demeter E., *Teaching Load Frequency Control Using Matlab and Simulink*, *Int. J. Electrical Enging. Education*, Vol 35, pp 155-161 1998,
- [6] Pradipkumar Prajapati, Ashok Parmar, *Multi-area Load Frequency Control by Various Conventional Controller using Battery Energy*, 2016 IEEE
- [7] Francesco Arrigo, *Primary Frequency Control by Energy Storage System: a Fourier Transform procedure for the dynamic analysis of the Grid*, Master Thesis 2016
- [8] H.-J. Moona, A.-Y. Yuna, E.-S. Kimb ve S.-I. Moona, *An Analysis of Energy Storage Systems for Primary Frequency Control of Power Systems in South Korea*, *Energy Procedia*, 107, pp. 116121, 2017.
- [9] Ercüment Özdemirci, Mehmet Özdemir *“Load Frequency Control that is Formed Fuzzy PI Controller”*, TAINN, 2001



# Analysis of Gender Differences with Functional Connectivity and Default Mode Network and Fronto-parietal Network\*

İrem Acer<sup>1</sup>, Semra İçer<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup>Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Biomedical Eng. Dept., Kayseri, Turkey  
<sup>2</sup>Erciyes University, Engineering Faculty, Biomedical Eng. Dept., Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-3323-9953)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf38)

**ATIF/REFERENCE:** Acer, İ. & İçer, S. (2020). Analysis of Gender Differences with Functional Connectivity and Default Mode Network and Fronto-parietal Network, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (Özel Sayı), 298-303.

## Abstract

Gender is known to play a critical role in the brain's anatomy, function, and also in human behavior. Identifying differences in functional connectivity between male and female brains will help explain the prevalence and symptomatology of many neurological and psychiatric conditions. Imaging of the brain during rest reveals spontaneous low-frequency fluctuations (<0.1 Hz) that have a temporal correlation between functionally related areas in the fMRI signal. These correlations, called functional connectivity (FC), were obtained using seed to voxel analysis. FC analyzes were compared between male and female brains, including 50 healthy individuals (25 females, 25 males) using the right hand between aged 19 to 41 years old, using resting state functional magnetic resonance imaging (rs-fMRI). Data in this study was obtained from the Newyork\_a data set under the 1000 Functional Connectomes Project shared publicly. In our study, gender differences in the default mode network, which is shown as having a central role among the rest state networks, and in the fronto parietal network that best reflects the cognitive network, were examined. In some seed regions of our study, regions showing higher FC were found in both female and male. While the seed regions showing positive correlation in DMN are MPFC and LP (L), the seed region showing negative correlation is LP (L). The seed regions that show positive correlation in FPN are LPFC (L), LPFC (R) and PPC (L), while the seed regions that show negative correlation are LPFC (R), PPC (L) and PPC (R). As the result of our study, the most important finding is that all of our regions with positive correlation were associated with the cerebellum. Our regions associated with regions that show negative correlation showed scattered settlement in the brain. Our study revealed that gender differences in brain networks should be considered when examining neurological and neuropsychiatric disorders. In addition, our results have shown that gender differences in brain networks require more research.

**Keywords:** fMRI, resting state, gender differences, functional connectivity.

## Varsayılan Mod ve Fronto Parietal Ağlarında Fonksiyonel Bağlanabilirlik ile Cinsiyet Farklılıklarının İncelenmesi

### Öz

Cinsiyetin beyin anatomisinde, işlevinde ve aynı zamanda insan davranışlarında kritik bir rol oynadığı bilinmektedir. Erkek ve kadın beyinleri arasındaki fonksiyonel bağlantıdaki farklılıkları belirlemek, birçok nörolojik ve psikiyatrik durumun prevalansını ve semptomolojisini açıklamaya yardımcı olacaktır. Dinlenme sırasında beyin görüntülenmesi, fMRG sinyalinde fonksiyonel olarak ilişkili alanlar arasında geçici olarak korelasyona sahip olan spontan düşük frekanslı dalgalanmalar (<0.1 Hz) ortaya çıkarır. Fonksiyonel bağlanabilirlik (FC) olarak adlandırılan bu korelasyonlar, tohum voksel analizi kullanılarak elde edilmiştir. FC analizleri, dinlenme durumu fonksiyonel manyetik rezonans görüntüleme (dd-fMRG) kullanılarak 19 ila 41 yaş arasındaki sağ elini

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniv., Mühendislik Fak., Biyomedikal Böl., Kayseri, Türkiye, ORCID: [0000-0002-3323-9953](https://orcid.org/0000-0002-3323-9953), [ksemra@erciyes.edu.tr](mailto:ksemra@erciyes.edu.tr)

kullanan 50 sağlıklı birey (25 kadın, 25 erkek) dahil edilerek kadın ve erkek beyinleri arasında karşılaştırılmıştır. Bu çalışmadaki veriler, herkese açık olarak paylaşılan 1000 Functional Connectomes Project kapsamındaki Newyork\_a veri setinden sağlanmıştır. Çalışmamızda dinlenme durumu ağları arasından merkezi bir rolü olduğu gösterilen ve en çok çalışılan ağ olan varsayılan mod ağında ve bilişsel ağı en iyi yansıtan fronto parietal ağında cinsiyet farklılıkları incelenmiştir. Çalışmamızın bazı tohum bölgelerinde hem kadınlarda hem erkeklerde daha yüksek FC gösteren bölgeler bulunmuştur. DMN'de pozitif korelasyon gösteren tohum bölgeleri MPFC ve LP (L) iken, negatif korelasyon gösteren tohum bölgesi LP (L)'dir. FPN'de pozitif korelasyon gösteren tohum bölgeleri ise LPFC (L), LPFC(R) ve PPC (L) iken, negatif korelasyon gösteren tohum bölgeleri ise LPFC (R), PPC (L) ve PPC (R)'dir. Çalışmamızın sonucunda en dikkat çekiçi olan bulgu pozitif korelasyon gözlemlenen tüm bölgelerimizin beyincik ile ilişkili olmasıdır. Negatif korelasyon gösteren bölgeler ile ilişkili bölgelerimiz beyinde dağılık yerleşim göstermiştir. Çalışmamız nörolojik ve nöropsikiyatrik bozukluklar incelenirken beyin ağlarındaki cinsiyet farklılıkları göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuştur. Ek olarak, sonuçlarımız beyin ağlarındaki cinsiyet farklılıklarının daha fazla araştırma yapılması gerektiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** fMRG, dinlenme durumu, cinsiyet farklılığı, fonksiyonel bağlanabilirlik.

## 1. Introduction

Gender differences have become a topic of interest in many areas of neuroscience due to differences in the behavior of humans and non-human species [1]. Although there are many similarities in male and female brains, it is known that gender plays a critical role in the anatomy, function, and also of human behavior in the human brain [2]. Differences in the anatomical structure of the brain have been documented in numerous studies [3]. However, there are different results among the studies on functional connection differences [4,5]. Identifying differences in functional connectivity between male and female brains will help explain the prevalence and symptomatology of many neurological and psychiatric conditions.

Development in neuroimaging provided the opportunity to evaluate the differences between brain structure, function and chemistry in males and females. Resting state functional magnetic resonance imaging(rs-fMRI) is a non-invasive neuroimaging method that emerges as a powerful tool for evaluating the functional connectivity patterns of the human brain and reveals large amplitude spontaneous low frequency (<0.1 Hz) fluctuations that temporarily correlate between functionally related areas [6].

Evaluation of resting state networks allows to study the internal functional architecture of the human brain, also called functional connection [4]. Functional connecting is defined as a temporal correlation in BOLD signal fluctuations between two or more anatomically different regions [7]. Functional connectivity is interpreted as an indirect measure of neuronal activity.

The first focus of studies evaluating gender differences is to evaluate the structural differences in the brain. Once structural differences are identified, key factors such as gender are expected to have an impact on functional connectivity based on their strong relationship with the underlying anatomy [8]. Important evidence supporting the idea that gender makes a difference in brain connectivity has been reported in recent neuroimaging studies. In addition, Weissman-Fogel and colleagues were unable to observe gender differences in RSNs [5]. When we evaluate the studies, it is draw the attention that the gender differences in the adult brain should be investigated further.

In our study, gender differences in DMN and FPN, which was shown to have a central role among the rest state networks, were examined. DMN is a brain region containing precuneus / posterior cingulate cortex (PCC), medial prefrontal cortex(mPFC), and medial, lateral, and inferior parietal cortex. Although studies have shown that the activity of this network varies in depression, schizophrenia[10], autism[11], epilepsy[12], and alzheimer's disease[13], few studies have examined factors affecting the link of DMN activity in a healthy population. It is reported that women show more connections in gender differences in DMN, but the peripheral nodes of DMN have been reported to provide more connections in male than in female [14].

The fronto-parietal network (FPN) includes sections of the lateral prefrontal cortex and posterior parietal cortex. It is known to take part in a wide variety of tasks by initiating and modulating cognitive control abilities [15]. In addition, FPN is thought to contribute to directed attention and working memory [16]. The frontoparietal network is critical to our ability to coordinate behavior quickly, accurately and flexibly based on goals [17]. Many psychopathological conditions such as schizophrenia and attention deficit / hyperactivity disorder have been reported to affect the frontoparietal network [17]. There is a significant positive correlation between the functional integration of the frontoparietal network and the overall cognitive ability, which indicates that the power of the functional integration of the frontoparietal network and the rest of the brain is crucial to support cognitive functionality [18]. Cservenka et al. In their study using task-based fMRI, they stated that male showed stronger activation in FPN in adolescents and adults than female [19]. However, Filippi et al. argues that gender differences are more pronounced in the cognitive domain than in sensory networks [20]. Therefore, in our study, DMN which reflects the rest state networks the most, and FPN which best reflects the cognitive network best, were investigated.

Given the significant gender-specific differences in the prevalence of most neuropsychiatric disorders, and the different findings between studies with healthy participants suggest that more research needs to be made to better understand the effect of gender on brain structure and function. The strength and diversity of gender-related effects on brain function and



the fact that there are different findings between studies on this subject have been the motivation of this study. With this study, gender differences in brain connectivity in DMN and FPN in healthy adults aged 19-41 years were investigated.

## 2. Material and Method

### 2.1. Participant

The rs-fMRI data in this study was obtained from the Newyork\_a data set under the 1000 Functional Connectomes Project shared publicly ([http://fcon\\_1000.projects.nitrc.org/fcpClassic/FcpTable.html](http://fcon_1000.projects.nitrc.org/fcpClassic/FcpTable.html)) [4].

In our study, only Newyork\_a dataset was used to minimize variability between institutions, such as shooting conditions and scanning procedures.

This study included 50 healthy individuals aged 19-41. This age range is divided into two groups, male and female, each consisting of 25 healthy people. Average age and average movement information are given in Table 1. All the participants selected consist of right-handed people. The data have small head movements, functional images of each participant consist of 197 volumes and each volume consists of 39 slices. In the rs-fMRI shootings, the participants were told to remain in a state of rest with their eyes open.

Table 1. Average age and average movement information of the participants

Group	Age (Standard deviation)	Ortalama Hareket (Standard deviation)
Female	26,692( $\pm$ 4,5992)	0,1191( $\pm$ 0,0468)
Male	27,275( $\pm$ 5,6864)	0,1178( $\pm$ 0,03733)

### 2.2. Pre-processing

The pre-processing steps were made with MATLAB based Statistical Mapping software through the CONN program (SPM8; [www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/](http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/software/spm8/)) and include the following steps.

- (1) Initially, considering the factors that show the balance of the MR signals and the adaptation of the subjects to the conditions, the first 5 volumes were ejected.
- (2) Slice timing correction was made to eliminate the time difference between the slices.
- (3) Realignment was performed to correct motion-induced artifacts in functional data and to minimize possible movements during recording.
- (4) In order to associate the participant's anatomical images and functional images, functional-structural coregistration was performed.
- (5) Spatial normalization was performed to compare the spatial positions of functional activation among subjects.
- (6) Spatial smoothing was performed with a 6 mm full width at half maximum (FWHM) Gaussian core to reduce noise and increase the signal to noise ratio.

After the pre-processing, 0.01-0.1Hz band pass filter was applied in the balancing step to evaluate the marks in the range of 0.01-0.1Hz, which is the spontaneous oscillating resting frequency.

### 2.3. Seed to Voxel Analysis

The seed-based analysis is the first method adopted by Biswal to identify resting state networks [21]. Seed-based analysis is a model-based method that calculates the linear correlation of a seed region with voxels in the entire brain, thus providing a seed-based FC map [22]. The simplicity, interpretability, and intelligibility of this technique have made it a useful approach to rs-fMRI analysis.

Individual seed-voxel connectivity maps were created using the MATLAB based CONN fMRI Functional Connectivity Toolbox v18a (<http://www.nitrc.org/projects/conn>) [23].

### 2.4. Statistical analysis

All statistical analyzes were made with the T statistic and the F statistic using the CONN toolbox. A sample t-test for intra-group comparisons was used in both female and male groups with FDR-corrected ( $p < 0.05$ ) significance thresholds. Two sample t-tests were used to compare the groups of female and male with the significance thresholds set at  $P < 0.05$  with FDR correction.

## 3. Conclusions and Recommendations

In our study, gender differences were evaluated in 25 male and 25 female participants in DMN and FPN. Table 2 shows the positive and negative correlation results of two sample t-tests performed in the case of female>male for the significant regions in the resting state networks examined in the results of the functional connection analysis of the male and female groups. Positive and negative correlations were observed in both networks investigated. The region that shows the most difference in our study is LPFC (R) in FPN.

Table 2. Functional connectivity results, female > male: red filling, male > female: blue filling

Network	Seed region	Clusters (x,y,z)	Size	p-FWE	p-FDR	Associated regions (voxels)
D M N	MPFC	+04 -58 -52	138	0.009521	0.008642	Cerebellum 9 Right (60) Cerebellum 9 Left (37)
	LP (L)	-38 -72 -50	116	0.023136	0.026101	Cerebellum Crus2 Left (68) Cerebellum 7b Left (17)
	LP (L)	+50 -06 +04 -48 -06 +02 +46 +12 -18 +42 -26 +12	137	0.009942	0.012152	Temporal Pole Right (96)
			124	0.016689	0.012152	Central Opercular Cortex Right (84)
120			0.019634	0.012152	Planum Polare Left (63)	
		85	0.087047	0.041856	Heschl's Gyrus Right (58) Central Opercular Cortex Left (41) Parietal Operculum Cortex Right (32)	
F P N	LPFC (L)	-30 -76 -50	170	0.002382	0.002507	Cerebellum Crus2 Left (67) Cerebellum 7b Left (36)
	LPFC(R)	-32 -78 -46 +46 -70 -48 -10 -88 -44	387	0.000002	0.000002	Cerebellum Crus2 Left (243)
			120	0.017321	0.007922	Cerebellum Crus2 Right (67)
			110	0.026428	0.008096	Cerebellum 7b Right (39) Cerebellum 8 Right (12)
	LPFC(R)	+50 +30 -12 -58 -46 +20	122	0.015937	0.018798	Supramarginal Gyrus, posterior division Left (75)
			100	0.40746	0.024337	Frontal Orbital Cortex Right (58) Frontal Pole Right (44) Parietal Operculum Cortex Left (19)
PPC (L)	-36 -76 -52	269	0.000102	0.000130	Cerebellum Crus2 Left (192) Cerebellum 7b Left (18)	
PPC(L)	+40 +10 -10	490	0.0000	0.0000	Temporal Pole Right (174) Insular Cortex Right (135) Planum Polare Right (23)	
PPC(R)	+50 -42 +30	121	0.009441	0.014934	Supramarginal Gyrus, posterior division Right (134) Temporal Pole Right (63) Insular Cortex Right (38) Frontal Orbital Cortex Right (36) Angular Gyrus Right (13)	

Seed regions showing positive correlation in DMN are MPFC and LP (L). A positive correlation with Cerebellum was observed in both seed regions. The region showing negative correlation in DMN is LP (L). Regions where negative correlation is most associated are TP r (Temporal Pole Right) and CO r (Central Opercular Cortex Right). In our study, both negative and positive correlations were observed in the LP (L) seed region. DMN region results are shown in Figure 1. Figure 1 shows the regions associated with MPFC and LP (L) seed regions, which show a positive correlation in the comparison of the female > male seen above. Figure 1 shows the regions associated with the LP (L) seed region, which shows negative correlation in the comparison of the female > male appearing below.

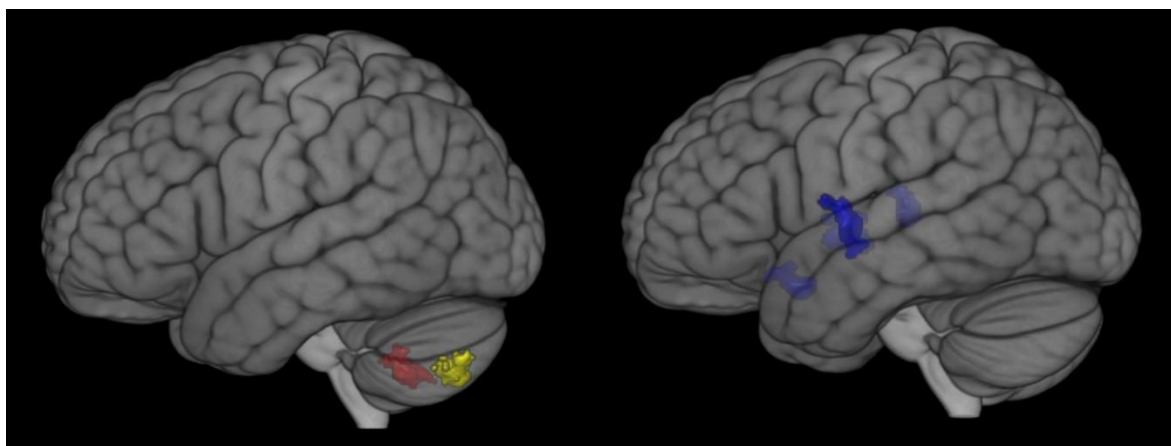
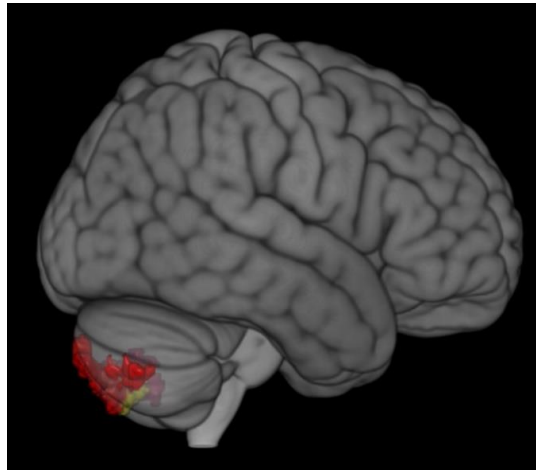


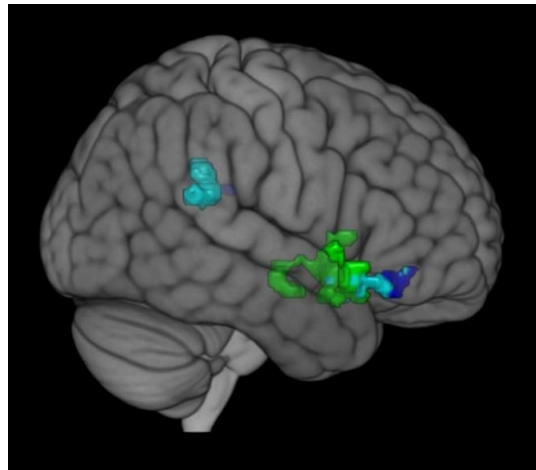
Figure 1. DMN region showing positive and negative correlations

Seed regions showing positive correlation in FPN are LPFC (L), LPFC (R) and PPC (L). Again, positive correlation with Cerebellum was observed in both seed regions. Seed regions showing negative correlation in FPN are LPFC (R), PPC (L) and PPC (R). Regions where negative correlation is most associated are pSMG 1 (Supramarginal Gyrus, posterior division Left) and FORb r (Frontal Orbital Cortex Right). Figure 2 shows the regions related to LPFC (L), LPFC (R) and PPC (L) seed regions, which show a

positive correlation in the comparison of female>male. Figure 3 shows the regions related to LPFC (R), PPC (R) and PPC (L) seed regions that show negative correlation in the comparison of female>male.



*Figure 2. FPN Region positive correlation regions*



*Figure 3. FPN Region negative correlation regions*

In our study, we investigated the effect of gender differences on FC in healthy individuals aged 19-41. In previous studies, it has been stated that gender differences have an important effect in many areas such as emotion, memory, perception, and other cognitive domains [24]. However, variant results between studies have made it necessary to further examine functional gender differences in the brain. In our study, we used a limited age range to minimize the effects of age [20].

Studies have investigated the effect of gender differences in DMN, but different results have been found. Weissman-Fogel et al. stated that there was no gender difference [5]. Bluhm et al. investigated gender differences in DMN and stated that female had stronger FC in the medial prefrontal cortex in the posterior cingulate and prunus regions, and that there was no high FC in male [25]. Biswal et al. studies, it was reported that there were significantly more connections in the medial prefrontal cortex and inferior parietal lobe in female in DMN [4]. These studies have demonstrated the importance of gender differences in brain functional connectivity and have revealed that more research is needed. In our study, positive correlation with MPFC and LP (L) was similar to literature. Gabriela Alarcón et al. reported that in their study with task-based fMRI, females showed a stronger functional link between the left mPFC and the right posterior cerebellum compared to males [26]. In our study, MPFC regions of women showed positive correlation with cerebellum.

In their study using Cservenka et al. task-based fMRI, they stated that males and adults exhibited stronger activation in FPN than females [19]. In their study with the task-based fMRI, Gabriela Alarcón et al. stated that females exhibit stronger functional connectivity in FPN and DMN than males [26]. In our study, positive correlation was observed in LPFC (L), LPFC (R) and PPC (L), and negative correlation in LPFC (R), PPC (L) and PPC (R) showed that more research should be done on this subject.

## **4. Conclusion**

In our study, gender differences were examined in DMN, which is the most studied network and has the central role among rest networks, and FPN, which best reflects the cognitive network. While the seed regions showing positive correlation (female>male) in DMN are MPFC and LP (L), the seed region showing negative correlation (male>female) is LP (L). While the seed regions showing

positive correlation in FPN are LPFC (L), LPFC (R) and PPC (L), the regions that show negative correlation are LPFC (R), PPC (L) and PPC (R). Regions associated with seed regions showing positive correlation in DMN and FPN are located in cerebellum, while regions showing negative correlation show scattered locations in different parts of the brain. These differences we obtained between the functionality of the male and female brains belonging to the young adult and middle-aged group may contain very important information and revealed the need for further research on this subject.

## Reference

- [1]. Jazin E, Cahill L (2010) Sex differences in molecular neuroscience: From fruit flies to humans. *Nat Rev Neurosci* 11(1):9–17.
- [2]. Cosgrove KP, Mazure CM, Staley JK (2007) Evolving knowledge of sex differences in brain structure, function, and chemistry. *Biol Psychiatry* 62:847–855.
- [3]. Ingalhalikar, M., Smith, A., Parker, D., Satterthwaite, T. D., Elliott, M. A., Ruparel, K., ... & Verma, R. (2014). Sex differences in the structural connectome of the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(2), 823-828.
- [4]. Biswal, B. B., Mennes, M., Zuo, X. N., Gohel, S., Kelly, C., Smith, S. M., ... & Dagonowski, A. M. (2010). Toward discovery science of human brain function. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(10), 4734-4739.
- [5]. Weissman-Fogel I, Moayeddi M, Taylor KS, Pope G, Davis KD (2010): Cognitive and default-mode resting state networks: Do male and female brains “rest” differently? *Hum Brain Mapp*.
- [6]. Biswal B Yetkin FZ Haughton VM Hyde JS. (1995). Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magn Reson Med*. 34:537–541
- [7]. Friston, K. J. (1994). Functional and effective connectivity in neuroimaging: a synthesis. *Human brain mapping*, 2(1-2), 56-78.
- [8]. Gong, G., He, Y., & Evans, A. C. (2011). Brain connectivity: gender makes a difference. *The Neuroscientist*, 17(5), 575-591.
- [9]. Mak, L. E., Minuzzi, L., MacQueen, G., Hall, G., Kennedy, S. H., & Milev, R. (2017). The default mode network in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Brain connectivity*, 7(1), 25-33.
- [10]. Greicius, M. D., Krasnow, B., Reiss, A. L., & Menon, V. (2003). Functional connectivity in the resting brain: a network analysis of the default mode hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(1), 253-258.
- [11]. Cherkassky, V. L., Kana, R. K., Keller, T. A., & Just, M. A. (2006). Functional connectivity in a baseline resting-state network in autism. *Neuroreport*, 17(16), 1687-1690.
- [12]. Laufs, H., Hamandi, K., Salek-Haddadi, A., Kleinschmidt, A. K., Duncan, J. S., & Lemieux, L. (2007). Temporal lobe interictal epileptic discharges affect cerebral activity in “default mode” brain regions. *Human brain mapping*, 28(10), 1023-1032.
- [13]. Rombouts, S. A., Barkhof, F., Goekoop, R., Stam, C. J., & Scheltens, P. (2005). Altered resting state networks in mild cognitive impairment and mild Alzheimer's disease: an fMRI study. *Human brain mapping*, 26(4), 231-239.
- [14]. Allen, E. A., Erhardt, E. B., Damaraju, E., Gruner, W., Segall, J. M., Silva, R. F., ... & Michael, A. M. (2011). A baseline for the multivariate comparison of resting-state networks. *Frontiers in systems neuroscience*, 5, 2.
- [15]. Dosenbach, N. U., Fair, D. A., Cohen, A. L., Schlaggar, B. L., & Petersen, S. E. (2008). A dual-networks architecture of top-down control. *Trends in cognitive sciences*, 12(3), 99-105.
- [16]. Miller EK, Cohen JD (2001): An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annu Rev Neurosci* 24: 167–202
- [17]. Marek, S., & Dosenbach, N. U. (2018). The frontoparietal network: function, electrophysiology, and importance of individual precision mapping. *Dialogues in clinical neuroscience*, 20(2), 133.
- [18]. Sheffield, J. M., Repovs, G., Harms, M. P., Carter, C. S., Gold, J. M., MacDonald III, A. W., ... & Barch, D. M. (2015). Fronto-parietal and cingulo-opercular network integrity and cognition in health and schizophrenia. *Neuropsychologia*, 73, 82-93.
- [19]. Cservenka A., Stroup M. L., Etkin A., Nagel B. J. (2015). The effects of age, sex, and hormones on emotional conflict-related brain response during adolescence. *Brain Cogn*. 99, 135–150. 10.1016/j.bandc.2015.06.002
- [20]. [Filippi M, Valsasina P, Misci P, Falini A, Comi G, et al. (2012) The organization of intrinsic brain activity differs between genders: A resting-state fMRI study in a large cohort of young healthy subjects. *Hum Brain Mapp*34: 1330–1343.].
- [21]. Biswal, B., Zerrin Yetkin, F., Haughton, V. M., & Hyde, J. S. (1995). Functional connectivity in the motor cortex of resting human brain using echo-planar MRI. *Magnetic resonance in medicine*, 34(4), 537-541.
- [22]. Smitha, K. A., Akhil Raja, K., Arun, K. M., Rajesh, P. G., Thomas, B., Kapilamoorthy, T. R., & Kesavadas, C. (2017). Resting state fMRI: A review on methods in resting state connectivity analysis and resting state networks. *The neuroradiology journal*, 30(4), 305-317.
- [23]. Whitfield-Gabrieli, S., & Nieto-Castanon, A. (2012). Conn: a functional connectivity toolbox for correlated and anticorrelated brain networks. *Brain connectivity*, 2(3), 125-141.
- [24]. Cahill, L. (2006). Why sex matters for neuroscience. *Nature reviews neuroscience*, 7(6), 477.
- [25]. Bluhm, R. L., Osuch, E. A., Lanius, R. A., Boksman, K., Neufeld, R. W., Théberge, J., & Williamson, P. (2008). Default mode network connectivity: effects of age, sex, and analytic approach. *Neuroreport*, 19(8), 887-891.
- [26]. Alarcón, G., Pfeifer, J. H., Fair, D. A., & Nagel, B. J. (2018). Adolescent gender differences in cognitive control performance and functional connectivity between default mode and fronto-parietal networks within a self-referential context. *Frontiers in behavioral neuroscience*, 12, 73.



# Evaluation of Lung Size in Patients with Pneumonia and Healthy Individuals\*

Esra Gülay<sup>1</sup>, Semra İçer<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Biomedical Eng. Dept., Kayseri, Turkey

<sup>2</sup> Erciyes University, Engineering Faculty, Biomedical Eng. Dept., Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-3323-9953)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf39)

**ATIF/REFERENCE:** Gülay, E. & İçer, S. (2020). Evaluation of Lung Size in Patients with Pneumonia and Healthy Individuals. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 304-309.

## Abstract

In recent years, medical image segmentation studies and the need for this issue are increasing rapidly. Semi or fully automatic segmentation of the region to be diagnosed in medical images provides doctors with an important convenience for diagnosis. Especially in some countries where there is a lack of a doctor, it will be provided with a fully automatic segmentation method to assist the treatment without a doctor. In this study, lung x-ray images of patients with pneumonia and healthy individuals were studied. X-ray images are advantageous because they are cheaper and easier to interpret than other imaging methods. X-ray images were taken from the ready dataset and the image set consists of chest x-ray images of children under 5 years old. A total of 15 individuals (5 healthy, 5 pneumonia (virus) patients, 5 pneumonia (bacteria) patients) were studied from the data set received. MATLAB program was used for segmentation of lung areas. For segmentation, the images were first reduced to size after being taken to MATLAB. Then, by increasing the contrast of the images, filtering and thresholding process was done with appropriate filter design. Image Segmenter Tool was used for thresholding process. Unlike other studies, active contour method was used to perform lung segmentation. Active contour operation provides energy minimization by drawing skews inside and outside the lung boundaries, iteration continues until equilibrium is achieved, so that the lung boundaries are determined. After active contour procedure, morphological procedures were applied, lung areas were removed and areas were calculated. As a result, semi-automatic segmentation was carried out using the active contour model along with image processing procedures. A significant difference was obtained between the lung sizes of patients and healthy individuals. It is aimed to develop a fully automatic segmentation algorithm that can be generalized for each patient in the future.

**Keywords:** Chest X-ray (CXR), Pneumonia, MATLAB, Segmentation, Active Contour Model (ACM)

## Pnömonili Hastalarda ve Sağlıklı Bireylerde Akciğer Boyutunun Değerlendirilmesi

### Öz

Son yıllarda tıbbi görüntü segmentasyonu çalışmaları ve bu konudaki ihtiyaç hızla artmaktadır. Tıbbi görüntülerde teşhis edilecek bölgenin yarı veya tam otomatik segmentasyonu, doktorlara tanı için önemli bir kolaylık sağlamaktadır. Özellikle doktor eksikliğinin olduğu bazı ülkelerde doktor olmadan tedaviye yardımcı olmak tam otomatik segmentasyon yöntemi ile sağlanmış olacaktır. Bu çalışmada pnömonili hastaların ve sağlıklı bireylerin akciğer röntgeni görüntüleri üzerinde çalışılmıştır. Röntgen görüntüleri diğer görüntüleme yöntemlerine göre daha ucuz ve yorumlanması kolay olmasından dolayı avantajlıdır. Röntgen görüntüleri hazır veri kümesinden alınmış olup, görüntü seti 5 yaşın altındaki çocukların göğüs röntgeni görüntülerinden oluşmaktadır. Alınan veri setinden toplam 15 birey (5 sağlıklı, 5 pnömonili (virüslü) hasta, 5 pnömonili (bakterili) hasta) üzerinde çalışma yapılmıştır. Akciğer alanlarının segmentasyonu için MATLAB programı kullanılmıştır. Segmentasyon için, öncelikle görüntüler MATLAB' e alındıktan sonra boyutu küçültülmüştür. Ardından görüntülerin kontrastı artırılarak, uygun filtre tasarımı ile filtreleme ve eşikleme işlemi

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\*Sorumlu Yazar: Erciyes Üniv., Mühendislik Fak., Biyomedikal Böl., Kayseri, Türkiye, [ksemra@erciyes.edu.tr](mailto:ksemra@erciyes.edu.tr)



yapılmıştır. Eşikleme işlemi için Image Segmenter Tool kullanılmıştır. Yapılan diğer çalışmalardan farklı olarak akciğer segmentasyonu yapmak için active contour yöntemi kullanılmıştır. Active contour işlemi akciğer sınırları içerisinde ve dışarısında eğriler çizerek ve enerji minimasyonu sağlar, denge sağlanana kadar iterasyon devam eder böylelikle akciğer sınırları belirlenmiş olur. Active contour işleminden sonra morfolojik işlemler uygulanmıştır, akciğer alanları çıkartılmış ve alanları hesaplanmıştır. Sonuç olarak görüntü işleme prosedürleriyle birlikte aktif kontur modeli kullanılarak yarı otomatik segmentasyon gerçekleştirilmiştir. Hasta ve sağlıklı bireylerin akciğer boyutları arasında anlamlı bir fark elde edilmiştir. Gelecekte her hasta için genellenebilecek tam otomatik segmentasyon algoritmasının geliştirilmesi hedeflenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Göğüs Röntgeni, Pnömoni, MATLAB, Segmentasyon, Aktif Kontur Model (AKM)

## 1. Introduction

Pneumonia is a deadly lung infection caused by bacteria, viruses and parasites. This infection that occurs in the lung occurs in the form of accumulation of inflammatory cells in small lung sacs filled with air called alveoli, and the filling of serum from the blood vessels into this area.

Pneumonia is the leading cause of death among children in developing countries, including India. The World Health Organization estimates that one of three baby deaths at birth is due to pneumonia. Half of these deaths (those with bacterial causes) can be prevented by vaccination [1]. According to the World Health Organization (WHO), pneumonia kills about 2 million children under the age of 5 each year and is consistently estimated to be the only leading cause of childhood deaths. The World Health Organization (WHO) reports that almost all cases (95%) of beginning childhood pneumonia are in developing countries, particularly in Southeast Asia and Africa [2].

Bacterial and viral pathogens are two leading causes of pneumonia. The normal chest x-ray shows open lungs without any abnormal areas of opacification in the image. Bacterial pneumonia typically exhibits focal condensation in the right upper lobe, while viral pneumonia is manifested by a more common “interstitial” pattern in both lungs. Bacterial pneumonia is treated with supportive care for viral pneumonia while seeking immediate referral for emergency antibiotic therapy. Therefore, accurate and timely diagnosis is essential. One of the key elements in the diagnosis is radiographic data because chest x-rays are routinely taken as standard and can help differentiate between different types of pneumonia. However, rapid radiological interpretation of images is not always possible, especially in low resource environments where childhood pneumonia has the highest and highest mortality rates. For this purpose, it is very important in classifying pediatric chest X-rays in detecting pneumonia and also in distinguishing pneumonia to facilitate rapid referrals for children who need urgent intervention [3].

Abhishek Sharma et al., present a new approach to detecting the presence of pneumonia clouds on chest x-rays (CXR). For this, they studied 40 analog breast CXRs from patients infected with normal and pneumonia. Native algorithms have been developed for cutting and removing the lung region from images. Herbaceous threshold value was used to detect pneumonia clouds to separate the healthy part of the lung from pneumonia infected cloudy regions. To obtain a result, it is proposed to calculate the ratio of the area of the healthy lung region to the total lung region. Lung segmentation was done using Python and OpenCV [4].

Mohd Nizam et al., tried to segment the lung using edge-based segmentation. To better detect the edges, they first found the lung edges using the Euler number method and obtained better results. They divided the lung area into sections and calculated their area using a ready-made tool in the MATLAB program and filtering Canny [5].

Preeyanan Pattrapisetwong et al., have tried to develop a Computer Aided Diagnosis (CAD) system for the detection of chest diseases. On chest radiographs, they performed lung segmentation based on shadow filter and local threshold. Their approach consists of three processes: pretreatment, initial lung area estimation, and noise removal. Performance measures (overlap, accuracy, sensitivity, specificity, precision, and F-score) of the proposed method are above 90% [6].

Mesut Togacar et al., utilized lung x-ray images that are accessible for the recognition system developed for the diagnosis of pneumonia. Evolutionary neural network (ENN), one of the deep learning models, was used for feature extraction in the resulting image set. The attributes obtained for the diagnosis of the disease were performed using performance comparisons using different classifiers. As a result of the comparison, a high success rate of 95.8% was obtained with the support vector machines (SVM) used in the classification process. It has been observed in the early diagnosis of deadly diseases such as pneumonia, in the studies that deep learning models give faster and more accurate results [7].

Chest x-ray (CXR) is important for the diagnosis of pneumonia. It is cheaper and easier to interpret than other imaging systems. In this study, it is aimed to remove the lung areas semi-automatically to diagnose pneumonia or any other lung disease by chest x-ray. In line with this goal, active contour method was applied to the lung x-ray images with bacterial and virus pneumonia in Matlab environment. The area of healthy and diseased lung areas has been calculated and the model is intended to operate fully automatically in future studies.

## 2. Materials and Method

### 2.1. Materials

The ready-made data set from Kaagle has a total of 5.841 images, 4.265 children with pneumonia (under 5 years of age) and 1.576 chest X-rays from healthy children [8]. After the data was received, MATLAB was used to process the data.

### 2.2. Method

#### 2.2.1. Active Contour Model

Active contour model (ACM) is the method used to segment the boundaries of an object on the image from other regions in the image. Active contour model is the most widely used model-based method among the degradable models [9]. In degradable models, segmentation is performed with the effect of internal, external and image forces. In order to define the borders of the lungs, closed curves must be located close to the limit to be defined. Curves are then generated as many times as the number of iterations. Internal forces ensure that the curve remains smooth throughout deformation. External forces ensure that the curve is kept at a local minimum. The image forces, on the other hand, ensure that it is directed towards certain points such as the edge in the lung image. Active contour model is a method that enables semi-automatic segmentation by minimizing iteration and energy function [10]. The path to form the curve is determined by minimizing the starting point energy selected by the user so that the lung is close to the border [11]. In other words, it draws a curve on the inside or outside of the lung; With energy minimization created by iterations to take the shape of the curved lung, the curve moves and provides segmentation as in Equation.1 [11,12].

$$E(v)=E_{img}(v^{\vec{}})+E_{int}(v^{\vec{}})+E_{ext}(v^{\vec{}}) \quad (1)$$

Here  $E_{int}$  indicates the internal force caused by the bend. It is expressed by the tension and flexibility distortions of the contour.  $E_{img}$  image strength;  $E_{ext}$  represents external force [13]. At the point where all forces are balanced, the position of the ACM corresponds to the total local minimum. In other words, Equation.2 determines the boundary regions and minimizes the energy directed by external forces and image forces. Equation energy in the Active Contour Model algorithm is as in Equation.2.

$$E_{img}(v^{\vec{}})=-\int_0^1 P(v^{\vec{}}(s,t)) ds \quad (2)$$

As given in Equation.3,  $P(v(s,t))$  is taken equal to the size of the image gradient when pulling the ACM algorithm to the edges [13].

$$P(v^{\vec{}}(s,t))=|\nabla I(v^{\vec{}}(s,t))| \quad (3)$$

$\nabla I(v(s,t))$  prevents the algorithm from moving to lower image-energized positions, allowing the image to be softened and the junk spots removed. That is, it directs to more specific details [13]. Equation.4 gives the internal force change.

$$E_{int}(v^{\vec{}})=\frac{1}{2}\int_0^1 \alpha(s)\left|\frac{\partial v^{\vec{}}(s,t)}{\partial s}\right|^2+\beta(s)\left|\frac{\partial^2 v^{\vec{}}(s,t)}{\partial^2 s}\right|^2 ds \quad (4)$$

Here,  $\alpha(s)$  and  $\beta(s)$  are functions that regulate the stiffness and tension of the ACM algorithm. Contour tension is controlled by  $\alpha(s)$  tension with  $\beta(s)$ . Restrictions for voltage are performed by the first terms, making the ACM algorithm act like a dice. It provides the ACM algorithm to act as a thin layer by restricting it with the second order terms for stiffness. In this way, it is aimed to balance the energies [13]. Equation.5 gives external force exchange.

$$E_{ext}(v^{\vec{}})=\int_0^1 P(v^{\vec{}}(s)) ds \quad (5)$$

This external force equation directs the algorithm to the edge details of the lungs in the lung x-ray image, as given in Equation.6 [13].

$$E(\vec{v})=-\int_0^1 P(\vec{v}(s,t))ds+\frac{1}{2}\int_0^1 \alpha(s)\left|\frac{\partial v^{\vec{}}(s,t)}{\partial s}\right|^2+\beta(s)\left|\frac{\partial^2 v^{\vec{}}(s,t)}{\partial^2 s}\right|^2 ds \quad (6)$$

This expresses the total energy function of the ACM algorithm as in Equation.7 [13].

$$E(v^{\vec{}})=-\int |\nabla I(v)|^2 ds + \alpha(s) \int |(v_s)|^2 ds + \beta(s) \int |(v_{ss})|^2 ds \quad (7)$$

Here,  $\alpha(s)$  and  $\beta(s)$  denote the weight parameters, the curve parameter  $v_s$  refers to the first derivative according to  $s$  and the parameter  $v_{ss}$  refers to the second derivative. In line with these equations, progress stops when the curve reaches the lung boundaries with a high image gradient, thereby detecting the lung boundaries [14,15,16].

### 2.2.2. Procedures for Lung Segmentation

Since the size of the chest x-ray images in the data set received is very large, the dimensions of the images were first taken to MATLAB and then it was reduced to [600 600] for easier processing. The reason for doing [600 600] is that it does not give good results in the dimensions below this size. Firstly, the contrast of the adjusted images has been increased and then filtering has been applied to the images.

After filtering, thresholding was done using the Image Segment Tool. The most appropriate threshold value was found by drawing histogram graphics of the images. Active contour was applied after thresholding. Active stroke allows the image to be separated as foreground and background using the active strokes of the image. In this study, the most appropriate active contour iteration value was applied as 100 and "Chan-Vese" mode was used.

Morphological procedures were performed after the active contour procedure. First of all, the gaps were filled, then the lung structure was tried to be improved by performing imdilata and imerode processes. After these procedures, the lungs were removed and their areas were calculated for healthy and sick individuals. Segmentation stages of patients with pneumonia and healthy individuals are given in the figures below.

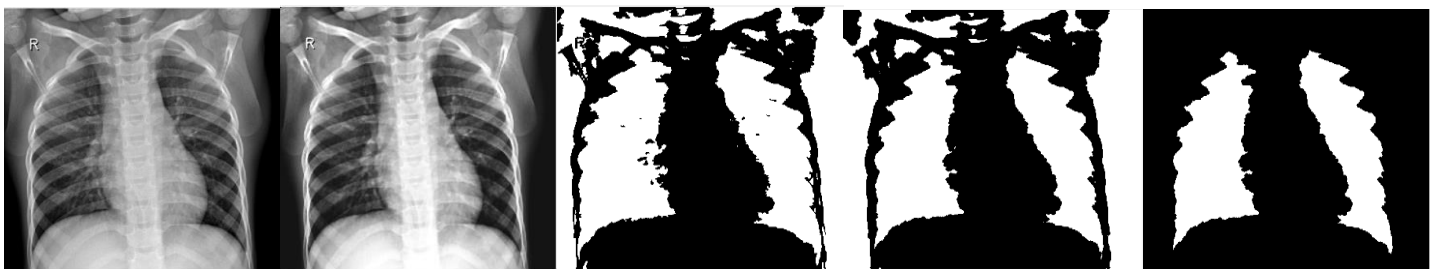


Figure 1. Respectively: Original x-ray image of the healthy individual, Contrast-enhanced and filtered image, Image with threshold and active contour application, Image with morphological processes, Image with lungs removed

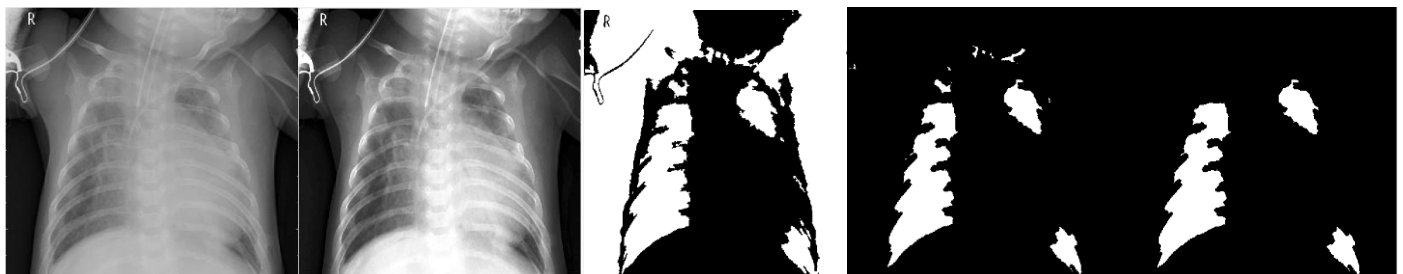


Figure 2. Respectively: Original x-ray image of the patient with pneumonia (virus), Contrast-enhanced and filtered image, Image with threshold and active contour application, Image with morphological processes, Image with lungs removed

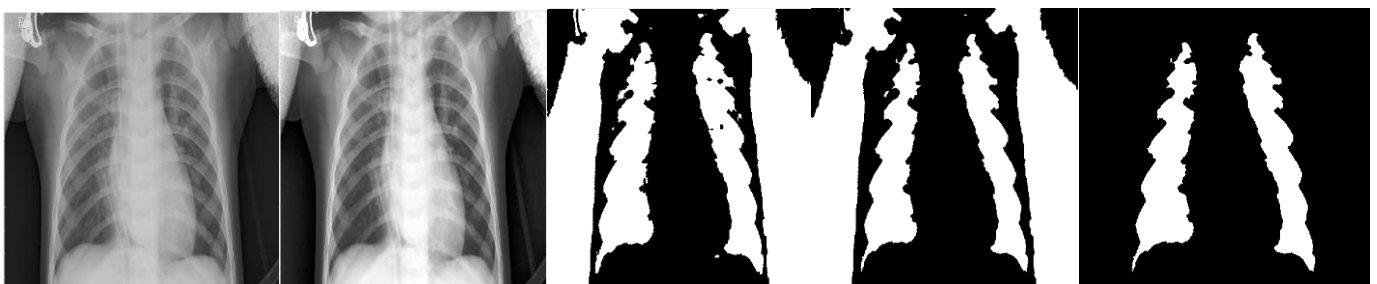


Figure 3. Respectively: Original x-ray image of the patient with pneumonia (bacteria), Contrast-enhanced and filtered image, Image with threshold and active contour application, Image with morphological processes, Image with lungs removed

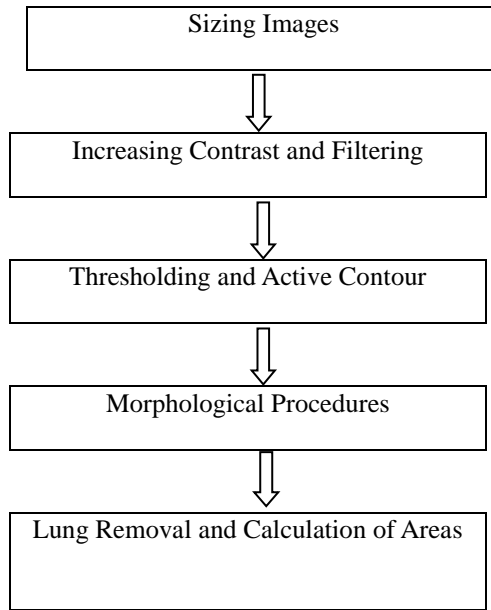


Figure 4. Block diagram of lung segmentation

### 3. Research Results and Discussion

#### 3.1. Results

As a result of segmentation procedures in MATLAB, total areas of the lungs were found. A total of 15 individuals were studied, including 5 healthy individuals, 5 patients with pneumonia (virus) and 5 patients with pneumonia (bacteria). A clear difference was observed between lung sizes between healthy individuals and patients with pneumonia. As shown in Table 1, the average lung area of healthy individuals is 115575.2, the average lung area of patients with pneumonia (virus) is 69005.4, while the average lung area of patients with pneumonia (bacteria) is 60656.4.

Table 1: Lung Areas and Average Lung Areas

Participant Groups	Healthy Group	Patient Group with Pneumonia (virus)	Patient Group with Pneumonia (bacteria)
1. Individual	94080	35141	27883
2. Individual	129501	63478	69352
3. Individual	123272	75901	79633
4. Individual	106665	86009	69527
5. Individual	124358	84748	56887
Average Lung Areas	115575,2	69005,4	60656,4

### 3.2. Discussion

There are many studies reporting good segmentation results for CXR images. For example, Sharma et al., segmented the lungs with the Herbaceous method by destroying pneumonia clouds in the segmentation process. Since pneumonia clouds are not seen in the lung image after herbaceous thresholding, this ratio is expected to be much lower than it is calculated for healthy lungs without cloud. It is aimed to calculate the ratio of the lung area to the area of the total lung area after herbaceous thresholding [4].

In the study by Saad et al., the segmentation process starts by detecting the lung edge using canny edge detection filters. Euler number method is applied to improve edge detection. The morphology method is then used to improve the lung edge so that the final output of the lung region can be produced. After performing the segmentation task, it is compared with the GT image to check the output similarities in the form of the lung region mask. Jaccard Similarity Coefficient was used to calculate the similarity in the evaluation. The value obtained from the test is moderately high, although it does not exceed the score of previous researchers [5].

There have been many studies on the deep learning model in the biomedical field recently. It was understood in the analysis results of the studies that the deep learning gave effective results. The convolutional neural network (CNN) model has been observed to be effective in the biomedical field as well as in other fields, in a study by Toğaçar et al., here, the most important feature of the CNN model is faster, more efficient and most importantly, automatically generating attributes and reflecting this on the result. Application of this model on chest x-ray images; It is important for early diagnosis of pneumonia. A feature extraction set was obtained using the AlexNet architecture. Classification was performed between image sets using the properties obtained, decision tree (DT), linear discrimination analysis (DAA), linear regression (LR), support vector machines (SVM), nearest neighbor (NN) and softmax classifiers. The effect of using the principal component analysis (PCA) on the results was analyzed and it was seen that it saves time. The most successful classifier among the classifiers used was the SVM classifier with a success rate of 95.8% [7].

### 4. Conclusion

In this study, pulmonary segmentation was performed by applying active contour method to x-ray images of the lung. There was a significant difference in the lung sizes of patients with pneumonia and healthy individuals. However, segmentation was performed semi-automatically and with additional procedures for patient images due to the lung areas behind the bone tissues and the contrast in the image. In the future, it is aimed to develop an automated segmentation algorithm to identify lung areas that can be generalized for each patient.

### Reference

- [1] WHO and Maternal and Child Epidemiology Estimation Group (MCEE) estimates 2015.
- [2] Rudan, I., Boschi- Pinto, C., Biloglav, Z., Mullholland, K., Campbell, H. (2008). Epidemiology and etiology of childhood pneumonia. *Bull World Health Organ*, pp. 408-416.
- [3] Kermany, D., Goldbaum, M., Cai, W., Lewis, M.A., Xia, H., Zhang, K. (2018). Identify Medical Diagnosis and Treatable Diseases by Image- Based Deep Learning.
- [4] Sharma, A., Raju, D., Ranjan, S. (2017). Detection of pneumonia clouds in chest X-ray using image processing approach. *Nirma University International Conference on Engineering (NUICONE)*, Ahmedabad, India.
- [5] Saad, M.N., Muda, Z., Sahari, N., Hamid, H.A. (2014). Image Segmentation for Lung Region in Chest X-ray Images using Edge Detection and Morphology. *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, Penang, Malaysia.
- [6] Pattrapisetwong, P. & Chiracharit, W. (2016). Automatic Lung Segmentation in Chest Radiographs Using Shadow Filter and Local Thresholding. *2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC)*.
- [7] Toğaçar, M., Ergen, B., Sertkaya, M.E. (2018). Zatürre Hastalığının Derin Öğrenme Modeli ile Tespiti.
- [8] (2019) The Kaagle website. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia#IM-0001-0001.jpeg>
- [9] Tuncer, S.A. (2018). Retinal Görüntülerden Optik Diskin Aktif Kontur Yöntemi ile Bölütlenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*.
- [10] Chan, T.F. & Vese, L.A. (2001). Active contours without edges. *IEEE Transactions on Image Processing*, 10, (2).
- [11] Kass, M., Witkin, A., Terzopoulos, D. (1988). Snakes: active contour models. *International Journal of Computer Vision*, 1, 321-331.
- [12] Filho, P.P.R., Cortez, P.C., Barros, A.C., Albuquerque, V.H. (2014). Novel Adaptive Balloon Active Contour Method based on internal force for image segmentation A systematic evaluation on synthetic and real images. *Expert Systems with Applications*, 41, 7707-7721.
- [13] Seker, D.Z. & Eker, O. (2005). Aktif Kontür Modeller ve Düzey Kümesi Kullanarak Çizgisel Detayların Yarı Otomatik Olarak Çizilmesi. *10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*.
- [14] Isıkçı, E. & Duru, D.G. (2015). Multiple Skleroz Manyetik Rezonans Görüntülerinde Aktif Kontur Modeli ile Lezyon Tespiti. *Tıp Teknolojileri Ulusal Kongresi*.
- [15] Tuncer, S.A. & Alkan, A. (2015). Segmentation of thyroid nodules with K-means algorithm on mobile devices. *16th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI)*, Budapest, pp. 345-348.
- [16] Alkan, A., Tuncer, S.A., Gunay, M. (2014). Comparative MR image analysis for thyroid nodule detection and quantification. *Measurement*, 47, pp. 861-868.





## ORCA: GO Programlama Dili için ORM/ODM Kütüphanesi\*\*

Mehmet Emin Kaymaz<sup>1</sup>, Övünç Öztürk<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0710-5732)

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7127-7902)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf40)

**ATIF/REFERENCE:** Kaymaz, M. E. & Öztürk, Ö. (2020). ORCA: GO Programlama Dili için ORM/ODM Kütüphanesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 310-317.

### Öz

Bu bildiri Go olarak bilinen Golang dili için geliştirilmiş ORCA adında yeni bir ORM kütüphanesi sunulmaktadır. Geliştirilen kütüphane SQLite, MongoDB, RedisDB ve MemcacheDB olmak üzere dört farklı veritabanı sistemine veritabanı tipinden bağımsız olarak destek sunmaktadır. Böylelikle rakiplerinden farklı olarak, veritabanı ve hatta veritabanı tipi değiştirildiğinde bile uygulamanın kaynak kodunu değiştirmeden kullanabilme imkanı sunmaktadır. Bunun dışında benzerlerine göre daha kullanıcı dostu ve daha yüksek performans sağlayan bir kütüphanedir. Ayrıca kullanıcının kendi fonksiyonlarını yazabilmesini sağlayan yerel kanca (local hook) ve global kanca (global hook) yapılarını sunmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** ORM Kütüphanesi, Go, Golang, veritabanı, GORM, XORM.

## ORCA: An ORM/ODM Library for Go Programming Language

### Abstract

This paper proposes a new ORM library, namely ORCA, for the Golang (Go) language. The proposed library supports four different database systems (SQLite, MongoDB, RedisDB and MemcacheDB), regardless of database type. Thus, unlike its competitors, it offers the possibility to use the database without changing the source code if when the database or even the database type is changed. Besides, ORCA performs better with a more user friendly syntax compared to its competitors. ORCA also offers local hook and global hook structures that enable the user to write their own functions.

**Keywords:** ORM Library, Go, Golang, database, GORM, XORM.

\* Sorumlu Yazar: Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye, ORCID: 0000-0001-7127-7902, [ovunc.ozturk@cbu.edu.tr](mailto:ovunc.ozturk@cbu.edu.tr)

\*\* Bu bildiri *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Go (Golang) Google tarafından geliştirilen, statik olarak derlenmiş bir açık kaynak programlama dilidir. Eş zamanlı programlamayı destekler diğer bir deyişle kanalları, “goroutines”leri vb. Bileşenleri kullanarak eş zamanlı olarak birçok işlemi çalıştırabilir. Go bellek yönetimini kendisi sağlayan ve ertelenmiş fonksiyonları destekleyen bir çöp toplama sistemine sahiptir.

Go programlama dili temelde Google’ın arka plandaki sistem performansını arttırmak amacıyla geliştirilmiş bir sistem programlama dilidir. Fakat az kaynak tüketmesi, web uygulamalarının kendi kendini host ediyor olması ve yüksek performans özellikleri sayesinde Web programlama tarafında yoğun ilgi görmektedir. Go dilinin özelliklerini sıralamak gerekirse, Diğer programlama dillerinin aksine Go dilinde koleksiyon yapıları bulunmamaktadır. "Net", "os" gibi güçlü kütüphanelere sahiptir. Diğer diller ile sistem çağrısı komutları kullanarak yapılan bir kısım iş Go ile platform bağımsız çalışabilecek şekilde yazılabilir. Sistem çağrısı komutu işletim sistemi ile doğrudan iletişim kurmayı ve işletim sistemine iş yaptırmayı sağlar. Ancak her işletim sisteminin farklı arayüzlere sahip olduğundan sistem çağrısı komutu kullanılarak yazılan bir program sisteme bağımlı kalmaktadır. Go diline ait "net" ve "os" gibi kütüphaneler ile bu komutların bir kısmını işletim sisteminden bağımsız olarak kullanılabilir.

[1], Web uygulamalarının karşılaştırılması için sunulmuş açık kaynaklı Acme Air uygulamasını [2], [3] kullanarak Go, Javascript ve Java programlama dillerinin performanslarını karşılaştırmaktadır. Go programlama dilinin diğer ikisine göre önemli ölçüde iyi performans gösterdiği görülmüştür. Deneylerde, Java’nın Web çerçevesinde Go’dan 10 kat daha fazla zaman harcadığı gözlemlenmiştir. Deneysel sonuçlar, Go gibi statik olarak derlenmiş dillerin performansının cazip olduğunu göstermiştir.

Bunun yanı sıra Go dili mikroservis tabanlı mimariyi desteklediği ve Docker gibi konteyner uygulamalarının altyapısında kullanıldığı için Web uygulamasının tümünü Go diliyle geliştirmek yerine JavaScript vb. dillerle hibrit olarak uygulama geliştirmeyi de destekler. Böylelikle diğer dillerde geliştirilmiş uygulamaların yoğun zaman alan kısımlarını Go diliyle yeniden yazarak, az emekle önemli performans kazancı elde edilebilir.

Yukarıda bahsedilen nedenlerle Go programlama dilinin Web programlama dilleri arasında popülerliği gittikçe artmaktadır. 2017’nin başlarında TIOBE gibi dil popülerlik listeleri Go dilini en popüler 14. dil olarak belirlemiştir [4].

Nesne ilişkisel eşleyici (ORM), ilişkisel veritabanları tablolarında depolanan verilerin uygulama kodunda daha sık kullanılan nesnelere aktarılmasını otomatikleştiren bir kod kütüphanesidir. Bu çalışmada, Go programlama dili için önerilmiş yeni bir ORM kütüphanesi sunulmaktadır. Önerilen ORM kütüphanesinin mevcut kütüphanelere göre üstün yönleri daha kullanıcı dostu olması, daha yüksek performans sunması, kullanıcının kendi fonksiyonlarını yazabilmesi ve aynı kodu farklı veritabanlarında ve veritabanı tiplerinde kullanılmasını desteklemesi olarak sıralanabilir.

Bir sonraki bölümde, önerilen kütüphanenin mimarisi ve öne çıkan özellikleri listelenmektedir. Daha sonraki bölümde, önerilen kütüphanenin başarımı test edilmiş ve rakipleri ile karşılaştırılmıştır. Son bölüm, sonuçları ve olası gelecek çalışmaları listelemektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. GO Dili İçin Diğer ORM Kütüphaneleri

Literatürde yaygın olarak kullanılan açık kaynak iki ORM kütüphanesi bulunmaktadır: GORM [5] ve XORM [6]. GORM kütüphanesi PostgreSQL, SQLite, MySQL, MSSQL veritabanlarını desteklerken, XORM kütüphanesi ise TiDB, ORACLE, MySQL, MSSQL veritabanlarını desteklemektedir. Go programlama dilinde en kapsamlı veritabanı desteği bulunan ORM araçları olarak GORM ve XORM kütüphaneleri örnek verilebilirken, daha kısıtlı veritabanı desteği bulunan çeşitli ORM ve ODM araçları da literatürde mevcuttur. Örneğin, Kallax [7], Redis-ORM [8], Mongodm [9] ve pg[13] bunlara örnek verilebilir. Go programlama dili için geliştirilmiş ORM kütüphanelerine yakından bakacak olursak,

Tablo 1. Literatürdeki ORM Kütüphaneleri

ORM Kütüphaneleri	Veritabanı sayısı	Veritabanı tipi sayısı	Veritabanı isimleri
ORCA [10]	4	3	SQLite, MongoDB, RedisDB, MemcacheDB
GORM [5]	4	1	SQLite, MySQL, PostgreSQL, MSSQL
XORM [6]	4	1	TiDB, ORACLE, MySQL, MSSQL
Kallax [7]	1	1	PostgreSQL
Pg [11]	1	1	PostgreSQL
RedisORM [8]	1	1	RedisDB
MongoDM [9]	1	1	MongoDB

Tablo-I'de görüldüğü üzere şuan en fazla veritabanı desteği veren ORM kütüphanelerinin GORM,XORM ve ORCA olduğu ve diğer kütüphanelerin ise belli bir veritabanına yönelik destek sunduğu görülmüştür.

En geniş veritabanı desteği veren ORM kütüphanelerine yakından bakarsak her birinin eşit sayıda veritabanı desteği verdiği ancak ORCA'nın 3 farklı veritabanı tipini desteklediği görülmüştür ve bu durum kullanıcıya büyük bir avantaj sağlamaktadır.Örneğin, kullanıcı eğer isterse programın kaynak kodunu değiştirmeden SQL veritabanından NoSQL veritabanına ORCA sayesinde kolayca geçiş sağlayabilir.

Ayrıca ORCA'nın spesifik tek bir veritabanına destek veren bir ORM kütüphanesiyle karşılaştırıldığında da kullanıcıya geliştirme kolaylığı ve avantajlar sağladığı görülür.Örneğin, ORCA Redis veritabanı üzerinde ilişkisel olarak anahtar isimlendirmesini kullanıcıya sağlayabilirken, Kallax gibi sadece RedisDB desteği veren bir ORM kütüphanesinde bile böyle bir özellik bulunmamaktadır.

Go programlama dilini kullanan geliştiriciler için en fazla veritabanı desteği sunan ve farklı tipte veritabanlarını destekleyen ORM kütüphanesi ORCA'dır.

Tablo-II'de görüldüğü gibi ORCA, GORM ve XORM kütüphanelerinin her biri 4 veritabanına destek vermekte ancak ORCA farklı veritabanı tiplerine de destek vererek veritabanı tarafında yapılacak ciddi bir değişimde bile kaynak kodda yapılacak değişikliği minimize ederek tekrar kullanılabilirliğini sağlamaktadır.

Tablo 2. Literatürdeki ORM Kütüphaneleri

Özellikler	ORCA	GORM	XORM
Desteklenen Veritabanı sayısı	4	4	4
SQL Veritabanı desteği	+	+	+
NoSQL-Document Veritabanı desteği	+	-	-
NoSQL-Key-Value Veritabanı desteği	+	-	-

## 2.2. ORCA ORM Kütüphanesi

ORCA güncel sürümünde dört farklı veritabanı desteği sunmaktadır. Bu veritabanları SQLite (SQL), MongoDB(NoSQL-Document), RedisDB (NoSQL-Key-Value Store) ve Memcached (NoSQL-Key-Value Store) olarak sayılabilir. ORCA'nın diğer kütüphanelerden ayrıldığı temel nokta hem ORM hem de ODM kütüphanesi olarak davranabilmesi ve bunu kodda minimum değişikliklerle gerçekleştirmesidir. Bu nedenle alt seviyede kullanılan veritabanının değişmesi durumunda kodda değişiklik yapılmamasını sağlıyor. Bu nedenle Polyglot persistence'ın [12] uygulanmasını kullanılması gereken kütüphane sayısını azaltarak kolaylaştırmaktadır.

Bunun yanında ORCA'nın diğer bir katkısı da veritabanı işlemlerini daha kullanıcı dostu bir sözdizimi ve komut yapısı ile gerçekleştirmeyi mümkün kılmasıdır. ORCA ile fonksiyonel dillerde temel yapı taşı olan ve tüm dillerde kullanılan liste tipi kullanarak tüm veritabanı işlemlerinin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır. Örneğin, temel CRUD işlemlerini gerçekleştirmek toplam 25 satır uzunluğunda bir kod ile gerçekleştirilebilir. Geliştirilen kütüphanenin temel amacı Go dili ile farklı veritabanlarının daha kolay ve verimli bir şekilde kullanılmasını sağlayacak bir programlama arayüzü sunmaktır.

## 2.3. Temel Nitelikler

### 2.3.1. Auto Migrations

ORCA kullanıcının tanımladığı verinin özelliklerine bakarak bu verinin veritabanı tarafında varsa model ilişkileri kurularak saklanmasını sağlar böylece kullanıcının tablo veya koleksiyon (veritabanına göre değişecektir) oluşturmasını ya da model ilişkilerini belirtmesine gerek kalmaz.

Kullanıcı sadece kullanmak istediği veri tipini Go dilinde tanımlar ve ORCA'yı kullanarak veritabanı işlemlerini gerçekleştirir ve bu işlemler gerçekleşirken ORCA kullanmakta olduğu veri tipini analiz edip verinin veritabanı üzerine modellenmesini sağlar.Böylece kullanıcı yazmakta olduğu algoritmaya odaklanabilir ve verinin nasıl ve ne şekilde veritabanında saklanıp modelleneceğiyle ilgilenmesine gerek kalmaz.

Eğer veritabanında ORCA tarafından modellenmiş ve saklanmış veriler varsa ORCA bu verileri ilgili veritabanından okuyarak belleğe (Cache) alacaktır ve bu okunan veriler kullanıcının tanımlamış olduğu veri tipleriyle otomatik olarak ilişkilendirilecektir.

Bu anlatılan işlemlerin tümü kullanıcı tarafından ORCA kullanılarak tek bir kod satırıyla gerçekleştirilebilir.

### 2.3.2. Composite Primary Key

ORCA kullanıcının tanımlamış olduğu verinin ID değerini otomatik olarak oluşturur. Böylece kullanıcı herhangi bir ID değeri belirtmek zorunda kalmadan verinin kendisini vererek işlemini gerçekleştirebilir. Örneğin, kullanıcı kendi tanımlamış olduğu veri tipinden bir değişken oluşturmuş olsun ve ilgili değişken ORCA kullanılarak veritabanına kaydedilsin bu durumda kullanıcı kaydetmiş olduğu bu veriyi eğer güncellemek ya da silmek isterse tanımlamış olduğu değişkeni ORCA'ya vererek veritabanı işlemini gerçekleştirebilir.

Bunun yanında ORCA SQL veritabanlarında yabancı anahtar (Foreign Key) tanımlama ve ilişkilendirme işlemlerini kullanıcının tanımladığı veri tipine göre arka planda gerçekleştirir.

### 2.3.3. Composite List

Günümüzde kullanılan çoğu programlama dili koleksiyonları desteklemekte haliyle birçok geliştirici bu koleksiyonların nasıl kullanılacağını bilmekte bu yüzden ORCA kullanılması ve öğrenilmesi kolay olması amacı ile bir koleksiyon gibi tanımlanıp kullanılmasına imkan verecek bir yapıda geliştirilmiştir ve bu yapı Composite List'dir.

Bileşik liste (Composite List) veritabanındaki bir tablo ya da bir koleksiyonu temsil eder. Bileşik listenin elemanları, temsil ettiği tablo ya da koleksiyonda bulunan verilerdir. Kullanıcı bileşik listenin elemanları üzerinde bir değişiklik yaptığında bu değişiklik anında veritabanına iletilir. Kullanıcıya bileşik liste elemanları üzerinde değişiklik yapılabilmesi için sağlanan bazı metotlar vardır.

Bu metotlar,

- **AddRange**, veritabanına tek bir transaction altında birden fazla kayıt eklemek için kullanılır.
- **Add**, veritabanına tek bir transaction altında bir kayıt eklemek için kullanılır.
- **Update**, bir transaction altında veritabanındaki bir veriyi güncellemek için kullanılır.
- **Delete**, veritabanından bir veriyi silmek için kullanılır.
- **Clear**, bileşik listenin temsil ettiği tablo ya da koleksiyonun tüm içeriğini silmek için kullanılır.
- **Foreach**, kullanıcının tanımladığı bir fonksiyonu tüm verilere uygulamak için kullanılır.
- **GetLogs**, veritabanında yapılmış olan tüm işlemlerin bilgisini kullanıcıya iletir.
- **ToSlice**, barındırılan verilerin bir kopyasını kullanıcıya iletir.

Ayrıca ORCA kullanılan verileri bileşik liste üzerinde saklar ve liste ile senkronize bir biçimde veritabanı değişikliklerini gerçekleştirir bu sayede kullanıcı büyük miktarda veri okumak istediğinde bu verilerin herhangi bir sistem çağrısı gerçekleştirilmeden ve veritabanıyla iletişim kurmak için bir soket açmaya gerek olmadan kısa bir süre içerisinde okunması istenen büyük miktarda veriyi kullanıcıya sunabilmektedir. Bu sayede veritabanı ve veritabanı sunucusu üzerindeki işlem yükünü de oldukça azaltmaktadır.

Bileşik liste ve üzerinde tanımlı metotlar ORCA'nın güncel versiyonun da desteklediği tüm veritabanları için ortaktır böylece yazılmış kod değiştirilmeden veritabanı değiştirilebilir. Burada veritabanı tipinin de bir önemi yoktur bu da aynı kodun desteklenen farklı veritabanları içinde çalışabilmesini ve taşınabilmesini sağlamaktadır.

### 2.3.4. Local Hooks

Kullanıcı ORCA'nın sağladığı bileşik liste üzerinde tanımlı metotları kullanarak veritabanı işlemlerini gerçekleştirebiliyor ancak bazı durumlarda kullanıcı kendisine sunulan bu metotların öncesinde ya da sonrasında çalışacak fonksiyonlar yazmak isteyebilir bu durumda ORCA kullanıcıya yerel kancaları(local hooks) sunar. Böylece kullanıcının tek bir yerde tanımladığı fonksiyon, bileşik listenin ilgili metodu her çağırıldığında ORCA tarafından çalıştırılacaktır ve böylece kullanıcı veritabanını yönettiği katmanı istediği gibi şekillendirme imkanına sahip olacaktır.

ORCA'da tanımlı yerel kancalar,

- **BeforeAdd**, bileşik listenin Add metodundan önce bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **AfterAdd**, bileşik listenin Add metodundan sonra bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **BeforeDelete**, bileşik listenin Delete metodundan önce bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **AfterDelete**, bileşik listenin Delete metodundan sonra bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **BeforeUpdate**, bileşik listenin Update metodundan önce bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **AfterUpdate**, bileşik listenin Update metodundan sonra bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **BeforeAddRange**, bileşik listenin AddRange metodundan önce bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.
- **AfterAddRange**, bileşik listenin AddRange metodundan sonra bir fonksiyon çalıştırılmasına imkan verir.

Ayrıca kullanıcının tanımlamış olduğu fonksiyonlar, bileşik listenin ilgili metodunun içerisinde çalıştırılır böylece kullanıcı eğer isterse o an veritabanı işlemine katılan veriyi yazmış olduğu fonksiyon içerisinde kullanabilir. Örneğin, kullanıcı tanımladığı fonksiyonu BeforeAdd yerel kancasına atayabilir ve belirli kriterlere uyan bir veriyi veritabanına eklenmeden önce değiştirme imkanına sahip olabilir bu durumda veri değişmiş haliyle veritabanına eklenecektir.

Yerel kancaların her biri bir ID değerine ve önceliğe sahiptir böylece kullanıcı sınırsız sayıda fonksiyon tanımlayıp bir yerel kancaya atayabilir bu durumda tanımlanan fonksiyonlar kullanıcının belirlediği öncelik sırasına göre çalıştırılacaktır ayrıca kullanıcı belirli bir ID değerindeki yerel kancanın silinmesini de sağlayabilir.

Yerel kancalar kullanıcı tarafından kaynak kodda tanımlanır ve tanımlanmış oldukları kaynak kodda etkili olurlar.

### **2.3.5. Global Hooks**

Global kancalar yerel kancalardan farklı olarak tanımlandıkları işletim sistemi üzerindeki aynı veritabanına aynı bağlantı cümlesi ile bağlanan tüm ORCA'ların bileşik liste metotlarını etkiler ve ayrıca yerel kancalar gibi kaynak kod içerisinde tanımlanma zorunlulukları yoktur.

Global kancalar yalnızca lider ORCA tarafından tanımlanabilir. Bir global kanca tanımlandığında lider ORCA tanımlanmış olan global kancayı diğer ORCA'lara Unix Soketlerini kullanarak iletir böylece global kanca aynı bağlantı cümlesini kullanan tüm ORCA'lar tarafından ortak olarak kullanılmaya başlar.

Global kancaların sağladığı bir diğer avantaj ise global kancanın kaynak kodda tanımlanma zorunluluğunun olmamasıdır. Global kanca Orca Language kurallarına uygun olarak karakter bazlı (string) tanımlanır ve bu tanım bir yorumlayıcı (interpreter) ile yorumlanarak programın çalışma zamanında kodun derlenmesine gerek duyulmadan çalıştırılır.

Go programlama dili derlenen bir dildir ve ORCA global kancalar sayesinde kullanıcıya kodu tekrar derlemeye gerek duymadan ya da değiştirmeden programa yeni fonksiyonellikler kazandırmasını sağlar.

### **2.3.6. Lider ORCA**

Lider ORCA aynı işletim sistemi üzerinde bulunan ve aynı veritabanı bağlantı cümlesine sahip ORCA'lar arasındaki bağlantıyı sağlar ve global kanca tanımlama yetkisine sahip tek ORCA dır.

Kullanıcının lider ORCA tanımlamak için 1 satır kod yazması yeterli olmaktadır. Eğer aynı işletim sistemi üzerinde aynı veritabanı bağlantı cümlesine sahip başka ORCA'lar varsa birbirleri arasındaki iletişimi otomatik olarak sağlarlar kullanıcının burada herhangi bir şey yapmasına gerek duyulmaz.

Burada ORCA'lar arasındaki iletişim Unix soketler ile gerçekleştirilir. Örneğin, aynı veritabanı bağlantı cümlesine sahip ve aynı veri üzerinde değişiklik yapan iki ORCA yapılan değişiklikleri birbirlerine bu soketler üzerinden iletirler böylece veritabanı ve veritabanı sunucusu üzerine binen yük hafifletilmiş olur.

Kullanıcı eğer lider ORCA tanımını kaynak kodunda yapmazsa aynı işletim sistemi üzerinde aynı veritabanı bağlantı cümlesine sahip ORCA'lar bulursa bile aralarında bir iletişim başlamayacaktır bu bakımdan kontrol ve kullanım kullanıcıya bırakılmıştır.

### **2.3.7. Optional Select / Auto Select**

ORCA kullanıcıya veritabanındaki verileri okumak için iki farklı yöntem sunar.

Bu yöntemler,

- Otomatik select
- Opsiyonel select

ORCA varsayılan olarak veritabanındaki verileri okur ve daha hızlı yanıt verebilmek için bu verileri kendi ön belleğinde saklar. Bu sayede kullanıcı veritabanındaki verileri okumak istediğinde veritabanı üzerinde sorgu çalıştırmak yerine kendi belleğindeki barındırdığı verileri kullanarak kullanıcıya yanıt döner. Yani ORCA select işlemini kullanıcıdan bağımsız bir şekilde arka planda kendisi gerçekleştirir.

Eğer kullanıcı ORCA'nın kendi belleğinde verileri tutmasını istemiyor ya da veritabanından verileri kendi belirlediği şekilde okumak istiyorsa bu durumda ORCA kullanıcıya opsiyonel select imkanını sunar.

### **2.3.8. Generic Koleksiyonlar**

ORCA kullanıcıya elindeki verileri Go programlama dilini kullanarak filtreleyebilmesi ya da verilerin üzerinde çeşitli işlemler yapabilmesi amacı ile hazır listeler (koleksiyonlar) sunar böylece kullanıcı Go programlama dilinde performans kaygıları sebebiyle desteklenmeyen ancak diğer birçok dilde aşına olduğu koleksiyonları kullanma imkanına erişmiş olur. Koleksiyonların temel özelliklerini barındıran "container/list" paketi [13] kullanılarak günümüz koleksiyonlarının sahip olduğu fonksiyonlar geliştirilmiş ve ORCA'nın güncel versiyonunda kullanıcılara sunulmuştur.

ORCA kullanıcıya her biri farklı problemlerin çözümüne odaklanan dört farklı tipte liste sunmaktadır. ORCA'nın sunduğu bu araçlar tek bir satır kod ile birden fazla fonksiyonun, kullanıcının verileri üzerinde işlem yapmasını sağlayabilir böylece program geliştirme maliyetini en aza indirmek hedeflenir.

Mutable list, kullanıcıya veriler üzerinde işlem yapabilmesi için bazı metotlar sunar. Bu metotlar tanımlanan işlerini gerçekleştirmek için veri kaynağına veri kaynağının adresini kullanarak erişir ve veri kaynağını doğrudan değiştirirler. Bu durum kullanıcıya yüksek performans sağlarken veri kaynağına verinin adresi üzerinden erişildiğinden birden fazla iş parçacığının (goroutine) aynı anda veri kaynağına erişme ihtiyacı varsa, kullanıcı gerekli senkronizasyon işlemlerini yapmak durumundadır.

Immutable list, kullanıcının işlem yapmak istediği veri kaynağını kopyalar ve bu kopyayı kullanıcıya verir böylece aynı veri kaynağı birden fazla iş parçacığı (goroutine) tarafından senkronizasyona gerek duyulmadan kullanılabilir. Bu durumda veri kaynağı asla değişmez metotlar verinin kopyaları üzerinde işlem gerçekleştirir ve sonuç dönerler.



Lazy list, veri kaynağını değiştirecek işlemleri çağırılış sırasına göre saklar ve kullanıcı istediğinde bu işlemler gerçekleştirilir. Eğer kullanıcı çok büyük bir veri kaynağı üzerinde işlem gerçekleştirmek istiyor ancak bu işlemin sonucuna o an da ihtiyaç duymuyor ise lazy list kullanılabilir böylece kullanıcı işlemci üzerindeki yükü kontrol etme imkanı bulmuş olur.

ORCA'nın sunduğu bu araçlar veritabanını asla etkilemezler amaçları kullanıcıya sorgu sonuçları üzerinde kolay bir şekilde işlem yapabilme imkanı sağlamaktır.

## 2.4. ORM Mimarisi

ORCA kullanıcıya veritabanındaki verilerini yönetebileceği bir koleksiyon sunar bu koleksiyon kullanılarak yapılan işlemler eğer veriyi değiştirmeye yönelik ise hem veritabanı hem de ORCA'nın kendi belleği senkronize bir şekilde değiştirilir ancak işlemler verinin okunmasına yönelik ise ORCA veritabanı tarafında bir sorgu çalıştırmadan gerekli bilgiyi kullanıcıya kendi belleğini kullanarak ulaştırır. Bu durum veritabanı sistemlerinin en büyük problemlerinden biri olan veri okuma hızını artırır ve ayrıca veritabanı üzerindeki işlem yükünü de azaltır.

Ayrıca ORCA aynı işletim sistemi üzerinde barındırılan uygulamaların veritabanı performansını arttırmaya yönelik de çözümler sunuyor. Aynı işletim sistemi üzerinde aynı veritabanı bağlantı cümlesine sahip olan ORCA'lar sürekli bir birleri ile iletişim içerisinde olarak hem kullanıcıya aynı işletim sistemi üzerinde barındırılan uygulamalar için toplu bir kontrol mekanizması sağlıyor hem de ilgili uygulamaların arasındaki iletişimi sağlayarak gerçek zamanlı veri paylaşımını kullanıcıya sunuyor.

ORCA aynı işletim sistemi üzerinde diğer ORCA kullanan uygulamalar arasındaki iletişimi Unix Soketlerini kullanarak gerçekleştiriyor. Unix Soketler TCP Soketlerinden daha az maliyetli ve hızlı olduğu için tercih ediliyor. Bu sayede veri de bir değişiklik yapıldığında değişikliği yapan ORCA diğerlerine değiştirdiği veriyi iletiyor böylece diğer ORCA'lar veritabanı tarafında bir sorgu çalıştırmadan değişikliği elde etmiş oluyor ayrıca bunu değişiklik gerçekleşir gerçekleşmez elde ediyorlar. Bu durum veritabanı üzerindeki işlem yükünü ciddi oranda azaltıyor. Örneğin, 10 uygulamanın ortak bir veritabanı kullandığını düşünelim ve veritabanına 1 kayıt girildiğini varsayalım önce veritabanı ile iletişim kurmak için bir TCP soketi oluşturulmalı ve her bir uygulamanın yapılan değişikliği alması için bir select sorgusu çalıştırması gerekli ve tabii ki veritabanının ilgili bilgileri cevap olarak dönebilmesi için disk üzerinde okuma yazma işlemleri yapması gerekecektir sonuç olarak 1 insert sorgusu, 9 select sorgusu, 10 tcp soketi ve 10 ayrı disk üzerine okuma ya da yazma işlemi gerçekleştirilmiş olur ancak eğer ORCA kullanılıyor olsaydı 1 insert sorgusu, 10 unix soketi, 1 TCP soketi ve 1 diske yazma işlemiyle sonuç elde edilmiş olacaktı. Bu durum ORCA kullanıldığında veritabanı ve veritabanı sunucusu üzerine binen işlem yükünün normalden 10 kat daha az olacağını göstermektedir.

ORCA kullanıcıya son olarak veritabanı işlemlerinden elde edilmiş veriler üzerine kullanıcı tanımlı ya da önceden tanımlanmış fonksiyonların kolayca uygulanmasını sağlayan araçlarda sunmuştur.

ORCA kendi belleği üzerinde işlem yaptığı verileri tutma yetisi sayesinde uygulama performansını arttırmayı hedeflemektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Başarım Karşılaştırması

ORCA'nın diğer ORM (Object Relational Mapping) ve ODM (Object Document Mapping) araçlarından farkı kullanmakta olduğu verileri kendi belleğine alması bu sayede veritabanı tarafında çalıştırılan sorgu sayısını azaltarak hem veritabanı ve veritabanını bulandıran sunucunun işlem yükünü azaltmakta hem de kendi belleğinde tuttuğu veriler sayesinde kullanıcıya çok hızlı bir şekilde cevap verebilmekte.

Günümüzde Go programlama dilini kullanmakta olan geliştiriciler arasında oldukça popüler olan GORM ile geliştirmekte olduğumuz ORCA kullanılarak 4 farklı deney gerçekleştirilmiş ve iki kütüphanenin performansları karşılaştırılmıştır.

**Test 1:** Her iki kütüphane SQLite veritabanına önce 100 sonra 200 kayıt yazmış ve yazma işlemi bittikten sonra kayıtlar tümüyle okunmuştur. Her iki kütüphane her bir kayıt için birer transaction açıp kapatmıştır. Ölçüm işlemleri kütüphaneler verileri okumaya başladıklarında başlatılmıştır ve verileri veritabanına yazarken harcanan zaman ve kaynak sonuçlara dahil değildir.

```
Tests passed: 4 of 4 tests - 3 m 43 s 594 ms
<4 go setup calls>
goos: windows
goarch: amd64
BenchmarkOrca100TuplesRead-4      2000000000      0.00 ns/op
BenchmarkOrca200TuplesRead-4      2000000000      0.00 ns/op
BenchmarkGorm100TuplesRead-4      2000000000      0.01 ns/op
BenchmarkGorm200TuplesRead-4      2000000000      0.02 ns/op
PASS
Process finished with exit code 0
```

Şekil 1. Test-1 sonuçları

Test-1'in sonuçlarını değerlendirecek olursak okunacak olan veri sayısını 2 kat arttırdığımızda GORM'un verileri okuma süresinin de 2 kat arttığını görmekteyiz lakin ORCA için durum böyle değil veri sayısının artmış olması ORCA'nın performansını etkilemiyor çünkü ORCA bu verileri veritabanına girerken aynı zamanda kendi belleğine de almıştı ve kullanıcı tüm verinin okunmasını istediğinde çok hızlı bir şekilde kullanıcıya yanıt dönebilmiştir.

**Test 2:** Her iki kütüphane SQLite veritabanına sürekli kayıt girmiş ve gerçekleştirilen her bir işlem için bellekte tahsis edilen bayt miktarı (B/op), işlem başına benzersiz bellek tahsisi işlemi sayısı (allocs/op) ve ilgili işlemin gerçekleştirilmesi için geçen süre ölçülmüştür.

```
C:\Users\Mehmet Emin\Desktop\ORCA Testler>go test -v -bench=. -benchmem
goos: windows
goarch: amd64
BenchmarkOrcaAdd-4          20      121061985 ns/op          3788 B/op          109 allocs/op
BenchmarkGormAdd-4         10      108457450 ns/op          9450 B/op          198 allocs/op
PASS
ok      _/C_/Users/Mehmet_Emin/Desktop/ORCA_Testler  5.073s
```

Şekil 2. Test-2 sonuçları

Test-2'nin sonuçlarını değerlendirecek olursak her iki kütüphane neredeyse aynı sürede işlemleri gerçekleştirmiş ancak ORCA'nın işlem başına bellekte tahsis edilen bayt miktarında GORM'dan 2,5 kat daha verimli olduğu ve işlem başına benzersiz bellek tahsisi işlemi sayısında ise GORM'dan 2 kat daha verimli olduğu görülmüştür.

**Test 3:** Her iki kütüphane SQLite veritabanında bulunan eşit miktar da ki verinin tamamını sürekli biçimde okudu ve sonuçları getirdi.

```
C:\Users\Mehmet Emin\Desktop\ORCA Testler>go test -v -bench=. -benchmem
goos: windows
goarch: amd64
BenchmarkOrcaTuplesReadSustained-4 1000000 1993 ns/op 2032 B/op 7 allocs/op
BenchmarkGormTuplesReadSustained-4 500 4793335 ns/op 1087836 B/op 21666 allocs/op
PASS
ok      _/C_/Users/Mehmet_Emin/Desktop/ORCA_Testler  55.711s
```

Şekil 3. Test-3 sonuçları

Test-3'ün sonuçlarını değerlendirecek olursak ORCA sonuçları yaklaşık 2500 kat daha hızlı bir şekilde kullanıcıya ulaştırmıştır. ORCA'nın işlem başına bellekte tahsis edilen bayt miktarında 535 kat daha verimli ve işlem başına bellekte tahsis edilen benzersiz bellek tahsisi işlemi sayısında 3000 kat daha verimli olduğu görülmüştür. Bu testte ORCA'nın vaat ettiği veri okuma performansı ciddi bir biçimde görülmüştür. ORCA'nın burada bu denli hızlı olmasının sebebi kullanıcıya beklediği yanıtı kendi belleğini kullanarak vermesindedir.

**Test 4:** Bu testte ORCA'nın MongoDB kayıt ekleme performansı ölçülmüştür. Her kayıt bir transaction altında veritabanına yazılmıştır.

```
C:\Users\Mehmet Emin\Desktop\ORCA Testler>go test -v -bench=. -benchmem
goos: windows
goarch: amd64
BenchmarkOrcaAddMongoDB-4 10000 134752 ns/op 4417 B/op 77 allocs/op
PASS
ok      _/C_/Users/Mehmet_Emin/Desktop/ORCA_Testler  221.017s
```

Şekil 4. Test-4 sonuçları

Test-4'ün sonuçlarını değerlendirecek olursak işlem başına bellekte tahsis edilen bayt miktarı ve işlem başına bellekte tahsis edilen benzersiz bellek tahsisi işlemi sayısında tatmin edici sonuçlar alınmıştır.

## 4. Sonuç

Veritabanı sistemleri içerisinde önbellek kullanımının veritabanı üzerindeki işlem yükünü ve veritabanını barındıran sunucunun disk işlemlerinden kaynaklanan işlem yükünü azalttığı bilinmektedir [14]. ORCA önbellek kullanımını ORM içerisine alarak önbellek mekanizmasına sahip olmayan bir veritabanının, önbellek mekanizmasını kullanan veritabanı kadar verimli sonuçlar almasını sağlayabilir.

Önbellek mekanizmasının veritabanı içerisinde değil de veritabanını kullanacak istemciler tarafından gerçekleştirilmesi de uzak sunucuda barındırılan bir veritabanı için sunucunun iletişim yükünün de büyük ölçüde ortadan kalkmasını sağlar [15].

## Kaynakça

- [1]Y. Ueda and M. Ohara, “Performance competitiveness of a statically compiled language for server-side Web applications,” in *ISPASS 2017 - IEEE International Symposium on Performance Analysis of Systems and Software*, 2017, pp. 13–22.
- [2]“blueperf/acmeair-monolithic-java: This version of Acme air is redesigned removing hardcoded components to WXS and also optimized for Cloud Data Services.” [Online]. Available: <https://github.com/blueperf/acmeair-monolithic-java>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [3]“blueperf/acmeair-monolithic-nodejs: A Node.js implementation of the Acme Air Sample Application. With datastore support of MongoDB. With runtime support of Bluemix/CloudFoundry, Docker... With Micro-Services.” [Online]. Available: <https://github.com/blueperf/acmeair-monolithic-nodejs>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [4]“index | TIOBE - The Software Quality Company.” [Online]. Available: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [5]“jinzhu/gorm: The fantastic ORM library for Golang, aims to be developer friendly.” [Online]. Available: <https://github.com/jinzhu/gorm>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [6]“xorm/xorm: Simple and Powerful ORM for Go, support mysql,postgres,tidb,sqlite3,mssql,oracle - xorm - Gitea: Git with a cup of tea.” [Online]. Available: <https://gitea.com/xorm/xorm>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [7]“src-d/go-kallax: Kallax is a PostgreSQL typesafe ORM for the Go language.” [Online]. Available: <https://github.com/src-d/go-kallax>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [8]“ezbuy/redis-orm: write db yaml once, generate go orm code everywhere.” [Online]. Available: <https://github.com/ezbuy/redis-orm>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [9]“zebresel-com/mongodm: A golang object document mapper (ODM) for MongoDB.” [Online]. Available: <https://github.com/zebresel-com/mongodm>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [10]“MehmetEminKaymaz/Orca: Simple and Powerful ORM for Go Language.” [Online]. Available: <https://github.com/MehmetEminKaymaz/Orca>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [11]“go-pg/pg: Golang ORM with focus on PostgreSQL features and performance.” [Online]. Available: <https://github.com/go-pg/pg>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [12]“PolyglotPersistence.” [Online]. Available: <https://martinfowler.com/bliki/PolyglotPersistence.html>. [Accessed: 03-Feb-2020].
- [13]“list - The Go Programming Language.” [Online]. Available: <https://golang.org/pkg/container/list/>. [Accessed: 13-Feb-2020].
- [14]K. Elhardt and R. Bayer, “A Database Cache for High Performance and Fast Restart in Database Systems,” *ACM Trans. Database Syst.*, vol. 9, no. 4, pp. 503–525, Dec. 1984.
- [15]R. Jain, Y. B. Lin, S. Mohan, and C. Lo, “A Caching Strategy to Reduce Network Impacts of PCS,” *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 12, no. 8, pp. 1434–1444, 1994.



# Yapay Arı Koloni Algoritması ile Eğitilmiş Tekrarlayıcı Sinir Ağlarının Robot Navigasyonu İçin Kullanılması\*\*

Ebru Yönm<sup>1\*</sup>, Rüştü Akay<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3374-0593)

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3585-3332)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI:10.31590/ejosat.araconf41)

**ATIF/REFERENCE:** Yönm, E. & Akay, R. (2020). Yapay Arı Koloni Algoritması ile Eğitilmiş Tekrarlayıcı Sinir Ağlarının Robot Navigasyonu İçin Kullanılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 318-324.

## Öz

Örneklere bağlı olarak dinamik öğrenme yetenekleri sayesinde, doğrusal ve doğrusal olmayan ilişkileri çözümleyerek başarılı sonuçlar üreten yapay sinir ağları birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Yapay sinir ağlarında istenen düzeyde performansın sağlanması birçok parametreye bağlı olmakla birlikte, kullanılan ağ modeli ve bu ağın eğitiminde kullanılan algoritmalar üzerinde yapılan çalışmalar giderek artmaktadır. Bu çalışmada, arıların doğada yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen yapay arı koloni (Artificial Bee Colony, ABC) algoritması ile eğitilmiş tekrarlayıcı sinir ağlarının (Recurrent Neural Network, RNN) robot navigasyonunda kullanımına yönelik yeni bir tasarım önerilmiştir. Robotun kontrol stratejisi için üzerine yerleştirilen 24 adet ultrasonik sensörden elde edilen veriler kullanılmıştır. Literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırmak için ortalama karesel hatanın karekökü ve simetrik oransal ortalama mutlak hata ölçüm metrikleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, önerilen tasarım modelinin robotun hareket yönünün tayininde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermiştir. Özellikle çok sayıda sensör kullanıldığında önerilen modelin performansı diğer modellere nazaran çok daha iyi olmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** robot navigasyonu; tekrarlayıcı sinir ağları; yapay arı koloni; akıllı kontrol.

## Using Recurrent Neural Network Models Trained With Artificial Bee Colony Algorithm for Robot Navigation

### Abstract

Artificial neural networks, which produce successful results by establishing linear and nonlinear relations by their dynamic learning abilities, are used in a wide range of fields. Even if the desired performance of networks depends on too many parameters, the number of researches on networks models and learning algorithms are gradually increasing. In this paper a new recurrent neural network (RNN) trained with artificial bee colony (ABC) algorithm was proposed for robot navigation problem. The RNN network trained with sample dataset, obtained from 24 sensors, was used for control strategy in robot movements. Root mean square error (RMS) and symmetric mean absolute percentage error (SMAPE) evaluation metrics were used to compare the proposed method against state of the art algorithms. The results showed that, the performance of the proposed method in determination of robots motion is good and especially, when a large number of sensors used, the proposed model as better performance than the other models.

**Keywords:** navigation; recurrent neural network; artificial bee colony; intelligent control.

\*Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3374-0593, [yonemebru@gmail.com](mailto:yonemebru@gmail.com)

\*\*Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak robotların insanların günlük yaşamında kullanılmasına yönelik çalışmalar da giderek yaygınlaşmaktadır. Robotik uygulamalarda herhangi bir başlangıç noktasına konumlandırılmış bir robot verilen görevleri gerçekleştirmek için farklı hedeflere ulaşmak zorundadır. Bu ulaşma işleminin kabul edilebilir süre içerisinde ve doğru bir şekilde yapılması önemli bir araştırma konusu olmaya devam etmektedir. Özellikle engellerle ve hareketli nesnelere dolu hareket ortamlarında gerçek zamanlı olarak robotun kontrolü en önemli zorluklardandır [1], [2].

Uygulamalarda robotların hareket yönlerini belirlemek için kızılötesi, lazer, ultrasonik gibi sensörler veya kameralar kullanılmaktadır. Bu donanımlar yalnız başlarına kullanılabildiği gibi bir arada da kullanılabilmektedir. Bunların seçimi tamamen gereksinimlere, uygulamaya ve kullanıcıya bağlıdır. Bazı araştırmacılar robot navigasyonu ile ilgili detaylı araştırma makaleleri sunmuşlardır [3]-[5] Robot hareket yönlerini kontrol etmek için önerilen klasik modellere istatistiksel modellemeyi içeren [6] ve Monte-Carlo örneklemesine dayalı [7] çalışmalar örnek verilebilir. Bu uygulamalar gelecekteki olası çevre hakkında bilgi önceden bilinmediği için dinamik model oluşturmanın zorluğunu göstermektedir. Bunun yanında bu tür bir problem, gerçek zamanlı sensör okumalarının öğrenilmiş bir sistem vasıtası ile gelecekteki robot hareket yönünün belirlenmesinin temel amaç olduğu bir optimizasyon problemi olarak görülebilir. Bu yaklaşımdan da hareketle dinamik öğrenme yetenekleri sayesinde başarılı sonuçlar çıkarabilen yapay sinir ağları (Artificial Neural Network, ANN) bu tür uygulamalar için de doğru bir yöntem olabilmektedir. Günümüzde yapay zekânın gelişimine paralel olarak en hızlı ve güçlü bilgi işleme aracı olduğu bilinen insan beyninin matematiksel olarak modellenmesiyle ortaya çıkan ANN hayatımızın birçok alanında yerini almıştır. ANN modelleri biyolojik ağların karmaşıklığını tam olarak yansıtmasa da temel yapısından esinlenerek yüksek performans sağlayacak şekilde yoğun bağlantılar içeren basit hesaplama elemanlarından meydana gelmiştir. ANN modellerinden istenen düzeyde performansın sağlanması birçok parametreye bağlı olmakla birlikte ağırlık eğitiminde kullanılan algoritmalar üzerinde en çok çalışılan konulardandır. Gradyan düşüm, eşlenik gradyan düşüm, esnek geri yayılım, Quasi Newton ve Levenberg Marquart algoritmaları sıklıkla kullanılan klasik eğitim algoritmalarıdır. Bu klasik algoritmaların yanında bazı sezgisel yöntemler ağırlık performansını artırmak için kullanılabilmektedir. Dash ve arkadaşları sezgisel yöntemlerden yerçekimsel arama yöntemi (Gravitational Search, GS) algoritması ile eğittikleri yapay sinir ağını ve GS ile parçacık sürü optimizasyonu (Particle Swarm Optimization, PSO) algoritmasını içeren GSPSO hibrid algoritması ile eğittikleri tek gizli katmanlı ileri beslemeli sinir ağını (Feed Forward Neural Network, FFNN) robotların hareket yönlerini belirlemede kullanmışlardır [8], [9].

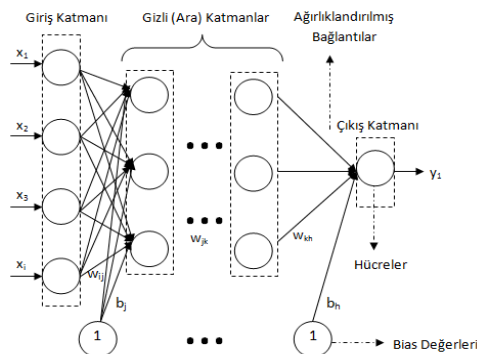
Bu algoritmalarından farklı olarak sezgisel yöntemlerden biri olan yapay arı koloni algoritmasının (Artificial Bee Colony, ABC) birçok mühendislik probleminin çözümünde kullanılmasının yanında [10] ANN eğitiminde de oldukça başarılı sonuçlar verdiği bilinmektedir [11], [12]. 2005 yılında Karaboğa tarafından önerilen bu algoritma arıların doğada yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiştir [13]. Tekrarlayıcı ya da yinelemeli ağ yapıları (Recurrent Neural Network, RNN) olarak adlandırılan ve geri besleme bağlantıları içeren ağların özellikle anlık alınan veri setleri üzerinde diğer ağ modellerine nazaran daha başarılı olduğu söylenebilir [14], [15], [16]. Bu çalışmada literatürdeki çalışmalardan farklı olarak robot hareket kontrolünde ABC algoritması ile eğitilmiş RNN ağ modelinin kullanılması önerilmiştir. Önerilen modelden elde edilen sonuçlar literatürdeki farklı çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Bu amaçlar doğrultusunda ANN, RNN ve ABC algoritması sırası ile Bölüm-2 ve Bölüm-3'de verilmiştir. Önerilen modelin göstermiş olduğu performans sonuçları Bölüm-4'de verilmiştir. Bölüm-5'de edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Yapay Sinir Ağları

Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinin birbirine bağlanmasıyla oluşan yapılardır. Bu ağlar giriş katmanı, ara katmanlar ve çıkış katmanı olarak üç ana katmanda incelenmektedir. Bir ANN'nin temel yapısı ve bulundurduğu birimler Şekil 1'de görülmektedir.



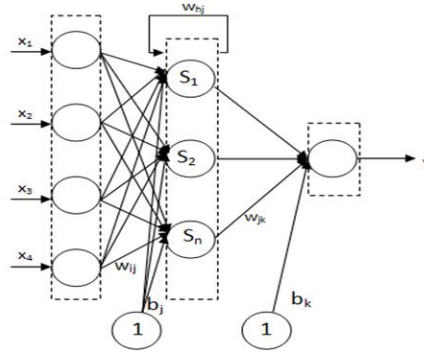
Şekil 1. Yapay Sinir Ağı



*Giriş Katmanı*, ANN'ye dış dünyadan girdilerin geldiği katmandır. Bu katmanda giriş sayısı kadar hücre bulunmaktadır ve genellikle girdiler herhangi bir işleme uğramadan diğer katmanlara iletilmektedir. *Gizli(Ara) Katman*, giriş katmanından çıkan bilgilerin geldiği katmandır. Ara katman sayısı ağdan ağa değişebilir. Bazı yapay sinir ağlarında ara katman bulunmadığı gibi bazı yapay sinir ağlarında ise çok sayıda ara katman bulunabilir. Ara katmanlardaki nöron sayıları giriş ve çıkış sayısından bağımsızdır. Birden fazla ara katman olan ağlarda ara katmanların kendi aralarındaki hücre sayıları da farklı olabilir. Ara katmanların ve bu katmanlardaki nöronların sayısının artması hesaplama karmaşıklığını ve süresini arttırmasına rağmen yapay sinir ağının daha karmaşık problemlerin çözümünde de kullanılabilmesini sağlar. Bu katman sayısının belirlenmesinde bazı varsayımlar olmakla birlikte henüz kesin bir bilgi bulunmamaktadır. Problemin amacına ve uygulama alanına göre en uygun katman ve nöron sayısı seçimi deneme yoluyla belirlenmektedir. *Çıkış Katmanı*, ara katmanlardan gelen bilgileri işleyerek ağın çıktılarını üreten katmandır. Bu katmanda üretilen çıktılar dış dünyaya gönderilir.

Bir ANN tasarımında öncelikle ağ mimarisinin seçilmesi, katman sayısı ve nöron sayısı gibi yapısal özelliklerinin belirlenmesi gerekir; sonraki aşamalarda ise işlemci elemanların kullandığı fonksiyonların belirlenmesi; öğrenme algoritması ve gerekli parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir.

## 2.2. Tekrarlayıcı Sinir Ağları



Şekil 2. Tekrarlayıcı Ağ Yapısı

Şekil 2'de gösterilen yapıda (t-1) anındaki çıkış katmana giriş olarak verilerek t anındaki çıkışı doğrudan etkiler. Yani her düğüm için o andaki (t) ve yakın geçmişteki olarak adlandırabileceğimiz (t-1) olarak iki giriş mevcuttur. Şekil 2'de görülen yapı için çıktı Denklem (1)'de, gizli katman çıktısı Denklem (2)'de, çıktı katmanını net girdisi Denklem (3)'de ve ağın net çıktısı Denklem (4)'te verilmiştir.

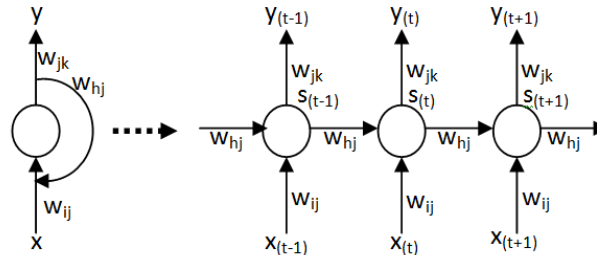
$$s_j = \sum_{i=1}^{N_i} (w_{ij}x_i + b_j) + \sum_{h=1}^{N_h} (w_{hj}h_j^{-1}) \quad (1)$$

$$h_j = f(s_j) \quad (2)$$

$$s_k = \sum_{j=1}^{N_h} (w_{jk}h_j + b_k) \quad (3)$$

$$y_k = f(s_k) \quad (4)$$

Şekil 3'de RNN ağının geri besleme bağlantıları açılarak ileri beslemeli sinir ağına dönüştürülmüş şekli görülmektedir.



Şekil 3. RNN Ağ Yapısının Açık Şekli

### 2.3. Yapay Arı Koloni Algoritması

Arıların akıllı yiyecek arama davranışı modelinden esinlenerek Karaboğa tarafından önerilen yapay arı kolonisi algoritması optimizasyon problemlerinde kullanılmaktadır [13]. Algoritmanın temel adımları Şekil 4’de verilmiştir.

1: Başlangıç popülasyonunun oluşturulması
2: Uygunluk değerlerinin hesaplanması
3: Repeat
4: İşçi arı safhası
5: Gözcü arı safhası
6: Kâşif arı safhası
7: Seçme ve güncelleme
8: Until

Şekil 4. ABC algoritmasının temel adımları

#### 2.3.1. İşçi Arı Safhası

İşçi arı aşaması, çözümlerin daha iyi arama alanı vaat eden bölgelere doğru hareket etmesini sağlar. Bu aşamada her bir çözüm vektörünün komşulukları Denklem (5) ile tanımlanan yeni çözüm üretme mekanizması kullanılarak aranır.

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (5)$$

Burada  $v_{ij}$  yeni aday çözüm vektörü,  $\varphi$ , [-1,1] aralığında üretilen rastgele bir değer,  $k$  rastgele seçilmiş komşu bir çözüm vektörüdür. Üretilen aday çözüm sonrası açgözlü seçim metodu kullanılarak, yeni çözüm ve mevcut çözüm karşılaştırılır. Yeni çözüm daha iyi ise mevcut çözümün yerini alır.

#### 2.3.2. Gözcü Arı Safhası

Gözcü arı aşamasında da yeni çözüm üretmek için Denklem (1) kullanılır. İyileştirilme yapılacak çözümün belirlenmesinde iyi çözümlerin seçilme şansının daha fazla olduğu olasılıksal seçim metodu kullanılır. Böylelikle iyi bireylerin seçilme şansı artarak onların etrafında daha fazla yerel arama yapılabilmektedir. Temel ABC algoritmasında olasılık seçimi için Denklem (6) ile Hesaplanan olasılık değerleri kullanılır.

$$p_i = \frac{uygunluk_i}{\sum_{n=1}^{SN} uygunluk_n} \quad (6)$$

#### 2.3.3. Kaşif Arı Safhası

Doğada çalışma süreçleri nedeni ile işçi arılar ve gözcü arılar bazı gıda kaynaklarını tüketebilmektedir. Bu ABC algoritması açısından bir çözümün komşuluklarının yeterince aranması ve çözümün artık geliştirilemiyor olması anlamına gelir. Bu nedenle bu çözümün iyileştirilmeye çalışılmasına artık gerek yoktur, onun yerine rastgele başka bir çözüm üretilebilir. Kaynağı yeterince aranıp aranmadığı *limit* adı verilen algoritmaya özel bir kontrol parametresi ile belirlenir.  $x_i$  konumundaki çözüm vektörü *limit* parametresi sayısınca gelişmemiş ise  $x_i$  çözüm vektörü terk edilir ve o kaynağın arısı kaşif arı haline gelerek rastgele araştırma yapar.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Gerçekleştirilen model Matlab 2016 programlama dilinde kodlanmış, 3 GB RAM’e sahip, INTEL Core i3 işlemcili bilgisayarda Windows 7 işletim sistemi üzerinde sonuçlar alınmıştır. Kullanılan veri setinde robotun bir odada ilerlemesi için üzerine yerleştirilen 24 adet ultrasoniksensörden yararlanılmaktadır. Birinci senaryoda (PR1) önüne ve arkasına yerleştirilmiş iki adet, ikinci senaryoda (PR2) 90° açılarla yerleştirilmiş önünde, arkasında, sağında ve solunda olan dört adet ve üçüncü senaryoda (PR3) 15° lıkaçılarla yerleştirilmiş olan 24 adet ultrasoniksensörün tamamı kullanılmıştır. Ağın çıktısı ise düz ilerle, keskin sağa dön, hafif sağa dön ve hafif sola dön şeklinde dört farklı yönlendirme komutundan oluşan tek bir çıktıdır. Robot üzerine yerleştirilen sensörlerin şematik gösterimi Şekil 5’de, genel veri kümesindeki sınıf dağılımının özeti Tablo 1’de verilmiştir [6].



Şekil 5. İki, Dört Ve Yirmi dört Sensörlü Robotun Şematik Gösterimi

Tablo 1. Veri Setindeki Sınıf Dağılımı

Yön	Örnek Sayısı	Oran %
Düz İlerle	2205	% 40.41
Keskin Sağa Dönüş	2097	% 38.43
Hafif Sağa Dönüş	826	% 15.14
Hafif Sola Dönüş	328	% 6.01

Her veri setinde toplam 5456 sensör örneğinin %70'i eğitim ve %30'u test için kullanılmıştır. Veriler kullanılmadan önce aşağıda verilen Denklem (7) ile normalize edilmiştir. Burada  $y_i$ ,  $i$ . veri elemanının normalleştirilmiş değeridir. ABC algoritması için gerekli parametrelerden iterasyon sayısı 1000 ve limit değeri 100 alınırken popülasyon büyüklüğü performans değerleri 20, 30 ve 50 değerleri için ayrı ayrı alınmıştır. Eğitilen RNN ağında giriş sayıları her bir senaryodaki sensör sayısı kadar alınırken, tek bir gizli katman kullanılmıştır. Gizli katmandaki nöron sayıları, giriş sayılarına eşit, iki ve üç katı kadar alınarak ayrı ayrı incelenmiştir. Sonuçların güvenilirliği açısından her bir senaryo 30'ar kez çözülmüş ve sonuç tablolarında bu çözümlerden elde edilen en küçük, ortalama, en büyük ve standart sapma istatistik değerleri verilmiştir.

$$y_i = \frac{x_i - \min(x)}{\max(x) - \min(x)} \quad (7)$$

Önerilen modelin değerlendirilmesi amacıyla performans metriklerinden, mutlak hata fonksiyonlarından ortalama karesel hatanın karekökü olarak ifade edilen RMS (Root Mean Square) ve çok büyük ya da çok küçük hata değerlerine daha duyarlı simetrik hata fonksiyonlarından SMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) kullanılmıştır. RMS ve SMAPE hata fonksiyonlarının formülleri sırası ile Denklem (8) ve (9)'da verilmiştir.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i^2)} \quad (8)$$

$$SMAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 200 \cdot |s_i| \quad (9)$$

ABC algoritması ile eğitilen RNN ağ modelinin performans metrikleri eğitim verileri için Tablo 2'de, test verileri için Tablo 3'de ayrı ayrı verilmiştir.

Tablo 2. RNN Ağının Eğitim Performans Metrikleri

		PR1	PR2	PR3
RMS	Min	0,218	0,207	0,205
	Ort.	0,226	0,213	0,211
	Max	0,231	0,217	0,217
	Std.	0,003	0,003	0,003
SMAPE	Min	4.63.10 <sup>-5</sup>	4.55.10 <sup>-5</sup>	5.47.10 <sup>-5</sup>
	Ort.	4.81.10 <sup>-5</sup>	4.98.10 <sup>-5</sup>	6.02.10 <sup>-5</sup>
	Max	4.99.10 <sup>-5</sup>	5.35.10 <sup>-5</sup>	6.41.10 <sup>-5</sup>
	Std.	9.53.10 <sup>-7</sup>	1.45.10 <sup>-6</sup>	2.49.10 <sup>-6</sup>

Tablo 3. RNN Ağının Test Performans Metrikleri

		PR1	PR2	PR3
RMS	Min	0,224	0,201	0,208
	Ort.	0,235	0,217	0,221
	Max	0,273	0,233	0,234
	Std.	0,011	0,006	0,007
SMAPE	Min	1.11.10-4	1.09.10-4	1.29.10-4
	Ort.	1.17.10-4	1.22.10-4	1.39.10-4
	Max	1.22.10-4	1.34.10-4	1.58.10-4
	Std.	2.59.10-6	5.69.10-6	2.49.10-6

Tablo 2 ve Tablo 3'deki RMS ve SMAPE hata fonksiyon değerleri incelendiğinde önerilen modelin kabul edilebilir oranda başarı sağladığı gözlemlenmiştir. Elde edilen sonuçları literatürdeki farklı çalışmalarla karşılaştırmak amacıyla aynı veri setini kullanan Dash ve arkadaşlarının GS-FFNN ve GSPSO-ANN modelleri ile yaptıkları çalışmalar kullanılmıştır. Tablo 4'de PR1, PR2 ve PR3 olmak üzere üç farklı senaryo için kıyaslanan çalışmalar ve önerilen RNN-ABC yapısına ait başarı yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 4. Aynı Veri Kümesi için Farklı Metotların Başarı Yüzdelerinin Karşılaştırılması

Yöntem	Pop.	PR1	PR2	PR3
RNN-ABC	20	77.228	76.277	75.521
RNN-ABC	30	76.847	73.854	<b>80.268</b>
RNN-ABC	50	69.701	<b>76.847</b>	79.352
GS-FFNN [8]	20	86.382	70.088	69.721
GS-FFNN [8]	30	85.686	67.705	69.721
GSPSO-ANN [9]	30	79.670	73.663	71.886
GSPSO-ANN [9]	50	79.341	73.150	73.992
GD-ANN [17]	-	<b>89.560</b>	71.590	46.500

Tablo 4 incelendiğinde 2 girişli olan PR1 için ağırlık giriş nöron sayısı azalmakta ve matematiksel işlem yükü azaldığı için GD algoritması daha başarılı sonuçlar üretebilmektedir; ancak iki sensörden alınan verileri gerçek ortamda tüm engellerden kaçmak çok olası görülmemektedir. Giriş sayısı arttıkça ağırlık karmaşıklığı artmakta ve bu noktada önerilen yöntem daha iyi sonuçlar üretmektedir. 4 sensörlü PR2 için en başarılı performans popülasyon büyüklüğü 50 olan RNN-ABC algoritmasından alınırken, PR3 için en başarılı sonuç popülasyon büyüklüğü 30 olan ABC algoritmasından alınmıştır.

Ayrıca genel olarak kullanılan sensör sayısı ile başarı oranının doğru orantılı olduğu, daha fazla sensör kullanılan senaryolarda başarı oranının daha yüksek olduğu söylenebilir.

## 4. Sonuç

Çalışmada yapay sinir ağ modellerinden biri olan tekrarlayıcı sinir ağlarının eğitiminde, arıların doğada yiyecek arama davranışlarından esinlenilerek geliştirilen yapay arı koloni algoritmasının kullanılması önerilmiştir. Önerilen model ile robotun hareket kontrol stratejisi belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirildiğinde gerçekleştirilen tasarım modelinin robotun hareket yönünün tayininde başarılı olduğu görülmüştür. Çalışmanın farklı yapay sinir ağ modelleriyle genişletilmesi, ABC algoritmasının yakınsama hızını arttırmak için farklı hibrid optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi, hazır veri setleri yerine hazırlanacak olan donanımsal yapılardan elde edilecek kendi verilerimizin kullanılması ve aynı anda çok sayıda robotun hareket stratejisinin belirlenerek yönlendirilmesi gelecekte yapılacak çalışmalar olarak planlanmaktadır.

## Teşekkür

Bu çalışmayı FYL-2017-7662 proje kodu ile destekleyen, Erciyes Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

## **Kaynakça**

- [1] Kruse, T., Pandey, A.K., Alami, R.ve Kirsch, A. (2013). Human-aware robot navigation: A survey, *Robotics and Autonomous Systems* 61(12), 1726–1743.
- [2] Katsev, M., Yershova, A., Tovar, B., Ghrist, R. Ve La Valle, S.M. (2011). Mapping and pursuit-evasion strategies for a simple wall-following robot, *IEEE Transactions on Robotics* 27(1), 113–128.
- [3] Hoy, M., Matveev, A.S. ve Savkin, A.V. (2015). Algorithms for collision free navigation of mobile robots in complex cluttered environments: a survey. *Robotica*, 33(3), 463-497.
- [4] Yang L, Qi J, Song D, Xiao J, Han J ve Xia Y. (2016). Survey of robot 3D path planning algorithms. *Journal of Control Science and Engineering*, 5,76-82.
- [5] Patle, B.K., Ganesh B.L., A. Pandey, D.R.K. Parhi, A., Jagadeesh. (2019). A review: On path planning strategies for navigation of mobile robot. *Defence Technology*, InPress.
- [6] Trautman, P, Ma, J., Murray, R.M.ve Krause, A. (2015). Robot navigation in dense human crowds: Statistical models and experimental studies of human–robot cooperation, *The International Journal of Robotics Research* 34(3), 335–356.
- [7] Li, T., Sun, Z., Xu Y. Ve Zhang, B. (2015). Robot navigation based on visual feature perception and Monte Carlo sampling, in: *Control and Decision Conference (CCDC)*, 27th Chinese, IEEE, 3237–3242.
- [8] Dash, T., Nayak, T. ve Swain, R.R. (2015). Controlling Wall Following Robot Navigation Based on Gravitational Search and Feed Forward Neural Network, *Proceedings of the 2nd International Conference on Perception and Machine Intelligence*, 196-200.
- [9] Dash, T., Swain, R.R. ve Nayak, T. (2017). Automaticnavigation of wall-following mobile robot using a hybrid metaheuristic assisted neural network, *Data Science*, 1-17.
- [10] Karaboğa D. ve Akay, B. (2009). A comparative study of Artificial Bee Colony algorithm, *Applied Mathematics and Computation*, 214(1), 108-132.
- [11] Karaboğa, D. ve Akay, B. (2007). Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm on Training Artificial Neural Networks. Eskişehir, *IEEE 15th Signal Processing and Communications Applications*.
- [12] Karaboğa D., Akay B. ve Öztürk C. (2008). Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for training feed-forward neural networks, *4th International Conference on Modeling Decisions for Artificial Intelligence*, Kitakyushu, Japonya, (4617), 318-321.
- [13] Karaboga, D. (2005). An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, Technical Report. Erciyes University. Kayseri.
- [14] Catalbas, B. (2015). Recurrent Neural Network Learning With An Application To The Control Of Legged, Bilkent University.
- [15] Shimodaira, H. (2002). Time-Series Prediction. Cornelius T. Leondes. *Expert Systems The Technology of Knowledge Management and Decision Making for the 21st Century*, Academic Press, 4, 1295-1311.
- [16] Zhang, Y. et al. (2017). A recurrent neural network approach for visual servoing of manipulators. Macau, China, *IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA)*, 614-619.
- [17] Dash, T., Ranjan, S. ve Mishra, G. (2014). Neural network approach to control Wall following robot navigation, In *Advanced Communication Control and Computing Technologies (ICACCCT)*, International Conference, India, 1072-1076





# IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Standardının Yazılım Tanımlı Ağ Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi\*

Mustafa Burak Şenyiğit<sup>1</sup>, Deniz Turgay Altılar<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ASELSAN A.Ş., Bilgi Yönetim Direktörlüğü, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilgisayar ve Bilişim Fakültesi, İstanbul, Türkiye

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf42)

**ATIF/REFERENCE:** Şenyiğit, M. B. & Altılar, D. T. (2020). IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Standardının Yazılım Tanımlı Ağ Yaklaşımıyla Değerlendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 325-331.

## Öz

Endüstriyel otomasyon sistemleri, havacılık, ulaşım, sağlık ve askeri alanda kullanılan zaman kritik sistemler sıfır paket kaybı, sınırlı gecikme ve gecikmede sapma gibi gerçek zaman gereksinimlerine sahiptir. Zaman içinde bu tarz sistemlere özgü yüksek maliyetli donanımlar üzerinde koşan protokoller geliştirilmiştir. Malzeme teknolojisindeki ilerlemeler ile birlikte Ethernet ucuz donanımlar üzerinde çalışan ve her yerde bulunabilen bir hale geldi fakat gerçek zamanlı haberleşme gereksinimlerini karşılayabilecek mekanizmalara sahip değildi. IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN), birkaç protokolden oluşan Ethernet bazlı gerçek zamanlı haberleşme sağlayan bir standarttır. Yazılım tanımlı ağlar (YTA) ise yönetilebilirlik, dinamizm ve maliyet açısından etkinlik sağlayan yeni bir mimaridir. Bu bildiriye, TSN standardının yönlendirme mekanizmasına katkı sağlanmış ve TSN protokolleri YTA yaklaşımıyla gerçekleştirilip sonuçları incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yazılım Tanımlı Ağlar, Zaman Duyarlı Ağlar, Gerçek Zamanlı Haberleşme Sistemleri, Deterministik Ağlar.

## Evaluating Software-Defined Networking Approach Over IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking Standard

### Abstract

Time-critical systems like the ones used in industrial automation systems, aviation, transportation, in-vehicle, healthcare and military systems demand zero packet loss and real-time guarantees such as bounded latency and jitter from the underlying communication network. For those systems, different communication protocols have been enhanced and evolved. However, each protocol requires specific hardware ending up with increasing costs. Ethernet is cheap and ubiquitous, but it was designed to provide best effort communication and lacks mechanisms to meet real-time constraints. IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) is a set of protocols providing real-time Ethernet-based communication. Software-Defined Networking (SDN) is an emerging architecture which provides manageability, dynamism and cost-effectiveness. This paper makes contribution to forwarding mechanism of TSN and shows the results of applying TSN with SDN approach.

**Keywords:** Software-Defined Networking, Time-Sensitive Networks, Real-Time Communication Systems, Deterministic Networks.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Zaman kritik sistemler, dağıtık sensör ve aktuatorleri kontrol ettikleri için, sınırlı gecikme ve seğirme, sıfır paket kaybı, yüksek güvenilirlik gibi katı gerçek zaman gereksinimlerine sahiptir. Ağ üzerindeki düğümler, veri ve komut iletimi için ağ altyapısına güvendiklerinden, tahmin edilemeyen gecikme veya zaman seğirmesi sistem performansını ciddi şekilde indirger. Zamanlamaya ek olarak, güvenlik, güvenilirlik ve hata toleransı, kritik paketlerin iletimi için önemli kısıtlamalardır. Bu tarz sistemlerin gereksinimlerini karşılayabilmek için deterministtik bir ağ iskeletinin uygulanması gerekir. Materyal teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, Ethernet ucuz ve yüksek performans veren bir ürün haline gelmesine rağmen gerçek zaman gereksinimlerini karşılayabilecek mekanizmalara sahip değildir. Genel eğilim, zaman duyarlı algoritmaları uygulayarak Ethernet ile gerçek zamanlı haberleşme sağlamaktır. Buna ek olarak, gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan uygulamaların aynı ağ altyapısı üzerinde çalışması sağlanmalıdır.

IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) çalışma grubu, ağ katmanında, zamanda senkronize edilmiş Ethernet bazlı düşük gecikmeli haberleşme sağlamaya odaklanmış bir organizasyondur (Time-Sensitive Networking Task Group, t.y.). Grubun öncelikli hedefi deterministtik olmayan gecikmeleri yok edip paket kaybını önleyerek zaman duyarlı sistemlere deterministtik bir davranış kazandırmaktır. Bunu gerçekleştirmek için, IEEE 802.1 TSN zamanda senkronizasyon sağlayan protokolleri kullanarak zaman tetiklemeli haberleşme ile paketlerin iletimini planlama, kuyruk yönetimi, bağlantı veya cihaz arızalarına karşı paket replikasyonu, yönlendirme yol rezervasyonu gibi komplike metotlar önermiştir (Bello ve Steiner, 2019).

Bu metotları uygulamak için global ağ topoloji bilgisi ve ağ trafik karakteristiği gibi bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu bilgiler sağlandığında, ağ üzerinde konuşan iki uç düğüm kuyruklarında uygun paket iletim planı, deterministtik ağ iletim yollarının hesaplanması, paket replikasyonu gibi işlemler gerçekleştirilebilir. Bu algoritmaları gerçekleştirmek, kuyruklarda oluşacak gecikme problemini çözeceği gibi veri hacmini de yükseltecektir. Bunlara ek olarak, iki uç düğümün tasarlanan algoritmaya uyup uymadığından emin olunmalıdır. Bunun için bir izlem mekanizmasının gerçekleştirilmesi gerekir.

Yazılım tanımlı ağlar (YTA), ağ kontrolünü ve yönlendirme mekanizmasını veri düzlemi ve kontrol düzlemi adı verilen iki mantıksal düzleme ayıran bir ağ mimarisidir. Kontrol düzlemi, yazılım ile yönlendirme fonksiyonunu programlanabilir hale getirir. Bu metot, ağa birçok fonksiyonun modüler olarak eklenmesine olanak sağlar. YTA kontrolcileri, YTA uyumlu anahtarlarla OpenFlow protokolünü kullanarak global ve güncel ağ durum bilgisini almak ve veri düzlemini yönetmek için haberleşir. Bu sayede, yazılım tanımlı ağlar dinamik ve yeniden konfigüre edilebilen bir ağ ve optimal kaynak yönetimi sağlar. Yazılım tanımlı ağların bu özelliklerinden faydalanmak, zaman kritik sistemlerin ihtiyaçlarını karşılamaya yardımcı olabilir.

TSN standardı, gerçek zamanlı paketlerin iletimi için Kısıtlı En Kısa Yol yönlendirme algoritmasını kullanır. Bu algoritma gerçek zaman gereksinimlerini karşılayan en kısa yol üzerinden yönlendirme yapılmasını sağlar (Ojewale ve Yomsi, 2020). Bu bildiriye, yazılım tanımlı ağlar topoloji keşfi/yeniden keşfi, bağlantı maliyeti hesaplaması, yönlendirme yolunun rezervasyonu, paket replikasyonu gibi bazı TSN mekanizmalarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Buna ek olarak, TSN' e ait yönlendirme mekanizması, yazılım tanımlı ağlar çerçevesinde Dijkstra En Kısa Yol Önceliği algoritması kullanılarak iyileştirilmiş ve daha dinamik bir yol hesaplaması araştırılmıştır.

Bu bildirinin devamı şu şekilde şekillendirilmiştir. İkinci bölümde, yazılım tanımlı ağ temelli gerçek zaman ağ çözümleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde geliştirdiğimiz model tanıtılıp dördüncü bölümde elde edilen sonuçlar ile devam edilmiştir. Beşinci bölümde ise bildiri sonuçlandırılmıştır.

## 2. İlgili Çalışmalar

Gerçek zamanlı ağlar için optimal parametreleri seçmek, trafik tipi, linkteki gecikme ve ağ topolojisi gibi güncel ve global ağ bilgisine bağımlı bir işlemdir. Eğer bu ağ bilgileri sürekli değişkenlik gösteriyorsa, statik ve manüel konfigürasyon metotları en iyi sonucu vermeyecektir. Bu yüzden dinamik ve merkezi konfigürasyon yöntemleri daha iyi bir ağ optimizasyonu için elzemdir. Diğer yandan, gerçek zamanlı sistemler için geliştirilmiş farklı protokoller, protokole özgü donanımlara ihtiyaç duyar ve maliyet artar. Ek olarak, farklı gerçek zamanlı ağ protokolleri bir arada çalışamayabilir. Yazılım tanımlı ağ yaklaşımı bu sorunu çözebilir. Gerçek zamanlı sistemler için geliştirilmiş özel protokollerle kıyaslandığında, ticari kullanıma hazır anahtarlarla yakın performanslar elde edilebilir. Hata toleransı ve determinizm sağlarken maliyetleri düşürür ve daha dinamik bir ağ yapılandırması sunar. Bu sebeplerden dolayı yazılım tanımlı ağ temelli gerçek zamanlı haberleşme çözümleri hem endüstri hem de akademi için sıcak bir araştırma maddesidir.

Heise ve ark. (2015), OpenFlow protokolünü aviyonik ortamda kullanarak performans ve konfigürasyon yönünden değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada OpenFlow' da yer alan "meter" komutu kullanılarak nasıl deterministtik bir davranış elde edilebileceği değerlendirilmiştir. Aviyonik ağ cihazları özel gereksinimlerinden dolayı pahalı oldukları için ticari kullanıma hazır anahtarları aynı performansı verecek şekilde yapılandırarak bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Bu modelde Aviyonik Tam Dupleks Anahtarlı Ethernet protokolünde yer alan sanal link kavramı yazılım tanımlı ağ yaklaşımında eşlenmiştir.

Cevher ve ark. (2018), entegre modüler aviyonik (EMA) alt sistemleri için yüksek güvenilirlikle haberleşme sağlayan bir metot önermişlerdir. EMA platformları modüler mimari, deterministtik yerel ağ haberleşmesi, veri iletiminde katı zamanlama kısıtlamaları ve yüksek güvenilirlik gibi özelliklerle karakterize edilir. Deterministtik Ağ (Deterministic Networking, t.y.), bu özelliklerin sağlanması için danışılan anahtar teknolojilerden biridir. DetNet, EMA alt sistemleri arasında ağ arızası halinde deterministtik haberleşmeyi sürdürmek için yeniden yapılandırma kabiliyetine sahiptir. Bu güvenilirlik, iki uç nokta arasında, paketlerin ayrık iki

farklı yoldan kopyalanarak iletilmesiyle sağlanır. Yazılım tanımlı ağlar bu determinizmi yeniden yapılandırma ve yerleşik trafik politika mekanizmalarıyla sağlayabilir. Yazılım tanımlı ağ ve DetNet teknolojilerini kombine etmek yedeklilik sağlanmasına yardımcı olur.

Kumar ve ark. (2017), gerçek zaman gereksinimlerini karşılayabilmek için yazılım tanımlı ağların topolojiyi en tepeden görme imkânı ve merkezi yönetilebilir özelliklerini kullanmayı önermişlerdir. YTA mimarisi gecikmelerden haberdar bir mimari olmadığı için gerçek zamanlı haberleşmede uygulanabilecek bir yol aramışlardır. Ticari kullanıma hazır anahtarlar ve YTA yaklaşımını kullanarak gerçek zamanlı iletilmesi gereken paketleri anahtarlardaki önceliği yüksek kuyruklara göndererek, diğer paketlerden izole etmeyi ve uçtan uca gecikmede daha iyi performans sağlamayı hedeflemişlerdir.

### 3. Materyal ve Metot

#### 3.1. Motivasyon

YTA temelli çözümler ile TSN arasındaki ilişki IEEE ve IETF gibi deterministik ağlar için otomatik ve esnek bir yapılandırma iskeleti sunmaya çalışan organizasyonlar tarafından da desteklenmektedir. TSN' deki merkezi yapılandırma yaklaşımı, trafik planlama, kısıtlama temelli yönlendirme ve yedekli yollardan paket gönderimi gibi özellikleriyle de bağıntılıdır. IETF DetNet ise Katman-2 ve Katman-3' te deterministik veri yollarından paket gönderimini garantiye almak için merkezi ağ kontrolünü önerir. Tüm argümanlar bir araya getirildiğinde, bu çalışmada merkezi yapılandırma modelini seçmek daha uygundur.

TSN ağlarına eklenecek her yeni mekanizmanın getirdiği ek parametrelerden doğan yapılandırma karmaşıklığı, TSN ağları için araştırılması gereken bir konudur. Ayrıca, parametreler için uygun değerleri seçmek trafik modeli, link gecikmesi ve ağ topolojisi gibi güncel ağ durum bilgilerine bağlıdır. Ağdaki bu bilgiler sık aralıklarla değişiyorsa, statik ve manüel yapılandırma metotları yetersiz kalacaktır. Bu yüzden YTA gibi dinamik ve merkezi bir yapılandırma modeli seçilmesi gerekir. YTA aynı zamanda ağ izlem ve link gecikme hesapları yapmaya da yardımcı olur. Yapılandırma dışında bir değer gördüğü durumda, ölçülen metriklere göre yeniden yapılandırma yoluna gidebilir.

#### 3.2. Uygulama

OpenFlow, kontrolcü ve yönlendirme cihazları arasında bağlantı sağlayan bir haberleşme protokolüdür. Yazılım tanımlı ağlarda defacto standart olarak kabul görür. OpenFlow protokolünde paket yönlendirme için reaktif akış örnekleme ve proaktif akış örnekleme adında iki farklı yaklaşım vardır. İlk yaklaşımda bir anahtara yeni bir paket geldiğinde anahtarın akış tablosu gözden geçirilir. Eğer bu tabloda bir eşleşme görülmezse, anahtarda OpenFlow protokolüne ait "packet-in" paketi oluşturulup kontrolcüye gönderilir ve kontrolcü bu paketin düşürülmesine, gönderilmesine, gönderilecekse hangi porttan gönderilmesine karar verir. Reaktif modda kontrolcüye danışılır ve belirlenen ağ politikasına göre akış tablolarında kurallar oluşturulur. Diğer yandan, proaktif yaklaşımda gelen paketlere reaksiyon göstermez. Kontrolcü, paket gelmeden önce anahtarın akış tablolarına girdileri kaydeder. Anahtar gelen paketi bu tablodaki eşleşmeye göre iletir ya da düşürür.

Bu çalışmada, reaktif yaklaşım uygulanmıştır. Kontrolcü ağ topolojisini otomatik olarak keşfeder ve düğümler arasındaki ara yüzleri oluşturduğu bir listede tutar. Her ne zaman bir makine ya da anahtarın bağlantısı koparsa, kontrolcü topolojiyi yeniden keşfeder ve YTA yaklaşımından beklenildiği gibi güncel ve dinamik bir yapı sunar. Topoloji keşfine ek olarak, düğümler arasında link gecikmeleri de hesaplanır.

Bu araştırmada, benzetim ortamı olarak Mininet (Mininet, t.y.) kullanılmıştır. Mininet, basit bir makine üzerinde gerçekçi sanal ağlar oluşturup, bu ağları özelleştirip uygulamaya yardımcı olur. Bu özelliğiyle geliştirme, öğretim ve araştırma için kullanışlıdır. OpenFlow standardını destekleyen farklı tipte kontrolcü platformları mevcuttur. Bunlar Java, Python, C++ gibi farklı programlama dillerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada kontrolcü olarak, Mininet sanal makinesiyle birlikte gelen Python tabanlı POX (POX Wiki, t.y.) kontrolcüsü seçilmiştir.

Önerdiğimiz modelde, kontrolcü beş farklı işleyiciden oluşur: ConnectionUp, ConnectionDown, LinkEvent, HostEvent ve PacketIn. Bu işleyiciler, kontrolcüde tanımlanmış Python sözlüklerini, listelerini ve ağ durum bilgisini taşıyan diğer değişkenlerin güncellenmesini sağlar. LinkEvent ve HostEvent işleyicileri "openflow.discovery" ve "pox.host\_tracker" modüllerine bağımlıdır. Bu modüller, POX kontrolcüsüyle beraber gelen yerleşik modüllerdir. Bu yüzden Python' da kontrolcü nesnesi oluşturulmadan önce bu modüllerin başlatılması gerekmektedir.

1) ConnectionUp: Bu işleyici, kontrolcüye bir anahtar bağlandığında çağırılır. "Datapath ID (DPID)" adı verilen özgün bir kimlik numarası döndürür. "Datapath" sanal OpenFlow anahtarlarını tanımlar. DPID, bu anahtarları belirten 64-bit uzunluğunda bir kimliktir. Kontrolcüye bir anahtar bağlandığında, ConnectionUp işleyicisi anahtar ismini ve DPID kimliğini ilgili sözlüğe kaydeder.

2) ConnectionDown: ConnectionUp işleyicisinin tam aksine, bu işleyici herhangi bir anahtar ile kontrolcü arasındaki bağlantı koptuğu zaman ayağa kalkar. Bağlantısı kopan anahtar sözlükten silinir. Böylece, kontrolcü yönlendirme kurallarını güncellenmiş ağ topolojisine göre belirleyebilir.

3) LinkEvent: LinkEvent işleyicisi, iki anahtar arasında link tespit edildiği zaman çalışır. POX kontrolcüsünün içinde gelen "openflow.discovery" modülünü kullanır. Bu modül, DPID, birinci ve ikinci anahtarları ve birbirlerine bağlı oldukları port numarası gibi bilgileri döndürür. Bu bilgiler, ağ topolojisinin oluşturulması için kullanılır.

4) HostEvent: Topoloji ve anahtarlar arası port listesi tespit edildikten sonra, topolojiyi tamamlamak için anahtarlara bağlı makinelerin keşfedilmesi gerekir. HostEvent işleyicisi bu görevden sorumludur. Ağ üzerinde herhangi bir makine "pox.host\_tracker" e-ISSN: 2148-2683

modülü vasıtasıyla tespit edildiği takdirde bu işleyici ayağa kalkar. Makine tespitini başlatmak için, tüm makinelerin birbirlerine ICMP mesajı göndermesi gerekmektedir. Bu işlem Mininet' te "pingall" komutuyla başlatılabilir. Bir makine tespit edildiği takdirde, bu makine ile ilgili isim ve hangi anahtara hangi porttan bağlı bilgisi elde edilebilir. Bu bilgiler kullanılarak, ağ topolojisi tamamiyle keşfedilir.

5) PacketIn: PacketIn işleyicisi, yönlendirme, gecikme hesaplama, paket replikasyonu, yönlendirme yol rezervasyonu gibi işlemleri gerçekleştirdiği için bu çalışmadaki en önemli modüllerden biridir. Anahtara bir paket ulaştığında, bu modül ayağa kalkar ve paket tipi, kaynak ve hedef IP adresi, kaynak MAC adresi gibi bir çok bilgiyi döndürür. Bu bilgiler, bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılan Dijkstra modülünde kullanılarak, uçtan uca en uygun yönlendirme yolu hesaplaması yapılır. Bununla birlikte, ardışık iki anahtar arasında link gecikme hesaplaması da bu işleyici sayesinde gerçekleştirilir. Hesaplanan gecikmeler, ağ topolojisinin tutulduğu sözlük değerlerine link maliyeti olarak girilir. Her paket iletimi sırasında anahtarlarda bu işlem gerçekleştirildiği için, düğümler arası link gecikmeleri sürekli güncel tutulur. Bu güncelleme yapılırken linklerin simetrik olduğu varsayılır. Bu modül, her paket geldiğinde, işlemin yapıldığı anahtarın Dijkstra modülünün bulunduğu en uygun yönlendirme yolu üzerindeki elemanlardan biri olup olmadığını kontrol eder. Eğer bu durum sağlanıyorsa, "of.ofp\_packet\_out" OpenFlow paketi kontrolcü tarafından anahtara gönderilir ve gelen paketi nasıl yönlendirmesi gerektiğini bildirir. Bu OpenFlow paketi içinde hesaplanan çıkış portu bilgisi yer alır.

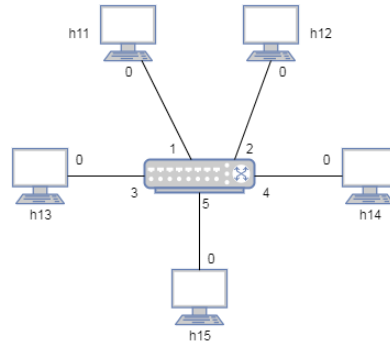
6) Dijkstra Modülü: Dijkstra modülü, Dijkstra' nın En Kısa Yol algoritmasını koşturur. Yukarıda anlatılan modüllerin sağladığı ağ topolojisi ve link maliyet bilgilerini kullanır. Ek olarak, kaynak ve hedef makine isimleri de bu modüle girildiği olarak verilir. En uygun yol sonucu bir liste içinde döndürülür. Örnek olarak, h11 ve h61 makineleri arasındaki en uygun yol [h11 s1 s3 s6 h61] şeklinde belirtilir. Burada, h11 ve h61 sırasıyla kaynak ve hedef düğümlerini, s1, s3 ve s6 ise en uygun yol üzerinde bulunan anahtarları belirtir.

## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

TSN' i yazılım tanımlı ağ yaklaşımıyla gerçekleştirmek, topoloji keşfi, yönlendirme yol rezervasyonu, paket replikasyonu, link gecikme ölçümü, anahtar giriş politikası, optimal yönlendirme yolundan paket iletimi gibi konular ele alındığında, sonuç olarak özelleştirilmiş herhangi bir topolojide çalışabilen dinamik ve efektif bir çözüm sağlamaktadır.

### 4.1. Topoloji Keşfi ve Yeniden Keşfi

Topoloji bulma işlemi basit topolojilerden karmaşık topolojilere kadar birçok farklı ağ topolojisinde test edilmiştir. Ağ üzerindeki anahtarlar ve aralarındaki bağlantılar milisaniye mertebesinde saptanmıştır. Fakat makinelerin tespit edilmesi, düğümlerin birbirlerine ping mesajı atıp cevaplarını beklemesi sebebiyle, özellikle büyük topolojilerde zaman alan bir işlem haline aldı. Bu yüzden sistem devreye alınmadan önce gerekli kurulumların yapılması önerilmektedir. Kontrolcünün farklı topolojiler için döndürdüğü sonuçlar aşağıdaki loglarda gösterilmektedir.



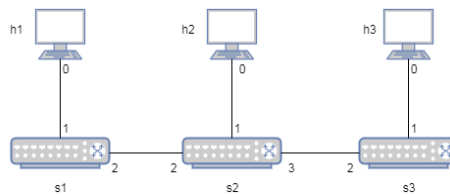
Şekil 1. Tek anahtar topolojisi

[dynamicController] Switch Port List: {'h11': {'s1': 0}, 's1': {'h11': 1, 'h12': 2, 'h13': 3, 'h14': 4, 'h15': 5}, 'h13': {'s1': 0}, 'h14': {'s1': 0}, 'h15': {'s1': 0}, 'h12': {'s1': 0}}

"dynamicController" isimli kontrolcü topolojiyi Python sözlüğü içinde aşağıdaki gibi döndürür.

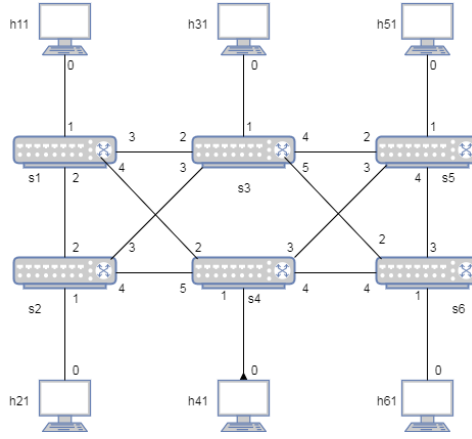
'a': {'b': 1, 'c': 2}

Bu notasyon, "a" düğümünün "b" düğümüne kendi üzerindeki 1 numaralı porttan, "c" düğümüne ise 2 numaralı porttan bağlı olduğunu belirtir.



Şekil 2. Üç anahtarlı lineer topoloji

[dynamicController] Switch Port List: {'s3': {'s2': 2, 'h3': 1}, 's2': {'s3': 3, 's1': 2, 'h2': 1}, 's1': {'s2': 2, 'h1': 1}, 'h2': {'s2': 0}, 'h3': {'s3': 0}, 'h1': {'s1': 0}}



Şekil 3. Kontrolcü testi için oluşturulmuş karmaşık topoloji

[dynamicController] Switch Port List: {'s3': {'s2': 3, 's1': 2, 'h31': 1, 's6': 5, 's5': 4}, 's2': {'s3': 3, 's1': 2, 'h21': 1, 's4': 4}, 's1': {'s3': 3, 's2': 2, 'h11': 1, 's4': 4}, 'h21': {'s2': 0}, 's6': {'s3': 2, 'h61': 1, 's5': 3, 's4': 4}, 's5': {'s3': 2, 's6': 4, 'h51': 1, 's4': 3}, 's4': {'h41': 1, 's2': 5, 's1': 2, 's6': 4, 's5': 3}, 'h31': {'s3': 0}, 'h51': {'s5': 0}, 'h41': {'s4': 0}, 'h11': {'s1': 0}, 'h61': {'s6': 0}}

Kontrolcü aynı zamanda makinelerin veya anahtarların durumunda herhangi bir değişiklik olduğunda topolojiyi yeniden keşfedip ilgili sözlüklerin güncellenmesini sağlayabilir. Bu sayede, anahtara yeni bir paket geldiğinde, bu paketin yönlendirilmesi için en uygun yol, güncel ağ durum bilgisi kullanılarak bulunmuş olur.

## 4.2. Link gecikme ölçümü

Her link için gecikme ölçümü bir anahtara paket geldiği esnada PacketIn işleyicisi içinde bir düğümden diğer düğüme iletilirken gerçekleştirilir. Ölçüm tamamlandıktan sonra, link maliyetleri güncellenir. Optimal yönlendirme yolu, paketler her anahtara ulaştığında hesaplandığı için, bu süre içinde optimal yol üzerinden iletilmeleri garanti altına alınmış olur.

## 4.3. Optimal yol üzerinden paket yönlendirme

Bu bölümde sonuçları göstermek için Şekil 3' te yer alan özel topoloji kullanılmıştır. "h11" makinesinden "h61" makinesine gönderilen ping mesajı gözlemlenmiştir. PacketIn işleyicisinin "s6" anahtarı üzerindeki logları Şekil 4' te yer almaktadır. Log incelendiğinde ilgili paketin h11 > s1 > s4 > s6 > h61 yolunu takip ettiği görülmektedir. Bununla birlikte, "s6" ve "s4" düğümleri arasındaki gecikme 10.55 milisaniye olarak ölçülmüştür. h11 > s1 > s3 > s6 > h61 ve h11 > s1 > s3 > s5 > s6 > h61 yolları da "h11" ve "h61" düğümleri arasındaki iletim için alternatif yollar olarak gösterilebilir. Fakat Dijkstra modülü optimal yolu link maliyetlerini göz önünde bulundurarak hesaplamıştır.

```
[dynamicController] *****
[dynamicController] Packet Type: IPv4
[dynamicController] Packet SRC IP: 10.0.0.1, DST IP: 10.0.0.6
[dynamicController] SRC Host: h11 DST Host: h61
[dynamicController] Dijkstra Path: ['h11', 's1', 's4', 's6', 'h61']
[dynamicController] Packet is on s6
[dynamicController] Current Node = s6 Previous Node: s4 DELAY: 10.5559825897 ms
```

Şekil 4. PacketIn işleyici logları

Hesaplanan optimal yol üzerindeki bir anahtarda sorun olması durumunda kontrolcünün nasıl davranacağını test etmek için "s4" anahtarı Mininet üzerinden switch s4 stop komutuyla kapatılır. Bu durumda, kontrolcü Şekil 5' te görüleceği üzere h11 > s1 > s3 > s5 > s6 > h61 yolunu tercih eder. Çünkü hesaplanan link maliyetlerine göre h11 > s1 > s3 > s6 > h61 yolu daha az sayıda durağa sahip olmasına rağmen daha maliyetli bir yoldur.

```
[dynamicController] Switch s4 is disconnected
[dynamicController] *****
[dynamicController] Packet Type: IPv4
[dynamicController] Packet SRC IP: 10.0.0.1, DST IP: 10.0.0.1
[dynamicController] SRC Host: h61 DST Host: h11
[dynamicController] Dijkstra Path: ['h61', 's6', 's5', 's3', 's1', 'h11']
[dynamicController] Packet is on s6
[dynamicController] Current Node = s6 Previous Node: h61 DELAY: 10.4329586029 ms
```

Şekil 5. s4 anahtarı kapatıldığında gözlemlenen PacketIn işleyici logları

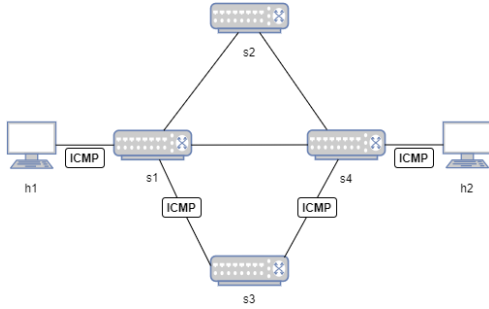
## 4.4. Yönlendirme yolunun rezervasyonu



IEEE 802.1Qca Path Control and Reservation, Katman-2 ağlarda birden çok yolu yapılandırmak için kullanılan bir TSN protokolüdür. Kısıtlı En Kısa Yol yönlendirme algoritmasını kullanır (Ojewale ve Yomsi, 2020). Bu çalışmada, gerçek zamanlı paketler Dijkstra modülü tarafından bulunan optimal yol üzerinden yönlendirilmektedir. Yol rezervasyonu sağlayıp determinizmi emniyete almak için gerçek zamanlı olmayan paketlerin optimal yola erişimleri engellenmelidir. Her paket tipi için önceden tanımlanan yollar verinin korunmasına ve determinizme katkı sağlar. K-en kısa yol algoritması ikincil optimal yolun bulunması için önerilmiştir (Eppstein, 1994). Fakat, Dijkstra en kısa yol algoritması da bu iş için kullanılabilir. Önce optimal yol bulunur. Topoloji kopyalanır ve optimal yol üzerindeki link maliyeti sonsuza çekilir. Daha sonra, modifiye edilmiş topoloji üzerinde Dijkstra algoritması yeniden çalıştırılır ve elde edilen sonuç ikinci optimal yolu verir. Gerçek zamanlı olmayan paketler bu yol üzerinden iletilir ve farklı önceliğe sahip paketler farklı yollardan yönlendirilmiş olur.

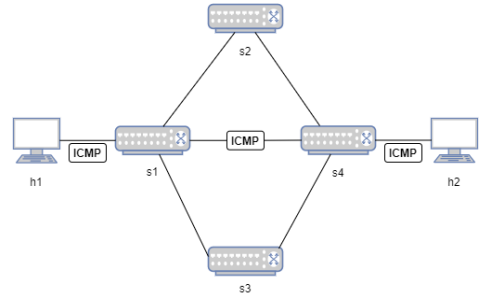
Önerdiğimiz modelde, gerçek zamanlı ve gerçek zamanlı olmayan paketler, Servis Tipi (Type of Service (ToS)) değerine göre sınıflandırılır. ToS değeri 0x10 (16) ise paket optimal yol üzerinden, değilse ikinci optimal yol üzerinden iletilir ve gerçek zamanlı olmayan paket muamelesi görür. Aşağıdaki örnekte, kolaylık olması için, tüm link maliyetleri eşit olarak tanımlanmıştır. Buna göre optimal yol  $h1 > s1 > s4 > s2$  ve ikincil optimal yol  $h1 > s1 > s2 > s4 > h2$  ve  $h1 > s1 > s3 > s4 > h2$  olur.

**mininet > h1 ping -c 10 h2**



Şekil 6. Gerçek zamanlı olmayan paket iletimi

**mininet > h1 ping -Q 0x10 -c 10 h2**



Şekil 7. Optimal yol üzerinden gerçek zamanlı paket iletimi

#### 4.5. Paket replikasyonu

Çalışmamızda uygulanan bir diğer TSN mekanizması IEEE 802.1CB Frame Replication and Elimination for Reliability protokolüdür. Bu protokol, her paketin kopyasının birden çok ayrıık yol üzerinden iletilerek yedeklilik sağlanmasını önermektedir. Bu standart aynı zamanda DetNet' te de tanımlanmıştır. Bizim uygulamamızda, optimal yol hesaplandıktan sonra, paket ilk anahtarın tüm ara yüzlerinden kopyalanarak iletilir. Bu sayede birden çok ayrıık yoldan gönderilen paketler, link veya cihaz arızası durumunda paket kaybını önler. Aşağıdaki örnekte, replike edilecek paketler 0x20 (32) ToS değeriyle belirlenmiştir ve link kayıp oranı %5' tir.

**mininet > h1 ping -c 100 h2**

100 packets transmitted, 59 received, **41% packet loss**, time 99236ms

Replikasyon olmadan elde edilen paket kaybı %41' dir.

**mininet > h1 ping -Q 0x20 -c 100 h2**

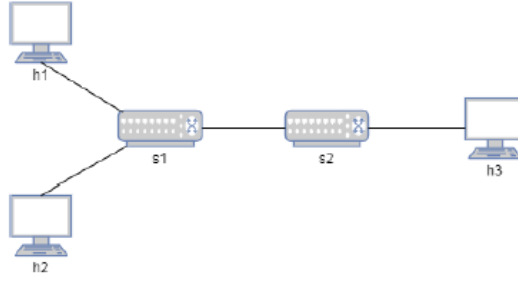
100 packets transmitted, 93 received, +195 duplicates, **7% packet loss**, time 99156ms

Replikasyon ile paket kayıp oranı %7 oranına düşürülmüştür.

#### 4.6. Paket replikasyonu

IEEE 802.1Qci Per-Stream Filtering and Policing dayanıklılığı ve bant genişliği kaynak verimliliğini arttıran bir diğer TSN protokolüdür. Bu çalışmada son olarak OpenFlow "metering" fonksiyonu trafikler sınıflandırıldıktan sonra anahtarlar üzerinde uygulanmıştır. Anahtar giriş politikası filtreler sunarak veri akışını bloklar ya da azaltır. Bu fonksiyon gerçek zamanlı olmayan trafiklere uygulandığı takdirde ağ düğümleri üzerinde tıkanmayı engelleyecektir. Gerçek zamanlı olmayan aşırı miktardaki paketlerden kaynaklanan kuyruklar engellendiği takdirde gerçek zamanlı paket iletimi garanti altına alınabilecektir. Anahtarlar üzerindeki her ara yüz için önceden belirlenen veri hızları ayarlanarak, anahtarın davranışı gözlemlenmiştir.

OpenFlow her ara yüzde anahtar giriş politikasını gerçekleştirebilmek için ovs-vsctl komutunu uygun parametrelerle kullanıma sunar. Şekil 8' de görülen topolojide, 10.0.0.3 IP adresli "h3" alıcı düğümü, sırasıyla 10.0.0.1 ve 10.0.0.2 IP adresli "h1" ve "h2" gönderici düğümlerini ifade eder. "iperf" ağ performansını ölçmek için kullanılan ve iki düğüm arasındaki veri hızını hesaplayan bir araçtır. "h3" üzerinde iperf -s -p 4000 & ve iperf -s -p 5000 & komutları çalıştırılarak 4000 ve 5000 numaralı portlardan gerekli ölçümlerin tamamlanması için bağlantı yapılması beklenir. Bu örnekte "h2" düğümünün gerçek zamanlı paketler, "h1" in ise gerçek zamanlı olmayan paketler gönderdiği farz edilir. Bu sebeple, "s1" anahtarının "h1" ile olan ara yüzüne 100 Kbps, "h2" ile olan ara yüzüne 1 Mbps veri hızı politika olarak tanımlanır.



Şekil 8. Anahtar giriş politikası için örnek topoloji

Her iki düğüm aynı anda "h3" düğümüne paket göndermeye başladığında "h3", bağlanan düğümleri aşağıda belirtildiği gibi tespit eder.

Ölçümler yapıldıktan sonra, "h1" sonuç olarak

local 10.0.0.1 port 37236 connected with 10.0.0.3 port 4000

Interval	Transfer	Bandwidth
0.0-22.2 sec	256 Kbytes	<b>94.5 Kbits/sec</b>

"h2" düğümü ise,

local 10.0.0.2 port 48938 connected with 10.0.0.3 port 5000

Interval	Transfer	Bandwidth
0.0-11.4 sec	1.38 Mbytes	<b>1.01 Mbits/sec</b>

dönüşünü sağlar.

Elde edilen sonuçlar, ağ üzerindeki düğümlerin belirlenen politikaya uyduğunu, gerçek zamanlı paketlerin belirlenen veri hızında iletiminin sağlandığını ve gerçek zamanlı olmayan paketlerin aynı ağ altyapısı üzerinde çalıştığını gösterir.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada, IEEE 802.1 Time-Sensitive Networking (TSN) standardının yönlendirme mekanizmasına Yazılım Tanımlı Ağlar (YTA) yaklaşımı kullanılarak katkıda bulunulmuş olup, TSN standardında yer alan bir çok özellik modelimiz üzerinde gerçekleştirilip sonuçları analiz edilmiştir. YTA yaklaşımını kullanmak ağ topoloji bilgisinin global görüntüsünü ve güncel ağ durum bilgilerinin kullanılabilmesini sağlamıştır. Dördüncü bölümde sağlanan örneklerden görüleceği üzere, önerilen model gerçek zamanlı sistemler için dinamik ağ kontrolü ve optimal iletim mekanizması sağlamıştır. Sonuç olarak, havacılık, ulaşım, sağlık ve savunma gibi alanlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş gerçek zamanlı haberleşme protokolleriyle benzer performans veren maliyet etkin bir çözüm sunulmuştur.

## Kaynakça

Time-Sensitive Networking (TSN) Task Group. Erişim adresi <https://1.ieee802.org/tsn/>

Bello, L. ve Steiner W. (2019). A Perspective on IEEE Time-Sensitive Networking for Industrial Communication and Automation Systems. *Proceedings of the IEEE*, 1-27.

Ojewale, M ve Yomsi, P. (2020). Routing heuristics for load-balanced transmission in TSN-based networks. *ACM SIGBED Review*

Heise, P., Geyer, F., Obermaisser, F. (2015). Deterministic OpenFlow: Performance Evaluation of SDN Hardware for Avionic Networks. *11th International Conference on Network and Service Management*

Cevher, S., Mumcu, A., Caglan, A., Kurt, E., Peker, M., Hokelek, I., Altun, S. (2018). A Fault Tolerant Software Defined Networking Architecture for Integrated Modular Avionics. *2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*

Deterministic Networking (DetNet). Erişim adresi <https://datatracker.ietf.org/wg/detnet/about/>

Kumar, R., Monowar, H., Padhy, S., Evchenko, K., Piramanayagam, L., Mohan, S., Bobba R. (2017). End-to-End Network Delay Guarantees for Real-Time Systems using SDN *2017 IEEE Real-Time Systems Symposium (RTSS)*

Mininet. Erişim adresi <http://mininet.org>

POX Wiki. Erişim adresi <https://noxrepo.github.io/pox-doc/html/>

Eppstein, D. (1994). Finding the k Shortest Paths. *Department of Information and Computer Science University of California Tech. Report 26-94*



# Özelleştirilmiş Uygunluk Fonksiyonu Tabanlı Su Döngüsü Algoritması ile PID Parametrelerinin Optimizasyonu\*

Harun Gür<sup>1</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0003-1291-5972)

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3179-5099)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf43)

**ATIF/REFERENCE:** Gür, H., & Furat, M. (2020). Özelleştirilmiş Uygunluk Fonksiyonu Tabanlı Su Döngüsü Algoritması ile PID Parametrelerinin Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 332-341.

## Öz

Endüstriyel alanda kullanılan kontrolcüler arasında PID kontrolcü, en yaygın olanıdır. Bunun önemli sebebi olarak bu kontrolcüde kullanılan parametre sayısının az olması ve parametrelerinin her birinin uygulanan sistem çıkışına olan etkisinin ölçülebilir sayılabilir. PID parametreleri, birbirinden bağımsız olup sıfır ile sonsuz aralığında değerler alır. Literatürde, bu konuda yapılan çalışmalar gerek matematiksel modele dayalı gerekse sistemin açık çevrim veya kapalı çevrim çıkışına dayalı yöntemlerden oluşmaktadır. Bu yöntemlerin yanında, meta-sezgisel yöntemler de son yıllarda popüler olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bunlar, doğadaki çeşitli olaylardan esinlenilerek hazırlanan optimizasyon yöntemleridir. Bu çalışmada, fizik ve kimya tabanlı olayların matematiksel ifadelerinden yola çıkılarak elde edilen algoritmalarından biri olan Su Döngüsü Algoritması (SDA) kullanılarak optimum PID parametreleri aranmıştır. Geleneksel olarak sadece bir uygunluk fonksiyonu ile arama yapılırken bu çalışmada PID parametrelerinin özelliklerini yansıtan özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonları ayrı ayrı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar grafiksel ve istatistiksel olarak verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Su Döngüsü Algoritması, Meta Sezgisel Algoritma, Optimizasyon, PID, Özelleştirilmiş Uygunluk Fonksiyonu.

## Optimization of PID Parameters with Customized Fitness Function Based Water Cycle Algorithm

### Abstract

Among the controllers used in the industrial field, the PID controller is the most commonly used one. The important reason is that the number of parameters used in this controller is only three and the effect of each of the parameters on the applied system output is measurable. PID parameters are independent from each other and take values between zero and infinity. In the literature, studies on this subject consist of both mathematical model based and open loop or closed loop output methods of the system. In addition to these methods, meta-heuristic methods have also been used in recent years. These are optimization methods prepared by inspiring from various events in nature. In this study, optimum PID parameters were searched using the Water Cycle Algorithm (WCA), one of the algorithms obtained based on the mathematical expressions of physics and chemistry-based events. Instead of searching with only one fitness function, customized fitness functions that reflect the characteristics of PID parameters were used in this study. The results obtained are given graphically and statistically.

**Keywords:** Water Cycle Algorithm, Meta Heuristic Optimization, Optimization, PID, Costimized Fitness Function.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Kontrol sistemlerinde kullanılan optimizasyon yöntemleri, istenilen çıkış verilerinin enerji açısından daha verimli daha stabil ve daha hızlı cevap alınabilmesini sağlamaktadır. Kontrol sistemlerinde yapılan optimizasyon için genellikle yapay zeka, matematiksel modelleme yöntemleri, doğadan esinlenerek oluşturulan meta-sezgisel yöntemler (sürü optimizasyon algoritmaları, Biyo-esinlenme algoritmaları, fizik ve kimyasal tabanlı algoritmalar vb.) yöntemler kullanılmaktadır [1].

Bu yaygın kullanılan yöntemler incelendiğinde; yapay zekâ tabanlı yöntemler uzmanlık gerektiren yöntemlerdir. Matematiksel modelleme yöntemleri ise ele alınan sistemin tüm parametrelerini sistem karakteristiğine etkisinin bilinmesi gerektiğinden oldukça karmaşıktır. Ancak her iki yöntemin de olumlu yönü istenilen amaca yönelik iyi sonuçlar alınabilmesidir [1].

Meta sezgisel yöntemlerin en önemli özelliği matematiksel tabanlı olmaması, uzmanlık gerektirmemesidir. Pratikte kolaylıkla uygulanabilen bu yöntemler doğada olan olayların matematiksel olarak ifade edilmesine dayalı olup en iyi çözümü bulma amacına yakın ve oldukça iyi çözüm verebilmektedir [2].

Meta sezgisel yöntemler arasında yaygın olarak aşağıdaki sürü optimizasyonu tabanlı yöntemler literatürde oldukça çalışılmaktadır:

- Parçacık sürüsü optimizasyonu [3]
- Yapay Arı Kolonisi Algoritması [4]
- Karınca Kolonisi Algoritması [5]
- Arı Sürüsü Algoritması [6]
- Havai Fişek Algoritması [7]

Bunların dışında, biyolojik olaylardan esinlenerek geliştirilen algoritmalarda vardır [1]:

- Atmosfer Bulut Modeli
- Japon Ağaç Kurbağası Çağırısı
- Balık Sürüsü Algoritması
- Gen Oluşumu Algoritması
- Termit Kolonisi Optimizasyonu

Ayrıca, fizik ve kimya tabanlı olayların matematiksel ifadelerinden yola çıkılarak elde edilen algoritmalarda kullanılmaktadır [1]:

- Gen Oluşumu
- Kara Delik
- Merkezkaç Optimizasyonu
- Spiral Optimizasyon Algoritması
- Su Döngüsü Algoritması

Bu çalışmada PID kontrolcü için optimum parametrelerin aranması amacıyla su döngüsü algoritması kullanılmıştır. Geleneksel olarak, birden fazla parametrenin olduğu problemlerde, tek bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak arama yapılmaktadır [8]. Ancak, PID kontrolcünün her bir parametresinin uygulanan sistemin çıkışına etkisi farklı olduğundan farklı uygunluk fonksiyonları kullanılarak optimum değerlerin aranması daha doğru sonuçlar verecektir. Uygunluk fonksiyonları olarak, literatürde sıklıkla hataya bağlı birikim yapan performans fonksiyonları kullanılmıştır [9]. Bu amaçla yapılan bir çalışmada, uygunluk fonksiyonları ile iterasyon sayısı arasındaki ilişki deneysel olarak ortaya konmuştur [9].

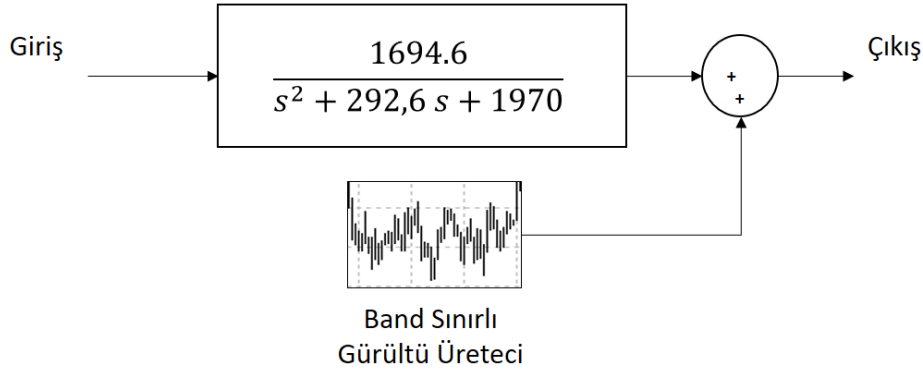
Çalışmanın geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir: Materyal ve yöntem ikinci bölümde anlatılmıştır. Deneysel çalışma sonunda elde edilen sonuçlar grafikler ve tablo olarak üçüncü bölümde verilmiştir. Son bölümde, değerlendirme yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Materyal

Su döngüsü algoritması ile PID parametrelerinin optimizasyonu amacıyla bir simülasyon yazılımı kullanılarak bir DC motorun ikinci derece modeline sensör gürültüsü eklenerek, üzerinde farklı iterasyon sayılarında simülasyonlar yapılmıştır [10].

Kullanılan model Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. DC motor modeli

## 2.2. Doğada Su Döngüsü

Su, doğada ısı kaynaklı sürekli bir çevrim içerisindedir. Bu çevrim, okyanus ve denizlerde buharlaşma ile başlar, yükselen buhar birleşerek bulutları oluşturur. Bulutlar ısı kaybı kaynaklı yoğunlaşarak su damlacıklarını oluşturur. Su damlacıkları yağmurlar şeklinde yeniden yeryüzüne iner. Karaya düşen su, yer çekiminin etkisi ve akışkanlığı gereği sürekli deniz seviyesine doğru hareket eğilimindedir. Bu hareketinde birleşme eğilimi içerisinde olduğu müddetçe dereleri, nehirleri oluşturur ve ana hedef okyanus ve denizlere doğru akışını güçlendirerek sürdürür. Nihayetinde okyanus ve denizlere ulaşan su, döngüsünü tamamlar ve ısı kaynağı olduğu müddetçe bu döngüsünü sürdürür.

## 2.3. Su Döngüsü Algoritması

Su Döngüsü Algoritması, doğadan esinlenilerek tasarlanan yöntemler arasında olup doğada suyun döngüsünde kullanmış olduğu akış, dönüşüm ve erozyon kurallarının matematiksel ifadelerinden yola çıkılarak elde edilen bir algoritmadır. Su döngüsü aşamaları Buharlaşma, Yoğunlaşma, Yağış, Erozyon, Akış gibi aşamalar içerir. Aynı zamanda bu döngü sırasında her aşama belirli bir mal oluşu da beraberinde getirmektedir. Suyun birleşmesi suyu büyütür. Buharlaşması ve Erozyon ise suyun küçülmesine sebep olur [2].

## 2.4. SDA Matematiksel Modellemesi

SDA’nda en küçük değişken değere "Yağmur Damlası" denir. Popülasyon tabanlı meta-sezgisel yöntemlerde optimizasyon için değişken değerlerine ait bir dizi oluşturulmalıdır. Bir  $N_{var}$  boyutlu optimizasyon probleminde, bir yağmur damlası  $N_{var}$  dizisidir ve şu şekildedir:

$$Yağmur\ Damlası = N_{var} = [x_1, x_2, \dots, x_N] \quad (1)$$

Algoritmanın başlayabilmesi için, matrisine denk  $N_{pop} \times N_{var}$  boyutunda bir yağmur damlası popülasyonu oluşturulur. Bu nedenle, rastgele üretilen X matrisi şu şekilde verilir (satırlar nüfus sayısını, sütunlar ise değişken değeri sayısıdır)

$$Yağmur\ Damları\ Populasyonu = \begin{bmatrix} YD_1 \\ YD_2 \\ YD_3 \\ \vdots \\ YD_{N_{pop}} \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & x_3^1 & \dots & x_{N_{var}}^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & x_3^2 & \dots & x_{N_{var}}^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{N_{pop}} & x_2^{N_{pop}} & x_3^{N_{pop}} & \dots & x_{N_{var}}^{N_{pop}} \end{bmatrix}$$

Karar değişkeni değerlerinin  $(X_1, X_2, \dots, X_{var})$  her biri başlangıç noktası numarası veya sürekli ve ayrık problemler için dizi olarak gösterilebilir. Bir damlanın maliyeti (en düşük değer), ekonomik şekilde verilen maliyet fonksiyonunun bireyleri deniz ve nehirler olarak seçilir. Mutlak hedef deniz olduğundan denizin tek değeri bir olarak kabul edilir. Dolayısıyla, denklemden verilen  $N_{sr}$  nehir sayısı (kendi belirlediğimiz ön değer) ve denizin toplam değeridir. Kalan değerler yağmur damlaları nehirlere veya doğrudan denize akabilecek değerlerden oluşur (5).

$$C_i = Maliyet_i = f(x_1^i, x_2^i, x_3^i, \dots, x_{N_{pop}}^i) \quad (3)$$

Burada  $i=1,2,3,\dots,N_{pop}$



$$N_{sr} = \text{Nehir Sayısı} + \underbrace{1}_{\text{Deniz}} \quad (4)$$

$$N_{yd} = N_{pop} - N_{sr} \quad (5)$$

Akışkanın yoğunluğuna bağlı olarak damlaların nehirlere ve denize akışını oluşturulan denklem:

$NS_n$ , belirli nehirlere veya denize akan akarsuların sayısıdır.

$$NS_n = \text{yuvarla} \left\{ \left\lfloor \frac{\text{Maliyet}_n}{\sum_{i=1}^{N_{sr}} \text{Maliyet}_i} \right\rfloor \times N_{yd} \right\} \quad (6)$$

Burada  $n=1,2,\dots,N_{sr}$

Bir akışın sağlanabilmesi için yağmur birleşerek daha büyük değerleri oluşturması gerekir (nehir, deniz). Akarsuların kalan kısmı da denize doğrudan akabilir. Nehirler ve akarsular en düşük nokta olan Denize doğru akarlar. Nehre doğru olan akış koşulu:

$$X \in (0, C \times d), \quad C > 1 \quad (7)$$

Burada  $C$ , 1 ile 2 arasında ve 2'ye yakındır. Dolayısıyla  $C=2$  şeklinde yakınsanır. Akış ve nehir arasındaki uzaklık (7) değeri, (0 ve  $C \times d$ )'nin arasındaki bir değer gelecektir.  $C>1$  olduğu için akarsuların nehirlere doğru akışını gerçekleştirir.

$$X_{akış}^{i+1} = X_{akış}^i + rand \times C \times (X_{nehir}^i - X_{akış}^i) \quad (8)$$

$$X_{nehir}^{i+1} = X_{nehir}^i + rand \times C \times (X_{deniz}^i - X_{nehir}^i) \quad (9)$$

(10) denklemindeki  $d_{max}$  değeri sıfıra yakındır. Eğer, bir nehir ve deniz arasındaki mesafe yani  $d_{max}$ 'tan az ise, nehrin denize ulaşacağı anlaşılır ve denize ulaşırsa, buharlaşma işlemi gerçekleşir, biriken ve yoğunlaşmayı başaran buhar yağmur (yağmur damlası) olarak tekrar yağacaktır.  $d_{max}$  değeri en yüksek değerden başlayıp azalarak denize yakın en düşük deniz yoğunluğunu bu sayede, en az maliyetli yolu bulmuş olur.

$$d_{max}^{i+1} = d_{max}^i - \frac{d_{max}^i}{\text{max iterasyon}} \quad (10)$$

Buharlaşma uygun sıcaklıkta yoğunlaşarak yağmura olarak yağacaktır. Yeni yağmur damlaları birleşerek akarsuları meydana getirir. Yeni akarsuların konumlarını oluşturmak için aşağıdaki denklem kullanılır:

$$X_{akış}^{yeni} = LB + rand \times (UB - LB) \quad (11)$$

LB ve UB değerleri sırasıyla alt ve üst sınırlardır. En uygun yağmur damlaları doğrudan oluşan akış cazibeleri ile denize doğru akar. Diğer yağmur damlaları ise nehirlere veya doğrudan denize akabilecek akarsuları oluşturduğu varsayılmaktadır.

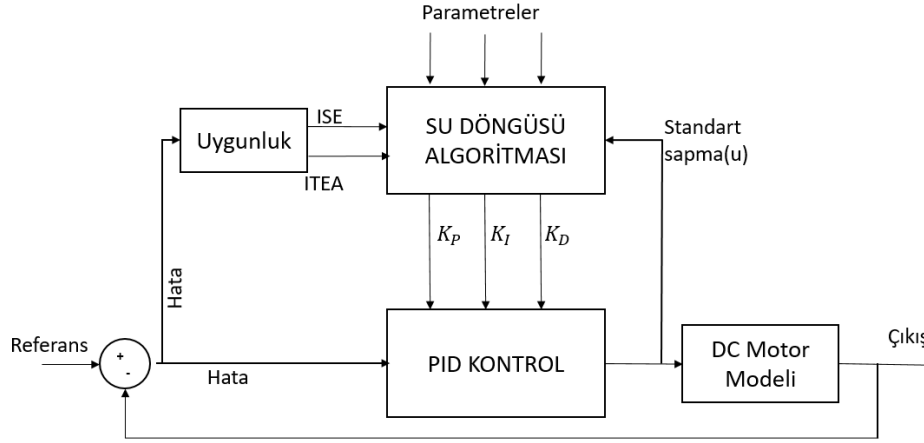
Doğrudan denize akan akarsular için algoritmanın daha hızlı yakınsama yapması için denklem (12) kullanılır. Bu denklem, kısıtlı problemler için uygulanabilir bölgedeki denize yakın olan değerlerin (optimum çözüm ile) yakınsayarak “doğrudan denize akan akarsu” oluşumunu teşvik etmeyi amaçlamaktadır.

$$X_{akış}^{yeni} = X_{deniz} + \sqrt{\mu} \times randn(1, N_{var}) \quad (12)$$

Burada  $\mu$ , denize yakın arama bölgesi aralığını gösteren bir katsayıdır. Randn normal olarak dağıtılan rasgele sayıdır.  $\mu$  değeri daha büyük seçilebilir, dolayısıyla uygulanan alan büyür ve “doğrudan denize akan dere” bulunma ihtimalini artırır. Aksi durumda “doğrudan denize akan dere” bulunma ihtimali düşer.  $\mu$ 'ya 0.1 değeri ön tanımlama olarak atanmıştır. Aynı zamanda matematiksel olarak  $\mu$  terimi standart sapmayı ve buna bağlı olarak varyans kavramını da ifade etmektedir. Standart sapma ve varyans kullanılarak nihayi hedef deniz etrafında dağıtılır.

## 2.5. PID Kontrol Sistemi

Bir DC motor modeli kullanılarak PID optimizasyonu için aşağıdaki şekilde verildiği gibi bir sistem hazırlanmıştır.



Şekil 2. Su Döngüsü Algoritması ile PID ayarlama için blok diyagram

## 2.6. Su Döngüsü Algoritma Yazılım Kuralları

Su döngüsü algoritmasının değerlendirdiği akarsu, dereler ve nehirler değerleri algoritmanın belirlemiş kural ve sınırlarını ihlal edebilir. Bu metotta, algoritma 4 kural ile kısıtlanmış ve daha doğru değerlere yakınsanmıştır.

**Kural 1:** Herhangi bir uygulanabilir çözüm, herhangi bir uygulanabilir çözüm yerine tercih edilir.

**Kural 2:** Kısıtlamaların hafifçe ihlalini içeren (ilk yinelemede 0,01'den son yinelemede 0,001'e kadar) mümkün olmayan çözümler uygulanabilir çözümler olarak kabul edilir.

**Kural 3:** İki uygulanabilir çözüm arasında, daha iyi objektif fonksiyon değerine sahip olan tercih edilir.

**Kural 4:** İki olanaksız çözüm arasında, daha az kısıtlama ihlaline sahip olanı tercih edilir.

Birinci ve dördüncü kuralları kullanarak, doğrudan denize akan akarsuyun olabileceği bölgeler bulunur.

Üçüncü kuralı doğrudan denize akan akarsuyun olabileceği bölgelere yöneliktir.

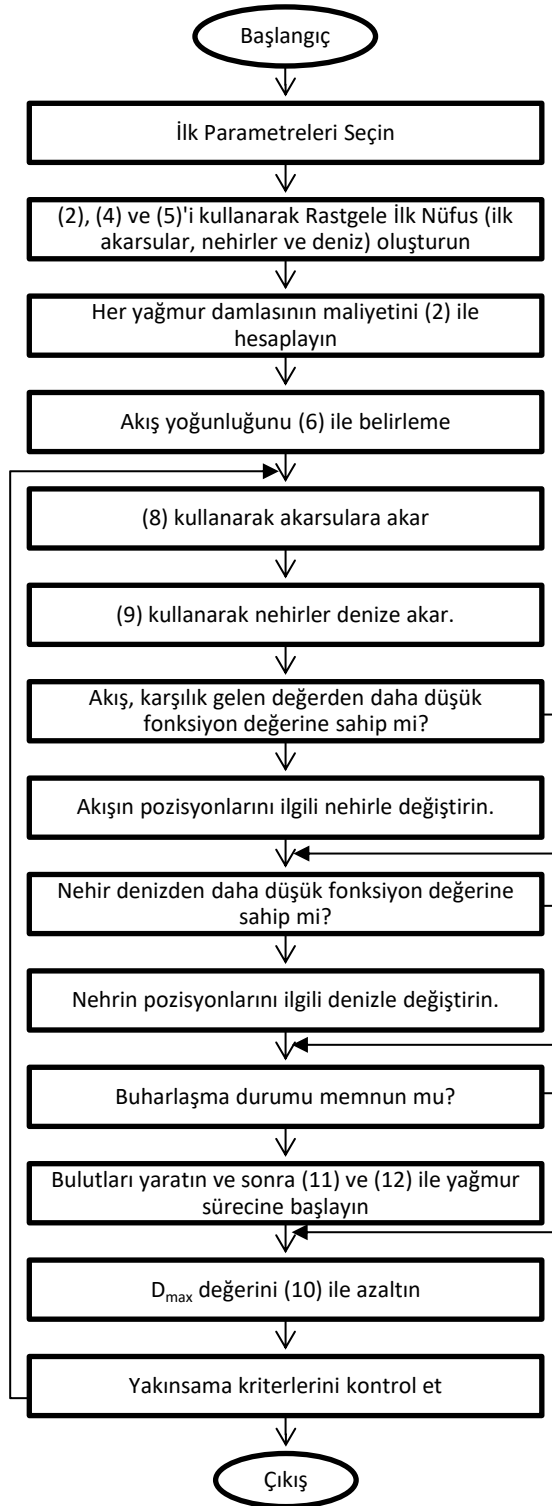
Optimizasyon çözümlerinde, minimum kabul edilebilir uygulama sınırına ya da bu sınırın yakınına yakınsanır. Kural 2 ile akarsu ve nehirler sınırlara yakınsanır. Bununda da daha yüksek bir ihtimal ile denize ulaşabilir.

Yakınsama kuralı, son zamanlarda Meta-sezgisel algoritmalarda Yineleme sayısının fazlalığı, işlemin süresi açısından en iyi sonuç alınan kurallardandır.

## 2.8. Su Döngüsü Algoritmasının Yazılım Adımları

Matematiksel modellemede oluşturulan denklemlere göre SDA'nın adımları aşağıdaki gibi özetlenir:

- ✓ Adım 1: SAA'nın başlangıç parametrelerini seçin:  $N_{sr}$ ,  $d_{max}$ ,  $N_{pop}$ ,  $max\_iteration$ .
  - ✓ Adım 2: Rastgele başlangıç popülasyonu oluşturun ve denklemleri kullanarak ilk akışları (yağmur damlaları), nehirleri ve denizi oluşturun. (2), (4) ve (5).
  - ✓ Adım 3: Denklem kullanarak her bir yağmur damlasının değerini (maliyetini) hesaplayın. (3).
  - ✓ Adım 4: Denklemler kullanarak nehirler ve deniz için akış yoğunluğunu belirleyin. (6).
  - ✓ Adım 5: Akımlar Denklemi (8).
  - ✓ Adım 6: Nehirler Denklem kullanarak en yokuş aşağı yer olan denize akar (9).
  - ✓ Adım 7: Nehir konumlarını, Şekil 5'te gösterildiği gibi, en iyi çözümü veren bir akımla değiştirin.
  - ✓ Adım 8: Adım 7'ye benzer şekilde, eğer bir nehir denizden daha iyi bir çözüm bulursa, nehrin konumu denizle değiştirilir (Şekil 5).
  - ✓ Adım 9: (9) kullanarak buharlaşma durumunu kontrol edin.
  - ✓ Adım 10: Buharlaşma koşulu sağlanmışsa, yağmurlama işlemi denklemler kullanılarak yapılacaktır. (11) ve (12).
  - ✓ Adım 11: Denklem kullanarak kullanıcı tanımlı parametre olan  $d\_max$  değerini azaltın. (10).
  - ✓ Adım 12: Yakınsama kriterlerini kontrol edin. Durdurma kriteri karşılanırsa, algoritma durur, aksi takdirde 5. Adıma dönün.
- Yukarıda verilen adımların akış diyagramı Şekil 3'de yer almaktadır.



### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Deneysel çalışma için ilk başta sisteme uygulanacak PID kontrol parametre aralıkları  $k_p$  için 13-40,  $k_i$  için 5-15,  $k_d$  için 0.01-0.35 olarak seçilmiştir. Sistemin referansı 8 olarak ayarlanmıştır. SDA iterasyon sayıları 20, 50 ve 100 belirlenmiş, su damlacıkları sayılar da 10, 50 ve 100 olarak seçilmiştir. Bunların kombinasyonlarında yapılan simülasyonların süreleri de ölçülerek hazırlanan tablo aşağıda verilmiştir. Uygunluk fonksiyonları aşağıdaki gibi seçilmiştir:

$$k_p \text{ için ISE: } fp = \int e^2(t)dt, \quad (13)$$

$$k_i \text{ için ITAE: } fi = \int t|e(t)|dt, \quad (14)$$

kd için kontrol sinyalinin standart sapması:

$$fd = \sqrt{\frac{\sum u(t) - \bar{u}(t)}{n-1}} \quad (15)$$

Tablo 1 incelendiğinde 100 iterasyon ve 100 adet yağmur damlası ile toplam 10.000 simülasyon yapılarak ISE: 0.3238 ve ITEA: 0.764 değerleri 1134s'de elde edilmiştir.

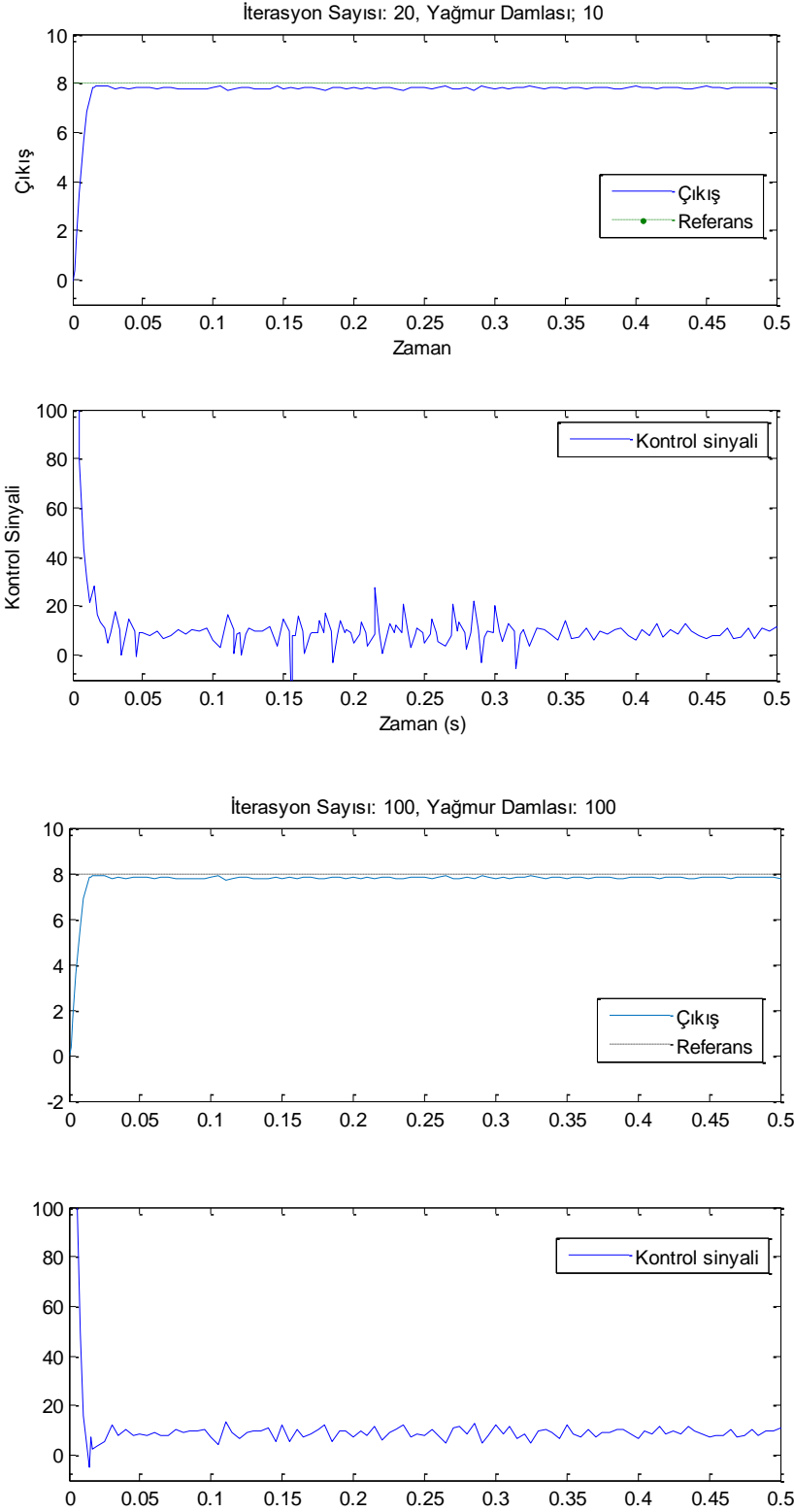
50 iterasyon ve 50 adet yağmur damlası ile toplamda 2.500 simülasyon yapıldığında elde edilen sonuçlar ISE: 0.3439 ve ITEA: 1.0025 olarak ölçülmüş, simülasyon 240s sürmüştür.

20 iterasyon ve 10 adet yağmur damlası ile toplamda 200 simülasyon sonucu ISE 0.3706 ve ITEA 0.8438 sonuçları 28s süren simülasyon sonunda ölçülmüştür.

Tablo 1. Deneysel çalışma sonuçları

İterasyon Sayısı	Yağmur Damlası Sayısı	ISE	ITAE	Simülasyon Süresi (s)
20	10	0.3706	0.8438	28
	50	0.3704	0.8434	95
	100	0.3350	0.8672	236
50	10	0.4633	0.8819	75
	50	0.3439	1.0025	240
	100	0.3966	0.8473	629
100	10	0.3343	0.8682	136
	50	0.3723	0.8428	554
	100	0.3238	0.8764	1134

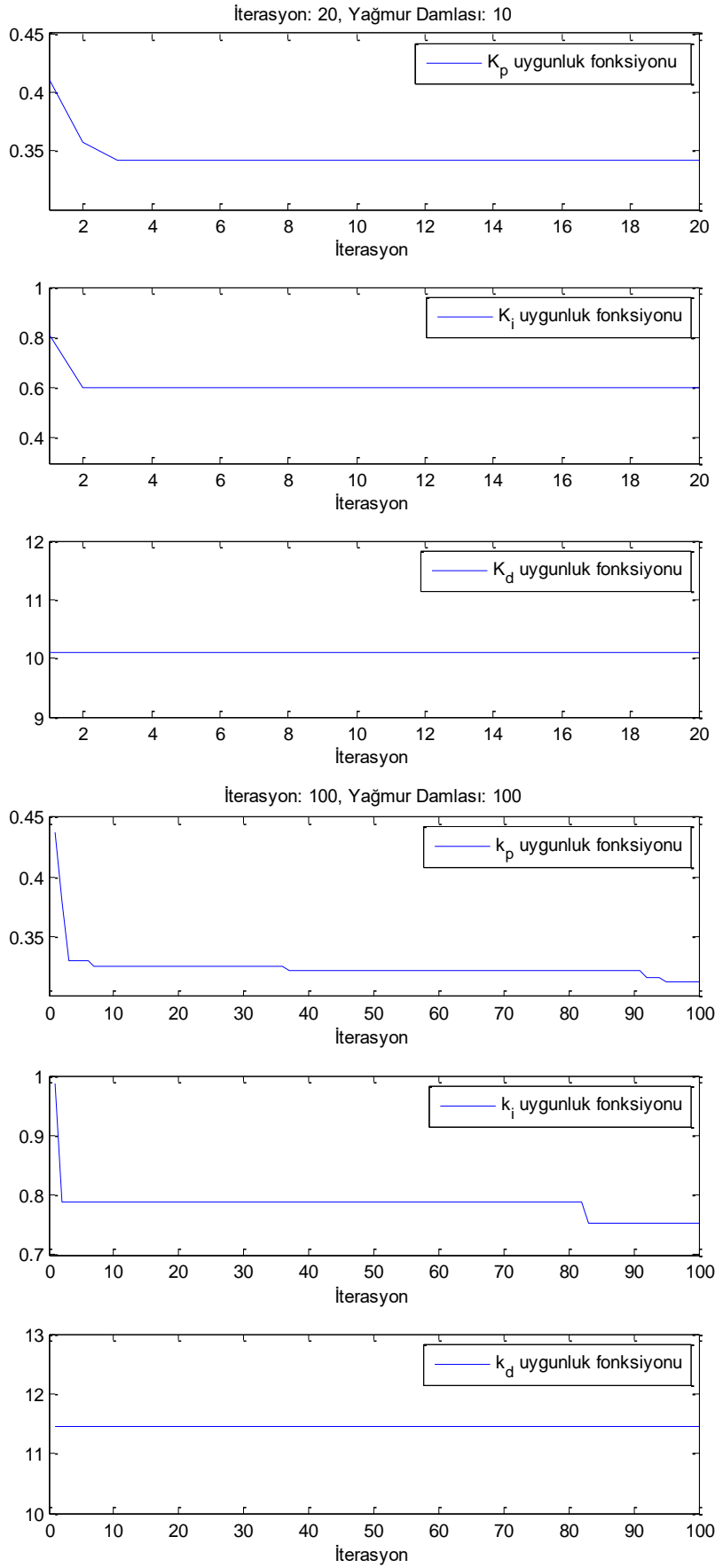
Şekil 3'te 100 yağmur damlası 20 ve 100 iterasyonda çalıştırılarak elde edilen en iyi çıkış grafikleri yer almaktadır.



Şekil 3. Optimum PID parametreleri ile sistem çıkışı ve kontrol sinyalindeki değişimler

Yapılan deneysel çalışmada, seçilen uygunluk fonksiyonlarının iterasyon sayılarına göre değişimi Şekil 4’te verilmiştir.





Şekil 4. Uygunluk fonksiyonundaki değişimler

## 4. Sonuç

Bu çalışmada, optimum PID parametrelerinin aranması için su döngüsü algoritması kullanılmıştır. Her bir parametre için farklı yapıda uygunluk fonksiyonları, literatürde sıklıkla kullanılanlar arasından parametrelerin özelliklerine uygun olanlar seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, az sayıda yağmur damlası ve iterasyon sayısı ile başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bulunan parametreler ile sistem çalıştırıldığında kalıcı durum hatası gözlenmezken çıkışta aşım da oluşmamıştır. Sistem çıkışı 50ms'den kısa sürede referans değerinin %95'ine ulaşmıştır. Bununla beraber, gürültülü olan sistem çıkışında kullanılan türev parametresi, gerçek sistemlerdeki kontrol uygulamalarında aşırı genlikli kontrol sinyali oluşturmasından dolayı ihmal edilirken, burada ortaya çıkan sonuç kontrol sinyalinin yeterli genlikle sitem çıkışındaki gürültüyü karşılayacak düzeydedir. Bu sonucun çıkmasındaki en önemli rolü türev parametresi için seçilen uygunluk fonksiyonudur.

Sonuç olarak, özelleştirilmiş uygunluk fonksiyonu su döngüsü algoritması, az sayıda iterasyon ile başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yönü ile gerçek sistemlerin optimizasyonunda daha hızlı sonuç alınabilecek bir gelişme ortaya konmuştur.

## Kaynakça

- [1] Fister Jr, I., Yang, X. S., Fister, I., Brest, J. ve Fister, D. A brief review of nature-inspired algorithms for optimization. arXiv:1307.4186., Temmuz 2013
- [2] Eskandar, H., Sadollah, A., Bahreininejad, A. ve Hamdi, M. Water cycle algorithm—A novel metaheuristic optimization method for solving constrained engineering optimization problems. *Computers & Structures*, vol. 110, pp. 151-166, 2012.
- [3] Gidemem, G. ve Furat, M. Parçacık değıştirmeli PSO algoritması - PID denetleyici optimizasyonu Üzerine uygulaması. *2017 (IDAP)* (pp. 1-6). IEEE., Eylül 2017, Malatya, Türkiye.
- [4] Chatterjee, S., Kamboj, V. K. ve Jangid, B. PID Plus Second Order Derivative Controller for Automatic Voltage Regulator Using Linear Quadratic Regulator. *In AI Techniques for Reliability Prediction for Electronic Components*, pp. 262-287. IGI Global, 2020.
- [5] Kumar, A. ve Sharma, R. A Nature Inspired PID like Fuzzy Knowledge-Based Fractional-Order Controller for Optimization. *In Computational Network Application Tools for Performance Management*, vol. 73, pp. 17-28. Springer, Singapore, 2020.
- [6] Hekimoğlu, B. Robust fractional order PID stabilizer design for multi-machine power system using grasshopper optimization algorithm. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol.35(1), 165-180, 2020.
- [7] Gong, C. Dynamic Search Fireworks Algorithm with Adaptive Parameters.” *International Journal of Ambient Computing and Intelligence (IJACI)*, vol.11(1), 115-135, 2020.
- [8] Edaris, Z. L. Performance comparison of PID tuning by using ziegler-nichols and particle swarm optimization approaches in a water control system. *Journal of Information and Communication Technology*, vol.15(1), pp.203-224, 2020.
- [9] Furat, M. ve Gidemem, G. PSO ile PID Parametrelerinin Optimizasyonunda Uygunluk Fonksiyonu Seçiminin Tekrarlama Sayısına Etkisi, *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, TOK'2016*, 29 Eylül - 1 Ekim 2016, Eskişehir.
- [10]Furat, M.ve Eker, İ. Geliştirilmiş ikinci derece kayan kipli kontrol: teori ve deneysel uygulama. *Mühendis ve Makina*, vol. 57, pp.49-53, 2016.



# Görme Engelliler için Vücutun Okuma Hassasiyetinin Ölçülmesi\*

İlknur Avşar<sup>1</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8987-2136)

<sup>2</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3179-5099)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf44)

**ATIF/REFERENCE:** Avşar, İ., & Furat, M. (2020). Görme Engelliler için Vücutun Okuma Hassasiyetinin Ölçülmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 342-348.

## Öz

Bilindiği gibi görme engelliler ve diğer engelli bireylerin sosyal hayata entegrasyonu yönünde birçok çalışma yapılmakta fakat yapılan çalışmaların birçoğu engelli bireylerin hareket, konfor gibi durumlarını sınırlamaktadır. Özellikle hareket kabiliyeti düşük olan görme engelli bireylerde hareket kabiliyetlerini kısıtlamayacak cihazlar geliştirilmesi ihtiyacı bulunmaktadır. Görme engelli bireylerin sosyal yaşamdaki karşılaştığı sorunları ele alındığında, birçok alanda ciddi gelişmelerin yaşandığı günümüz şartlarında, görme engelli kişilerin yeteri kadar teknolojiye faydalanmayıp, okuma yetenekleri sadece Braille alfabesi ile yazılan metinler ve sayısal ortamdaki metinleri sese çevirebilen teknolojilerden ibarettir. Her iki durumda da mobilitelerinin kısıtlı olması sebebiyle sosyal ortamdan uzak kalmaları büyük sorun teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra, görme engelli bireylerin kullanacağı ve kültürel gelişimine katkıda bulunabilecek nitelikte materyallerin (kitap, dergi, gazete v.b) kısıtlı olması, üretilen materyallerin kullanılan alfabe tekniği nedeniyle ulaşılmasının zor olması veya maliyetinin yüksek olması sorun olmaktadır. Özellikle görme engelli bireylerin hareket kabiliyetlerini kısıtlamadan ve dış ortamdan izole olmadan dijital ortamdaki metinleri daha çok titreşim yoluyla okuma yapabilmesi için, vücutta kişinin çeşitli bölgeleri üzerinde bir çalışma yapılmış olup bu yolla yapacakları okuma hassasiyeti bu çalışmada araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Görme Engelli, Braille, Mobilite, Titreşim ile Okuma

## Reading Sensivity Measurement of the Body for the Visually Impaired

### Abstract

It is well known that many studies are carried out for the integration of visually impaired and other disabled individuals to social life, but many of the studies limit the conditions of disabled individuals such as movement and comfort. There is a need to develop devices that will not limit their mobility especially in individuals with low mobility. Considering the problems faced by visually impaired individuals in social life, in today's conditions where there are serious developments in many areas, visually impaired people do not benefit from enough technology, their reading skills are only the texts written in Braille alphabet and technologies that can translate texts in digital environment into sound. In both cases, because of their limited mobility, their being away from the social environment poses a big problem. In addition, it is a problem that the materials (books, magazines, newspapers, etc.) that are visually impaired and that can contribute to their cultural development are limited, the materials produced are difficult to access due to the alphabet technique used or the cost is high. In order to enable the visually impaired individuals to read the texts in the digital environment more by vibration without restricting their mobility and isolation from the external environment, a study was made on various parts of the body and their reading sensitivity was investigated in this study.

**Keywords:** Visually Impaired, Braille, Mobility, Reading with Vibration

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Görme engelli bireylerin sosyal yaşamdaki karşılaştığı sorunları ele alındığında, birçok alanda ciddi gelişmelerin yaşandığı günümüz şartlarında, görme engelli kişilerin yeteri kadar teknolojiye faydalanmayıp, mobilite problemlerinin kısıtlı olması sebebiyle sosyal ortamlardan uzak kalmaları büyük sorun teşkil etmektedir. Bunun yanı sıra, görme engelli bireylerin kullanacağı ve kültürel gelişimine katkıda bulunabilecek nitelikte materyallerin (kitap, dergi, gazete v.b) kısıtlı olması, üretilen materyallerin kullanılan alfabe tekniği nedeniyle ulaşılabileceği zor olması veya maliyetinin yüksek olması sorun olmaktadır. Bu konu ile ilgili olarak geçmişten günümüze kadar yapılan çalışmalara baktığımızda güncel teknolojilerin, engellilerin hayatını kolaylaştırmak amacıyla farklı yöntemlerle kullanıldığını görülmektedir [1].

Çalışmaya konu olan görme engelliler için geliştirilen yardımcı cihazların yapımında kullanılan malzemeler, amacına göre farklılık göstermektedir. Buna örnek olarak, görme engelli kişilerin önündeki engelleri tespit etmesini kolaylaştırmak amacıyla kamera veya çeşitli sensörler kullanılarak yapılan yardımcı cihazlar literatürde mevcuttur [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10]. Bununla beraber, gideceği güzergahı GPS ile tespit edip engelli kişiyi yönlendiren sistemler de geliştirilmiştir [11]. Kişilerin sosyal hayatları düşünüldüğünde temel ihtiyaçlarını karşılamak için gerekli yetenekleri sağlayacak renk tanıma, fiyat okuma, boyutu ve uzaklığını algılama gibi özellikleri olan cihazlar da gelişen teknolojiye paralel olarak yapılmaktadır [6], [7].

Görme engelli bireylerin okuma yapması için kullanılan en yaygın yöntem Braille alfabesidir. Braille alfabesi tekniği, 6 adet kabartma noktanın insan parmağının bir boğumunun içi gibi küçük bir alanda farklı kombinasyonlar ile harflerin temsiline dayanmaktadır. Kişi bu yolla okuma yapabilmek için düz bir zemin üzerinde Braille alfabe tekniği ile yazılmış metinleri parmak ucu hissiyatını kullanarak harfleri hisseder.

Şu anda teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan diğer bir yöntem ise sayısal ortamdaki metinlerin robotik bir sesle okunmasıdır.

Her iki yöntemde görme engellilerin okumasında kolaylık sağlamasına rağmen önemli bazı sorunları da beraberinde getirmektedir.

Görme engelliler için yapılan çalışmalara bakıldığında, okuma eylemini gerçekleştiren görme engelli kişinin, harfleri algılayamaması, yanlış okuma yapması, his duygusunun körelmiş olması sebebi ile harfleri tanıyamaması gibi problemler sıklıkla yaşandığından, bu tür problemlere yönelik çeşitli çözümler literatürde mevcuttur [12]. Hissiyata dayalı Braille alfabesi ile okumaya alternatif yine hissiyata dayalı farklı bir teknik uygulanacaktır. Literatürde az sayıda bulunan görme engellilerin okumasına yönelik çalışmaların birçoğunda, kabartmaya dayalı harf sistemi sabit bir ekipman ile geliştirilmiştir [13], [14], [15].

Bilimsel gelişmelerden arkeolojik bulgulara, teknolojik faaliyetlerden güncel hayatta yaşanan olaylara kadar birçok alandaki haberlere engeli bulunmayan bireyler rahatlıkla ulaşabilirken, görme engelli bireylerin okuma yaptığı alfabenin farklı olması sebebi ile kendi kültürel gelişimine katkıda bulunabilecek çeşitli materyallere (kitap, dergi vb.) ulaşması oldukça zordur. Bu zorlukların başında Braille alfabesi ile hazırlanmış bu materyallerin çok az ve pahalı olması gelmektedir.

Görme engelli kişinin sosyal hayatta yaşanan gelişmeleri takibi amacıyla geliştirilen ses geri dönüşü olan cihazlar en kolay yöntem olarak bireylere sunulmuştur. Bu cihazların kullanımı bir kulaklık yardımı ile sağlanmaktadır. Bu cihazlar görme engelli bireylerin kullanımı için kolaylıklar sağlasa da kulaklık ile kullanılması durumu kişiyi dış ortamdaki izole etmektedir. Zaten mevcut olan görme engelinin yanı sıra dış ortamda ki sesleri de duyamaması kişiye ayrı bir engel teşkil etmektedir.

Mobilitenin hayatımızda önemli yer kapladığı günümüz şartlarında bu tip çözümler hala engelli kişinin sabit bir durumda bulunmasını gerektirmektedir. Bu olumsuzluk düşünülerek farklı bir bakış açısıyla bu çalışmada geliştirilecek cihazla okunacak metin kişinin hareket kabiliyetini kısıtlamayacak niteliktedir. Her türlü bilgiye erişim ve iletimin kolay olduğu günümüz teknolojisi düşünülerek akıllı cihazlar yardımı ve kablosuz bir iletişim yöntemi ile engelli kişinin okuma yapması sağlanacaktır.

Her ne kadar Braille alfabesi ile görme engellilerin okuma ihtiyaçlarına bir çözüm bulunmuş olsa da bu çözümün verimli olabilmesi için çeşitli koşulların sağlanmış olması gerekmektedir. Bunlar arasında, okunacak metnin kabartma bir form üzerine işlenmiş olması, görme engelli kişinin bunları okuyabilmesi için formun düz bir zeminde kullanılması ve kişinin sabit bir durumda olması gerekmektedir. Ancak mobilitenin önemli bir yere sahip olduğu günümüz şartlarında Braille alfabesi tek başına yeterli değildir. Çünkü engelsiz bir kişi arabada, otobüste, trende rahatlıkla herhangi bir metin okuyabilirken Braille'nin getirdiği kabartma sistemi çözümü uygulama açısından bu gibi yerlerde okuma eyleminin başarısını olumsuz yönde oldukça fazla etkilemektedir.

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı, bu çalışmada görme engelli bireyin hem rahatlıkla okuma yapabilmesi hem de dış çevreden izole olmaması için Braille alfabesi sadece parmak ucundaki boğumları kullanması yerine vücudunun diğer bölümlerini de kullanabilmesi için titreşime karşı hassasiyeti araştırılmıştır. Bu çalışmanın diğer amaçları görme engelli bireyin dış görünümünde olumsuz bir görüntü oluşturmadan okuma yapması ve sayısal ortama aktarılan sınırsız bilgiye ulaşmada kolaylık sağlamasıdır. Bu amaçla vücudun çeşitli bölgelerinin titreşime karşı hassasiyeti geliştirilen modüllerle ölçülmüştür.

Çalışmanın geri kalanında; ikinci bölümde geliştirilen modüller hakkında bilgi ve yöntem verilmiştir. Sonraki bölümde bu yöntem ile yapılan ölçümlerin sonuçları yer almaktadır. Son bölümde de değerlendirme ve ileriki çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

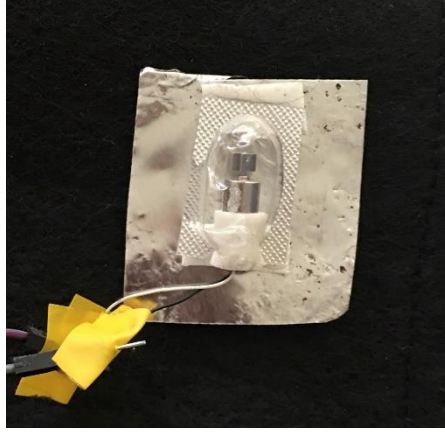
## 2. Materyal ve Metot

Hassasiyetin sorun olmaktan kalkması amacıyla, nokta büyüklüğündeki kabartma sistem yerine her bir nokta için bir titreşim modülü geliştirilmiştir. "Braille modülü" olarak adlandırdığımız bu modüller, titreşim vererek kişinin hissetmesini sağlayacak olan bir

adet titreşim motoru, bu motoru dış etkilere karşı korunmasını sağlayacak motoru çevreleyen modül yuvası ve modül yuvası içerisinde bulunan elemanlara enerji taşıyacak olan kablodan oluşmaktadır.

## **2.1. Braille Modülü**

Braille alfabesi, görme engelli kişilerin okumasına yardımcı olmak için geliştirilmiş bir alfabedir. Braille modülleri, Braille alfabesini herhangi bir elektronik cihazdan sinyal olarak kişinin okuma yapması için titreşim olarak algılaması amacıyla ve harf sinyallerini vücut üzerinde elektronik olarak görüntülemek için geliştirilmiştir. Bu çalışmada bahsedilen Braille modülleri bünyesinde titreşim motoru, koruyucu kapsül, motor enerji kablosu için soket barındırmaktadır ve Şekil 1'de gösterilmiştir.



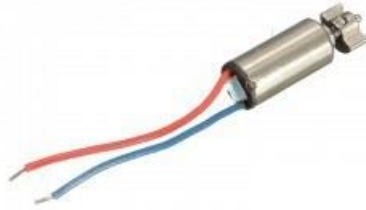
*Şekil 1. Braille titreşim modülü*

## **2.2. Titreşim Motoru**

6.7×14.5mm boyutlarındaki bu titreşim motoru çeşitli telefonların ve titreşim özelliğine sahip ürünlerin de içinde yer alan, mil üzerindeki serbest ağırlık sayesinde dönme esnasında titreşim hareketi yapmaktadır.

Motorlar, 1.7 ile 3.6V arası bir gerilimde çalışabilmektedir. 3V gerilimde yaklaşık 1400rpm dönme hızına ve 1.5g'lik bir titreşim genliğine sahiptir.

Motor uçları kabloludur. Kablo uzunluğu 50mm'dir. Bu çalışmada Arduino karttan gelen sinyale göre kendi özelliklerinde çalışarak görme engelli kişiyi uyarmak amacıyla titremektedir. Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



*Şekil 2. Titreşim motoru*

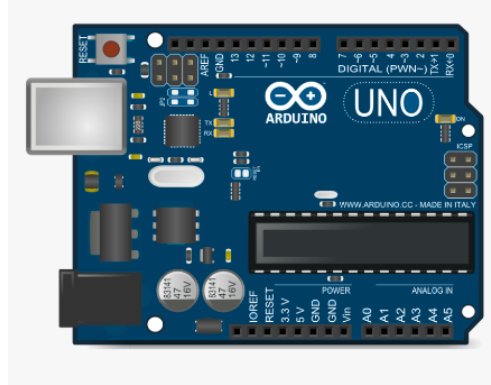
## **2.3 Koruyucu Kapsül**

Koruyucu kapsüller, Braille modülleri içerisindeki titreşim motorlarını korumak amacıyla tasarlanmıştır. Koruyucu kapsülün alt kısmı titreşimi daha fazla hissedilir hale getirmek için metal bir parçadan üst kısmı ise titreşim motorunun rahatça hareket etmesini sağlamak amacı ile bombeli plastik bir parçanın titreşim motorları üzerine yerleştirilmesinden oluşur. Titreşim motorlarının koruyucu kapsüle yerleştirilmiş hali Şekil 1'de gösterilmiştir.

## **2.3 Arduino Kart**

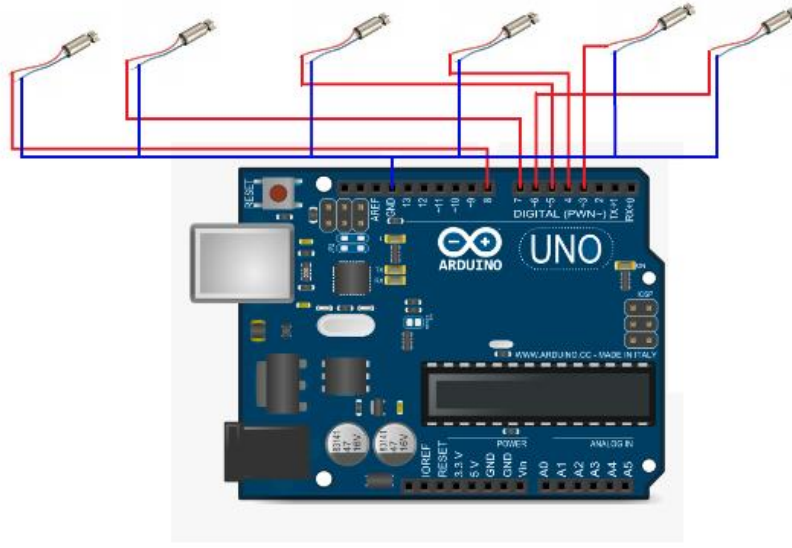


Şekil 1 de görülen titreşim modülünden altı adet hazırlanmıştır. Braille titreşim motorunu istenilen düzende çalıştırılması amacıyla bir Arduino kart kullanılmıştır. Bu kart ile bilgisayardan gönderilen harf sinyali titreşim motorlarına gerekli yazılım ile iletilerek istenilen titreşim elde edilmektedir. Arduino 'nun temel kartı olan arduino uno modeli kullanılmıştır. ATmega328 mikrodenetleyicisi bulunur. 14 Dijital G/Ç Pini, 6 PWM Çıkışı, 6 ADC Girişi vardır. 32 KB Flash hafızaya sahiptir. Şekil 3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Arduino kart

Braille modülleri Arduino kart üzerinde bulunan girişlere uygulanan yazılımda ki sıraya göre dizilmişlerdir. Gerekli titreşim motoru gerekli Arduino kart girişine adapte edilerek istenilen braille düzeni oluşturulur. Alfabede bulunan bütün harfler ve sayılar dahil olmak üzere braille harf düzenindeki bütün kombinasyonları oluşturabilecek nitelikte geliştirilmiştir. Braille modüllerinin sinyal girişleri ve besleme yapılacak girişlerinin Arduino üzerinde yerleşimi Şekil 4'de görüldüğü gibidir.



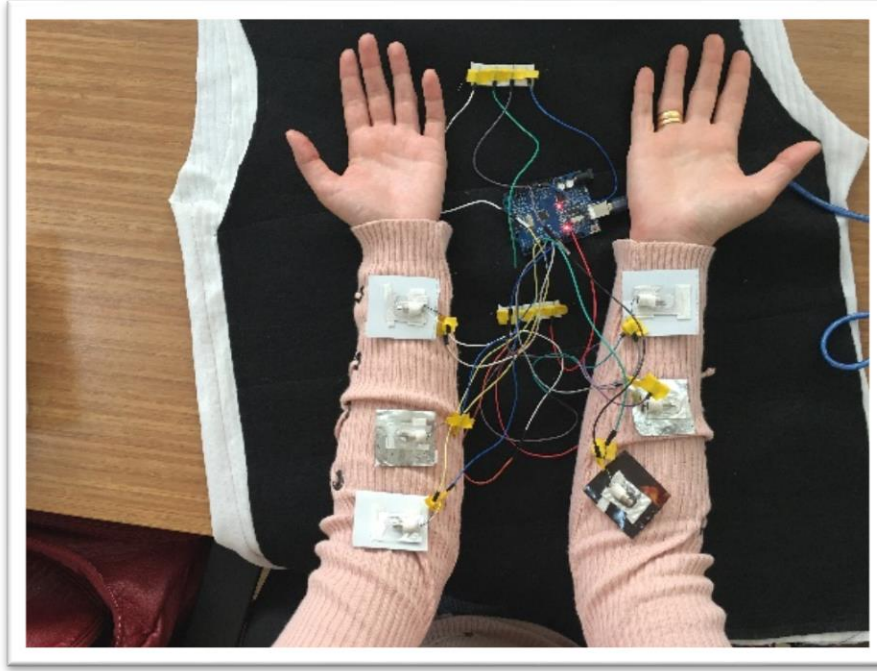
Şekil 4. Arduino kart ile titreşim motorlarının bağlantısı

Şekil 4'de görüldüğü üzere kırmızı ile ifade edilen çizgiler Arduino'dan titreşim motoruna biginin iletimini sağlayacak girişler olup herbir titreşim motoru için tekrar eder. Mavi ile ifade edilen çizgiler ise titreşim motorlarının topraklaması için kullanılmıştır.

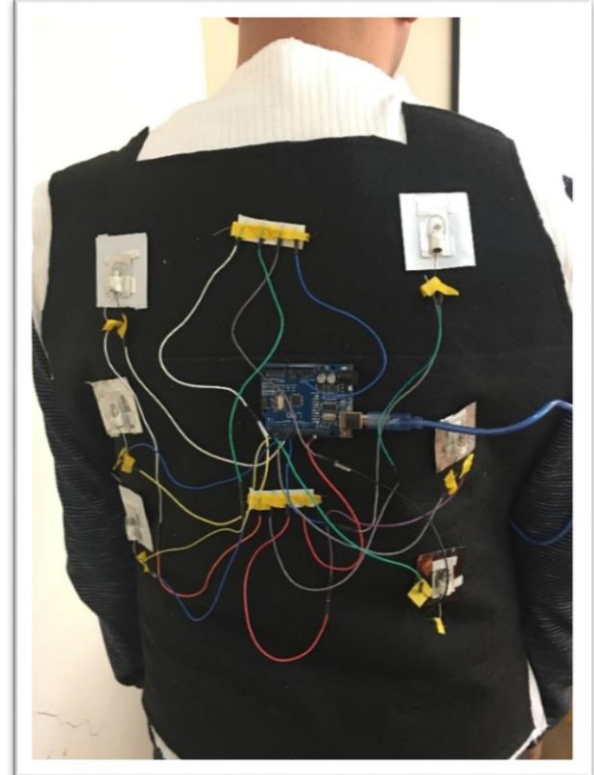
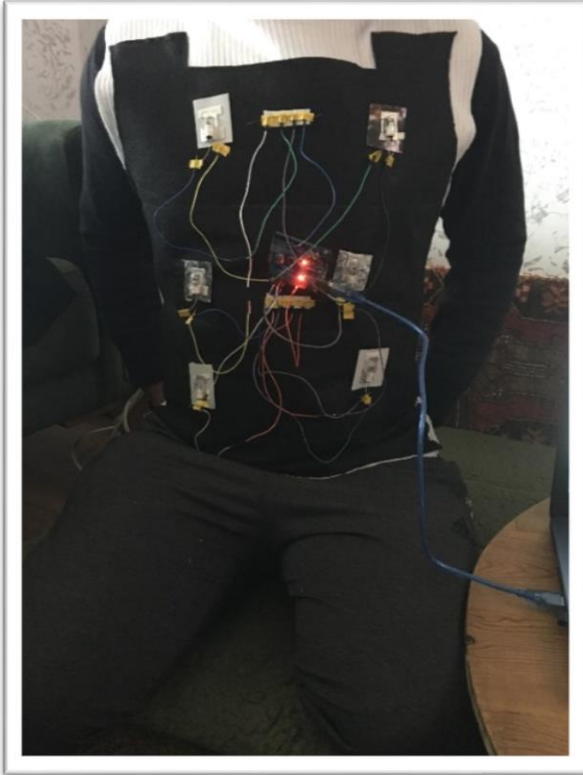
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Braille alfabesi tekniği, 6 adet kabartma noktanın insan parmağının bir boğumunun içi gibi küçük bir alanda farklı kombinasyonlar ile harflerin temsiline dayanmaktadır. Bu yönüyle, parmak yüzeyindeki hissiyatın hassasiyetindeki değişim kişinin okumasını olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden harflerin temsili vücut üzerinde daha büyük bir alana yayılmalıdır. Bununla beraber, noktasal büyüklükteki kabartmaları anlamak için, kişi bütün dikkatini buna vermekte ve bu yüzden de sabit bir şekilde durup kabartma noktaları hissetmeye çalışmaktadır.

Bu çalışmada, Braille harf tekniğinin uygulama alanı vücut üzerinde kolların, göğüs ve sırt bölgesinin hassasiyeti araştırılmıştır. Hassasiyetin sorun olmaktan kalkması amacıyla, nokta büyüklüğündeki kabartma sistem yerine her bir nokta için geliştirilen Braille titreşim modülü kullanılmıştır. Şekil 5'te Braille modüllerinin kollar üzerindeki düzeni görülmektedir. Şekil 6'da ise göğüs ve sırt bölgelerine yapılan yerleşim gösterilmiştir.



*Şekil 5. Kollar üzerinde Braille modülleri*



*Şekil 6. Vücutun göğüs bölgesinde (solda) ve sırt bölgesinde (sağda) Braille modülleri.*

Vücut bölgelerinin hassasiyetinin ölçümünde, Braille alfabesinde birbirinden farklı düzene sahip harflerden “A”, “B”, “J” ve “K” harfleri seçilmiştir. Deneysel çalışma için yaşları 25 ve 32 olan biri kadın diğeri erkek ve hiçbir engeli bulunmayan bireyler seçilmiştir. Deneysel çalışmaya katılan bireylerin kol, göğüs ve sırt bölgelerine Braille modülleri yerleştirilmiş ve seçilen harfler için ilgili modüllerin titreşimi sağlanmıştır. Katılımcıların verdikleri yanıtlar doğrultusunda harfleri doğru bilme oranları tespit edilmiş ve Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1 incelendiğinde, kollarında ve sırt bölgesinde yapılan testlerdeki başarı oranının daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni olarak kollarında modüllerin birbirine çok yakın olması ve dolayısıyla hissiyatta doğruluğunun az olması gösterilebilir. Bir diğ

neden olarak da kol ve sırt bölgesinin doku itibariyle kaslı olması söylenebilir. Bunların yanında, göğüs bölgesinde daha fazla doğruluk oranı elde edilmesinin sebebi olarak hem yoğunluk olarak az miktarda kas dokusuna sahip olması hem de modüllerin yerleşimi olarak daha fazla alanın olması gösterilebilir.

Tablo 1. Deneysel çalışma sonuçları

Vücut Bölgesi	Harfler	Hissetme Başarısı
Sırt	<b>A</b> <b>B</b> <b>J</b> <b>K</b>	%25
Göğüs	● ○   ● ○   ○ ●   ● ○ ○ ○   ● ○   ● ●   ○ ○	%75
Kollar	○ ○   ○ ○   ○ ○   ● ○	%25

#### 4. Sonuç

Bu çalışmanın temel amacı görme engelli bireylerin hareket alanını daraltmadan teknoloji ile uyumlu bir okuma sistemi için vücudun titreşime hassasiyetinin ölçülmesidir. Bu amaç için hazırlanan modüller ile vücudun üç farklı bölgesine harfleri temsil eden Braille düzeninde titreşim verilmiş ve kişinin bunları doğru tespit etmedeki başarısı ölçülmüştür. Gerek seçilen vücut bölgeleri gerekse geliştirilen modüller ileriki çalışmalar için bir zemin niteliğinde olup görme engellilerin ihtiyaçları doğrultusunda tasarlanmış Braille alfabesi ile okuma yapabileceği, ulaşılabileceği ve taşınması kolay, ucuz ve fiziksel görüntüsünde olumsuzluğa sebep olmayan bir cihaz geliştirilmesine yöneliktir.

Böylece engelli bireyin mobilitesini kısıtlamadan kişisel gelişimine katkıda bulunabilmek, görme engelli kişilerin okuma konusundaki sorunlarına çözüm üretebilmek, ilgili alfabenin teknolojiye adapte olmasıyla, akıllı cihazlarla birlikte kullanılması gibi, dijital ortamdaki verilere kolayca erişebilmesi ve bu sayede kişiyi sosyal ortamdan uzaklaştırmadan sorunlarının çözümüne katkı sağlanacaktır. Bundan sonra, geliştirilen düzeneğin akıllı cihazlar ile kablosuz haberleşmesi üzerinde çalışılıp görme engelli bireyleri sayısal ortamdaki metinlere ulaşması için alternatif bir çözüm üretilecektir. Hedeflenen sistem için patent başvurusu yapılmıştır [16].

#### Kaynakça

- [1] Elmannai, W., & Elleithy, K. (2017). Sensor-based assistive devices for visually-impaired people: Current status, challenges, and future directions. *Sensors*, 17(3), 565.
- [2] Ahmad, F., Ishaq, I., Ali, D., & Riaz, M. F. (2016, December). Bionic Kinect device to assist visually impaired people by haptic and voice feedback. In 2016 International Conference on Bio-engineering for Smart Technologies (BioSMART) (pp. 1-4). IEEE.
- [3] Joseph, S. L., Xiao, J., Zhang, X., Chawda, B., Narang, K., Rajput, N., ... & Subramaniam, L. V. (2015). Being aware of the world: Toward using social media to support the blind with navigation. *IEEE transactions on human-machine systems*, 45(3), 399-405.
- [4] Xiao, J., Joseph, S. L., Zhang, X., Li, B., Li, X., & Zhang, J. (2015). An assistive navigation framework for the visually impaired. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 45(5), 635-640.
- [5] Andò, B., Baglio, S., Marletta, V., & Valastro, A. (2015). A haptic solution to assist visually impaired in mobility tasks. *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, 45(5), 641-646.
- [6] Kumar, K., Champaty, B., Uvanesh, K., Chachan, R., Pal, K., & Anis, A. (2014, July). Development of an ultrasonic cane as a navigation aid for the blind people. In 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Communication and Computational Technologies (ICCICCT) (pp. 475-479). IEEE.
- [7] Battaglia, F., & Iannizzotto, G. (2012). An open architecture to develop a handheld device for helping visually impaired people. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3), 1086-1093.
- [8] El-Koka, A., Hwang, G. H., & Kang, D. K. (2012, February). Advanced electronics based smart mobility aid for the visually impaired society. In 2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) (pp. 257-261). IEEE.
- [9] Galeotti, J., Horvath, S., Klatzky, R., Nichol, B., Siegel, M., & Stetten, G. (2008). FingerSight™: fingertip control and haptic sensing of the visual environment. In ACM SIGGRAPH 2008 new tech demos (pp. 1-1).
- [10] Horvath, S., Galeotti, J., Wu, B., Klatzky, R., Siegel, M., & Stetten, G. (2014). FingerSight: Fingertip haptic sensing of the visual environment. *IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine*, 2, 1-9.
- [11] Hirose, M., & Amemiya, T. (2003, June). Wearable finger-braille interface for navigation of deaf-blind in ubiquitous barrier-free space. In Proceedings of the HCI International (Vol. 4, pp. 1417-1421).
- [12] Sarkar, R., Das, S., & Rudrapal, D. (2013, February). A low cost microelectromechanical Braille for blind people to communicate with blind or deaf blind people through SMS subsystem. In 2013 3rd IEEE International Advance Computing Conference (IACC) (pp. 1529-1532). IEEE.
- [13] Eldem, A., & Başçiftçi, F. (2015). Electronic and Computer-Assisted Refreshable Braille Display Developed for Visually Impaired Individuals. *International Journal of Medical, Health, Pharmaceutical and Biomedical Engineering*, 9(1).
- [14] Russomanno, A., O'Modhrain, S., Gillespie, R. B., & Rodger, M. W. (2015). Refreshing refreshable braille displays. *IEEE transactions on haptics*, 8(3), 287-297.

- [15] Culbertson, H., Schorr, S. B., & Okamura, A. M. (2018). Haptics: The present and future of artificial touch sensation. *Annual Review of Control, Robotics, and Autonomous Systems*, 1, 385-409.
- [16] Avşar, İ. and Furat, M. "Görme Engelli Alfabeti Okuma Sistemi," TPE Başvuru no:2019/09429.



# A Roadmap for Digitalization of Industrial Processes\*

Yeliz İleri<sup>1</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Technical University, Institute of Engineering and Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3393-8711)

<sup>2</sup> İskenderun Technical University, Institute of Engineering and Sciences, Electrical and Electronics Engineering, Hatay, Türkiye (ORCID: 0000-0003-3179-5099)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf45)

**ATIF/REFERENCE:** İleri, Y., & Furat, M. (2020). A Roadmap for Digitalization of Industrial Processes. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 349-357.

## Abstract

Migrating the industry and society into digital area have gradually been increased in recent years. Digitalization has made our life more efficient and faster. As a result of digitalization, the Fourth Industrial Revolution, also known as Industry 4.0, was born. The Fourth Industrial Revolution, like previous revolutions, aims to facilitate life and improve the quality of life. Two terms are especially important for digitalization. These terms are Industry 4.0 and Internet of Things (IoT). Industry 4.0 and the IoT focus on the networking and automation of devices both used human being and industry. Digitalization and IoT technologies play an important role in improving energy efficiency. Digital twin (DT) technology is one of the most important key of Industry 4.0 technologies under digitalization. DT represents a digital copy of a physical system or entity. Physical objects and DT models created interact with each other. DT technologies have a wide range from manufacturing to healthcare sectors and from maritime transportation to the heavy industry. DT provides many conveniences for industries to grow with digitalization. Meanwhile, DT draws attention with its development in the academic field. In this study, an overview of DT is presented, a DT roadmap is proposed, some algorithms emerging in the concept of DT for industrial processes are explained and a case study is analyzed. This roadmap shows different methods to be applied in order to make accurate forecasting for the future applications and sustainable manufacturing with DT. As a result, DT concept is thought to attract much attention in the near future.

**Keywords:** Digitalization, Industry, Digital Twin, Energy Efficiency, Forecast Algorithms.

## Endüstriyel Süreçlerin Dijitalleştirilmesi için Yol Haritası

### Öz

Sanayiye ve toplumu dijital alana taşımak son yıllarda giderek artmıştır. Dijitalleşme, yaşamımızı daha verimli ve hızlı hale getirmiştir. Dijitalleşmenin bir sonucu olarak, Endüstri 4.0 olarak da bilinen dördüncü sanayi devrimi doğdu. Dördüncü Sanayi Devrimi de önceki devrimler gibi, yaşamı kolaylaştırmayı ve yaşam kalitesini arttırmayı amaçlar. Dijitalleşme için iki terim özellikle önemlidir. Bu terimler Endüstri 4.0 ve Nesnelerin İnterneti (IoT) 'dir. Endüstri 4.0 ve IoT, hem insan hem de endüstri kullanılan cihazların ağ ve otomasyonuna odaklanmaktadır. Dijitalleşme ve IoT teknolojileri, enerji verimliliğini arttırmada önemli bir rol oynamaktadır. Dijital ikiz (DT) teknolojisi, dijitalleşme altındaki Endüstri 4.0 teknolojilerinin en önemli anahtarlarından biridir. DT, fiziksel bir sistemin veya varlığın dijital bir kopyasını temsil eder. Oluşturulan fiziksel nesnelere ve DT modelleri birbirleriyle etkileşime girer. DT teknolojileri imalattan sağlık sektörlerine ve deniz taşımacılığından ağır sanayiye kadar geniş bir yelpazeye sahiptir. DT, endüstrilerin dijitalleşme ile büyümesi için birçok kolaylık sağlıyor. Öte yandan DT, akademik alandaki gelişimi ile de dikkat çekmektedir. Bu çalışmada DT'ye genel bir bakış sunulmuş, bir DT yol haritası önerilmiş, endüstri süreçleri için DT kavramında ortaya çıkan bazı algoritmalar açıklanmış ve örnek bir olay analiz edilmiştir. Bu yol haritası, gelecekteki uygulamaları ve DT ile sürdürülebilir üretim için doğru tahmin yapmak amacıyla uygulanacak farklı yöntemleri göstermektedir. Sonuç olarak, DT kavramının yakın gelecekte çok fazla dikkat çekeceği düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dijitalleşme, Endüstri, Dijital İkiz, Enerji Verimliliği, Tahmin Algoritmaları.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.



## 1. Introduction

The digitalization paradigm, which is thought to have important contributions to the future, has taken important roles in all areas of human activities. When it comes to commercial activities, digitization becomes a personification for the concept of Industry 4.0 [1]. The concept of Industry 4.0 represents organization of the entire process in the manufacturing industry and the further development stage in management [2].

Fig. 1 shows the development of the four Industrial Revolutions. The First Industrial Revolution, follows introduction of mechanical production facilities operating with water and steam. The Second Industrial Revolution, follows introduction of electrical production assembly lines using electrical energy. The Third Industrial Revolution, provides automated production using electronics, Information Technology (IT) system and robotik. By digitizing the products that are the result of the Third Industrial Revolution, the Fourth Industrial Revolution takes place. The Fourth Industrial Revolution such as big data technology, artificial intelligence, cloud technology, machine learning, robotics and 3D printing, is rapidly changing the way people live.

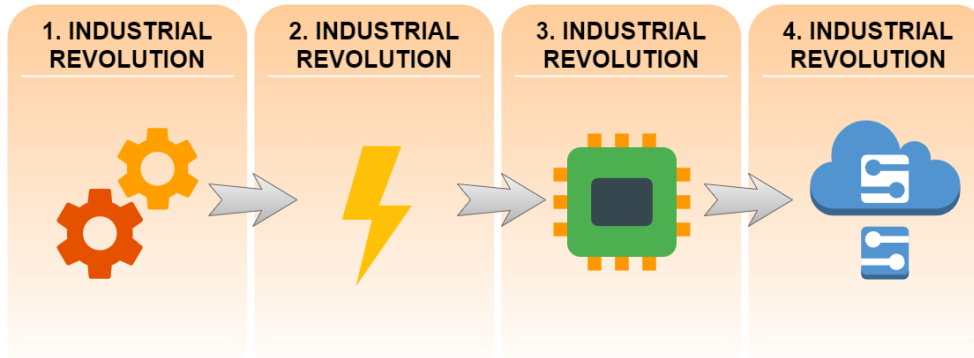


Fig. 1 Development of Four Industrial Revolutions

Digitalization accelerates the implementation of virtual product models at all stages of product creation by digitizing production [3]. In 2002, Michael Grieves was first introduced the concept of DT [4]. The National Aeronautics and Space Administration (NASA) formalized the definition of DT in 2012. In the literature, DT is defined as a multiphysics, multi-scale, probabilistic, ultra-fidelity simulation of a physical system that reflects on time using the system based on real-time data, sensor, historical data and physical model [5].

Digitalization was furthermore selected as one of Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017 [6]. By 2021, Gartner predicts that many of the large industrial companies will use DTs for detect malfunctions and evaluate system performance and predicts that these companies will achieve a 10% improvement in their efficiency [7].

The DT is an integrated model of an as-built product, as it reflects all manufacturing faults and is constantly updated to include ongoing wear and tear during use [8]. Another definition for the DT can be defined as digital model created with data from sensors of a physical object that simulates the object in a living environment. [4].

By establishing bridges between physical and virtual assets, DTs enable realization of systems or devices by taking real-time data and identifying problems in advance, making timely analyzes, processing necessary steps and planning new developments. DT technologies have a positive effect on analysis and test costs as they provide early information about the system or device.

DTs combine data in the physical and virtual environment throughout the product life cycle. Throughout the production of a product, DTs collect data using sensors in the physical environment. In other words, DTs are used throughout the product life cycle to simulate, analyze and improve performance the product and production system without any processing on assets in the physical environment. By definition, DT develops using this data and updates itself continuously. In this way, it helps us to see and analyze the problems we will encounter in the physical environment more quickly in the virtual environment. It also allows to optimize production at very low cost. The stages of the DT in the product life cycle are: product design, production and performance.

In product design, DTs design new products to use them more efficiently. DTs analyze the performance of products in a virtual environment and show how products behave in a physical environment. In this way, the quality of the manufactured product increases, the development time and costs decrease and also it helps us to get a faster response about the product.

DTs have a significant impact on production. DTs test the suitability of conditions for production before going into production. With the positive effect of DTs in production, evaluation and optimization can be made in a plant or company without stopping production. By creating DTs of the equipment used in the production process, performance can be further increased. Using DTs, it can be predicted when the maintenance time will come. Therefore, more efficient and faster production processes will be realized. DT can be fine-tuned according to the results in the virtual system without making any changes in the physical system, and more efficient and faster production processes will be realized.

In DTs, performance analyzes the data collected from the products and evaluates the system. With the DT performance is analyzed, product and production system efficiency are increased and new business opportunities can be caught.

The relation of DT and its physical system is illustrated in Fig. 2. In the physical system, data from sensors, controllers, and actuators are collected and sent to the virtual system. In the virtual system, it is analyzed and gives us the output information.

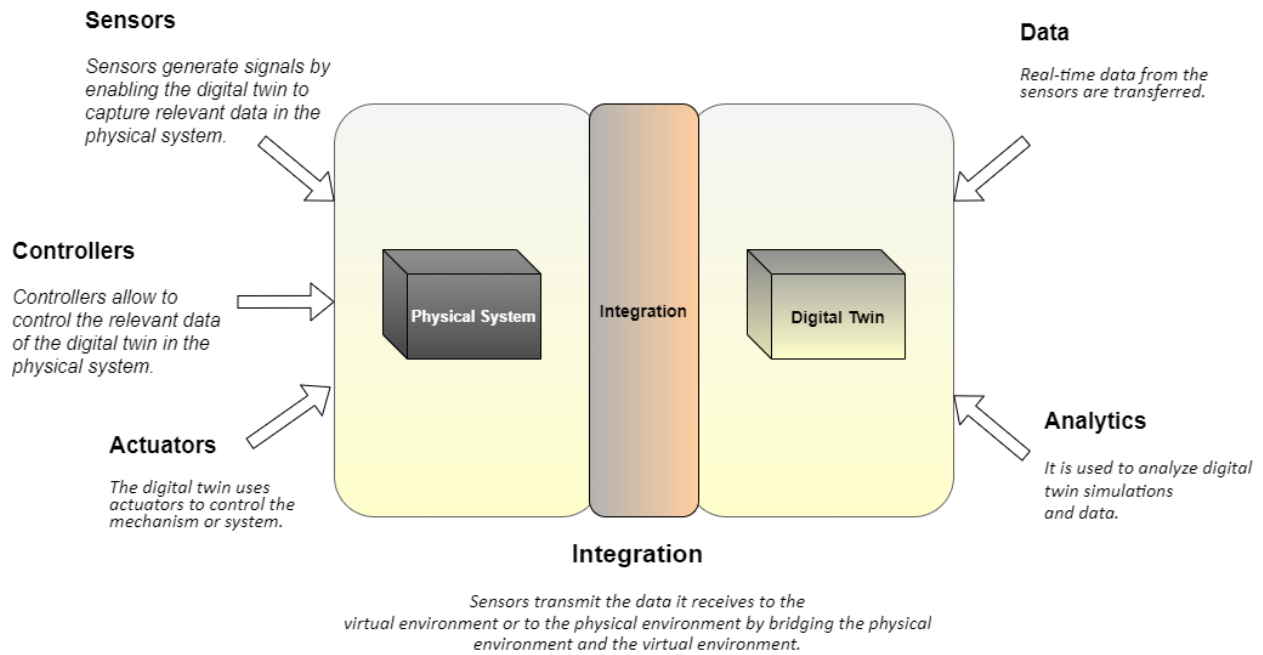


Fig. 2 Physical System and Digital Twin

Construction of a DT is divided into four stages as shown in Fig. 3. Each stage has a specific purpose and helps answer questions throughout the life cycle of the system. [9].

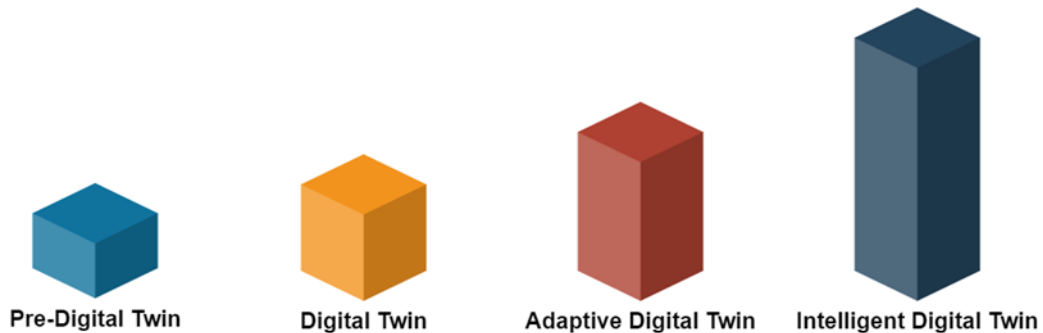


Fig. 3 Digital Twin Stages

**Stage 1: Pre-Digital Twin**

Stage 1 aims to predict the future with its behaviour in the virtual environment without putting a product into production. The first purpose of pre-digital twin is to identify future problems and eliminate risks. That is, a virtual prototype is often used to test the accuracy of decisions in the system and to reduce risks in the design process.

**Stage 2: Digital Twin**

The DT creates a virtual system by taking the data from the physical system. Physical system can use the information in the virtual system. Problems detected in the virtual system are corrected in the physical system and necessary actions are taken.

**Stage 3: Adaptive Digital Twin**

At this stage, DT uses an interface adaptively. Which provides that it enables the operators to examine the preferences and priorities [10].

**Stage 4: Intelligent Digital Twin**

This stage is called intelligent DT. The intelligent DT detects objects and patterns, and is adjusted to examine the system and the state of the situation in cases of suspense and uncompleted observation [10].

Remaining of this study is organized as follows. In section 2, under heading methodology for digitalization; overview of DT is presented, roadmap for DT is explained, the impact of DT on energy efficiency is mentioned, in the other section provides information about the methods that can be applied for the forecast algorithm, a case study on DT of a wind turbine is presented and applications of DT are listed. Finally, conclusion is given are the last section.

## 2. Methodology for Digitalization

### 2.1. Overview of Digital Twin

#### 2.1.1. Digital Twin Data

Data from physical entities obtained from sensors are collected in the real time. The collected data are used to update virtual model of physical system.

#### 2.1.2. Digital Twin Modelling and Simulation

The state of the system is achieved by receiving data in real time and by accessing detection components such as sensors. Submitting the data to the DT model should be compatible with the changes in the DT model's system. The sensors used to digitize the information in the system have a certain detection range and these sensors can provide information about the detected object or environment. This information is collected and transferred to the DT model through data merge. The submitted data is used to simulation of the DT model. Then, DT model is simulated, analysed and necessary operations are performed according to the simulation results of the model.

#### 2.1.3. Services in Digital Twin

Service is an important step of DT. DT provides users with application services such as:

- Monitoring,
- Health management,
- Simulation,
- Diagnosis and prognosis,
- Verification,
- Optimization,
- Prognostic.

Also, some third-party services may be needed during the DT generation process, such as data services, algorithms services, etc. Lastly, DT's operational status requires ongoing support for a variety of services [11].

#### 2.1.4. Connections in Digital Twin

Apart from the static model of a system, there are six interactions between the real system and its DT as shown in Fig. 4 [11,12].

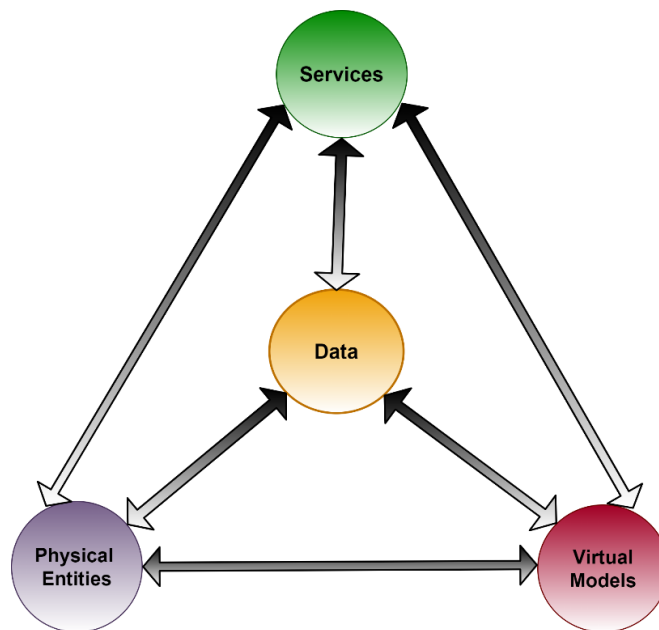


Fig. 4 Interactions of Digital Twin with Real System

## 2.2. Roadmap for Digital Twin

A roadmap for DT is illustrated in Fig. 5. A real-time data acquired from sensors, actuators and controllers of the physical system are collected to represent the system. Data collection is required to monitor the physical system, analysis & tests and also store the data for the future works.

Since the data is received from physical system in real time, it will be used to compare the physical system and its DT. The differences designate the error between them and are used to update the DT. This update procedure is needed to increase accuracy of the DT.

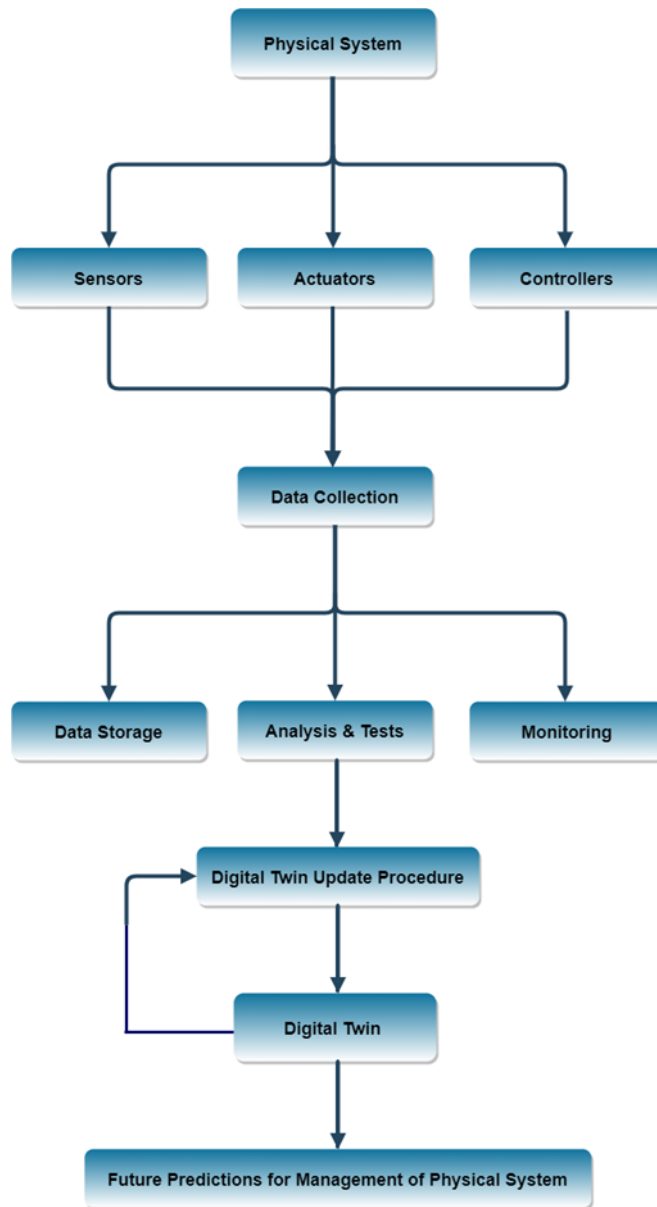


Fig.5 Roadmap for Digital Twin

Unexpected failures can be also included the DT when they occur. After analyzing the failures in the DT of a system, the necessary maintenance can be performed before the failure occurred in the physical system. In this way, it allows you to get healing results for the future.

## 2.3. The Impact of Digital Twin on Energy Efficiency

Digitalization and IoT technologies play an important role in improving energy efficiency. DT, virtual representation of factories or companies, can tracing the efficiency of the systems in the DT first. For example, in factories, maintenance and controls are carried out periodically to ensure the energy efficiency of industrial machines. Known faults are solved and necessary maintenance is performed. In the event of fault, the energy efficiency of the system reduces. By applying DT to the system, the control of machines can be provided much faster. By providing faster control, faults are detected more quickly.

## 2.4. Forecast Algorithms

In the concept of DT of industry processes, emerging algorithms, auto-regressive integrated moving average (ARIMA), exponential smoothing (ES), gated recurrent unit (GRU) and multi-objective sine cosine algorithm (MOSCA) can be used to forecast future behavior of the process output by using past values of that process output information. When a decrease in product efficiency or malfunction occurrence, it should be examined what caused it. Predictive analytics uses statistical models to forecast if there is a problem with existing data on future production equipment. [13]. These statistical models are shown in Fig. 6.

The abbreviation ARIMA is expressed as [14]:

- Auto-Regression (AR): AR is the model that expresses the relationship between an observation and some delayed observations.
- Integrated (I): I allows the subtraction of another observation from one observation in the previous time step.
- Moving Average (MA): A model that uses the dependency between an observation and residual error from a moving average model applied to lagged observations is called MA model.

ARIMA model is a commonly used method to forecasting time series data. ARIMA is an easy but powerful method in time series forecasting. Another approach with the ARIMA model in time series forecasting is ES. ARIMA models define autocorrelations in the data. ES models explain the trends and seasonalities in the data [15]. ARIMA model is divided into two as seasonal and non-seasonal, however before moving on there are two important terms. First term stationary time series, is when the mean and variance are constant over time. So, its features are not time-dependent. It is easier to predict the series is stationary than the non-stationary. The term differencing is the method of converting a non-stationary time series into a stationary time series [16].

If the differencing is combined with AR and a MA model, a non-seasonal ARIMA model is obtained. Stationarity and invertibility conditions are used for AR and MA models. The same conditions apply to the ARIMA model. This model also has the ability to model seasonal data such as non-seasonal data and non-seasonal ARIMA models [15].

Steps of ARIMA model [16]:

Step 1: First step is control of stationarity. If a time series has a trend or seasonal component, it must be done before applying the ARIMA model to forecast.

Step 2: Difference is step 2. If time series is not stationary, it must be stationarized by differencing. Initial difference is taken and then stationarity and seasonal differencing are controlled.

Step 3: Filter out a validation sample is step 3. This is used to validate the model.

Step 4: In step 4, the terms AR and MA are selected. Auto-correlation function plot (ACF) and partial auto-correlation function plots (PACF) are used to decide whether to include an AR term(s), MA term(s), or both.

Step 5: In this step, model is created. The model is created and number of periods to forecast is adjusted according to the need.

Step 6: In the last step, model is validated. The predicted values are compared with the facts in the validation example.

A new bi-directional GRU (BDGRU) method was proposed in named is as deep stacked GRU (DSGRU) model in order to predict wear value of a CNC machine [13]. A new deep heterogeneous GRU (DHGRU) model has been developed for long-term tool wear forecasting with an interlayer to prevent loss of information in model training. Along with the DHGRU model, local feature extraction can find temporary patterns hidden in a sequential mechanical signal [17].

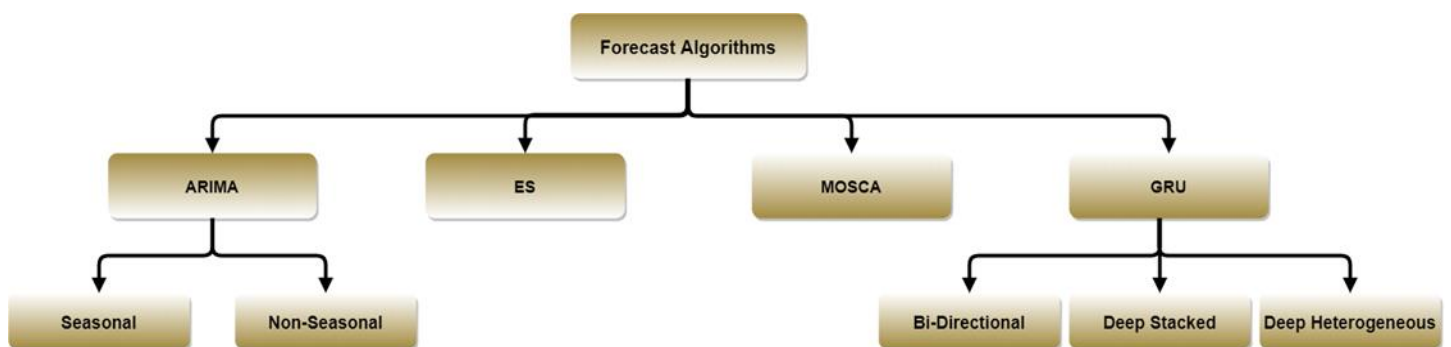


Fig. 6 Forecast Algorithms for Digital Twin Applications

Another forecast algorithm, Multi Objective Sine Cosine Algorithm (MOSCA) has been applied for wind speed forecast [18]. In previous studies for wind speed forecast, data preprocessing has been done and they focused exclusively on improving forecast accuracy. This state causes poor forecasting performance. That's why, in this study, a hybrid forecast system based on the newly developed MOSCA has been developed. This algorithm consists of four modules: data preprocessing module, optimization module, forecasting module, and evaluation module. With these modules, MOSCA has been shown to overcome multi-objective optimization problems. In this study, results show that MOSCA also provides more accurate forecast results.



### 2.5. Case Study: Digital Twin of a Wind Turbine

Electricity production with wind energy has become more efficient with digitalization. With the digitalization of wind turbines, it is aimed to make future predictions to increase energy efficiency and to reduce maintenance costs of wind turbines. Maintenance of wind turbines is costing much. Thanks to these predictions, the entire plant does not need to be disabled in state of maintenance or fault. It also prevents investors from suffering losses. Due to such situations, efficiency is increased by applying DT to wind turbines. DT must be compatible with physical system. Production loss can be minimized and necessary maintenance can be performed when the loss reduces the minimum level.

Fig. 7 shows a roadmap for DT of a wind turbine. In order to get high power efficiency from wind, calculations are performed on real-time data such as wind angle, wind direction, wind speed, Nacelle angle, wind density, temperature, moisture, etc. received from the environment of the system. In order to construct DT of wind turbine, parameters in the following can be used as input of the function that represents DT:

- $f(wa_{i,j})$ : Wind angle,
- $f(wd_{i,j})$ : Wind direction,
- $f(ws_{i,j})$ : Wind speed,
- $f(na_{i,j})$ : Nacelle angle,
- $f(wde_{i,j})$ : Wind density,
- $f(t_{i,j})$ : Temperature,
- $f(m_{i,j})$ : Moisture,
- $j$ : Current year,
- $i$ : Current day of the year  $j$

Estimated power generation can be constructed from the data above in the following:

$$P(x_{i+1,j}) = \text{Forecast} (f(wa_{i,j}), f(wd_{i,j}), f(ws_{i,j}), f(na_{i,j}), f(wde_{i,j}) \dots) \tag{1}$$

where  $P(x_{i+1,j})$  represents forecast of power on the next day of the current year. This equation can be extended for the next month and next year. The algorithms given in Fig. 6 can be used in (1).

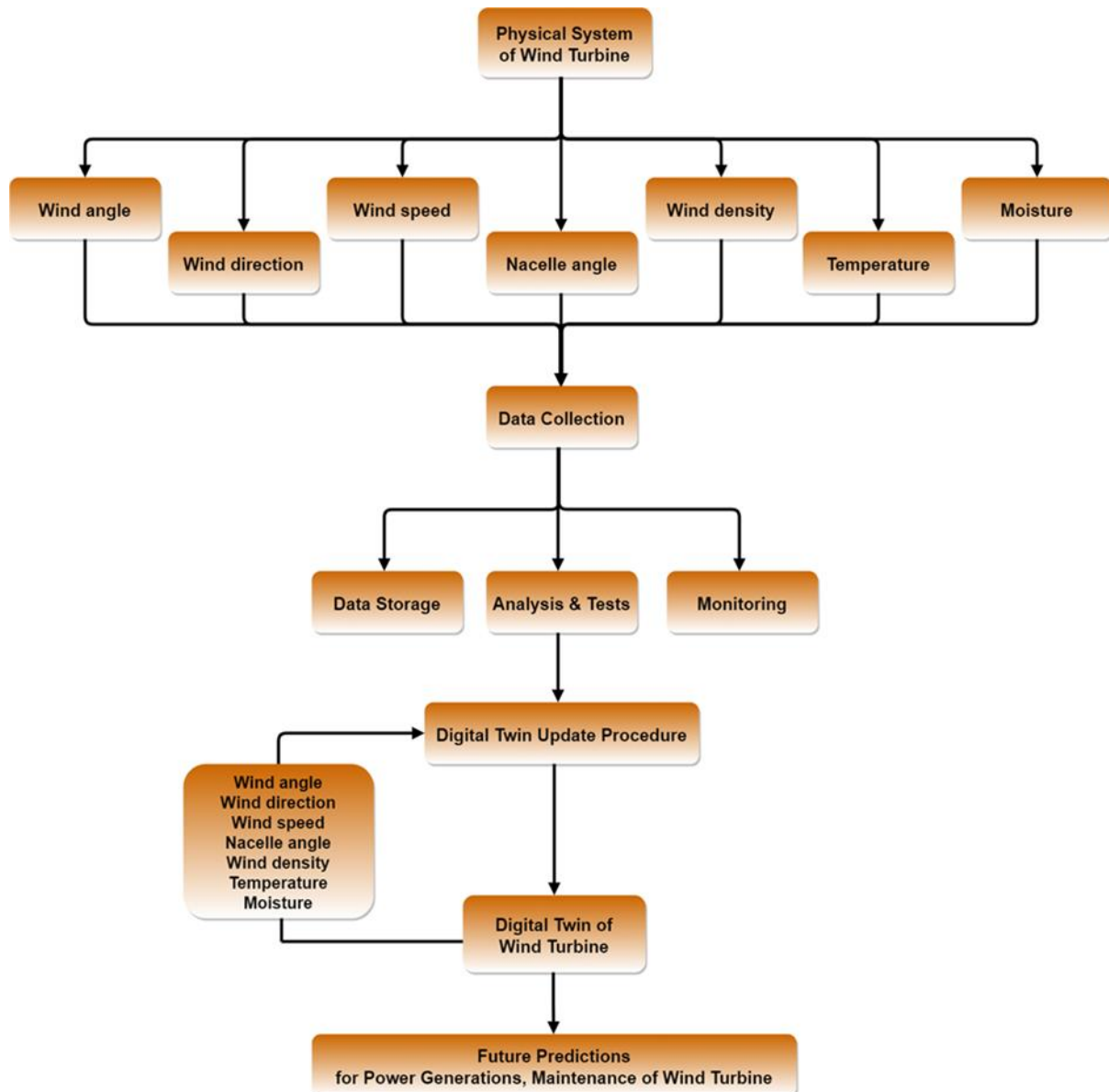


Fig.7 Roadmap for Digital Twin of a Wind Turbine

In the literature, there is a case study for wind speed forecast. MOSCA algorithm developed for wind speed forecast analyzes the performance of the forecast system and shows that forecast system is superior in terms of accuracy than the models in the study. As a result, a new hybrid forecast system based on MOSCA has been shown to work well for wind speed forecast [18].

### 2.6. Applications of Digital Twin

DTs have started to be applied in many different sectors. The main application areas of DTs applied to achieve better performance and improve services are as follows: vessel, manufacturing, electricity, construction, city, healthcare, aerospace, agriculture, automobile etc. As an example of the application of the DT in the literature review; In a study, describes the difficulties encountered by ship system engineers and their solution with the applied DT [19]. In another study, by creating DTs without risking public health or the environment, high quality purified water is provided [22]. Table 1 shows the different application areas of DT. There are many more studies in the literature where the DT is applied to different fields.

Table 1. Different Application Fields of Digital Twin from Literature

Year	Article	Field	Purpose
2019	Ship Smart System Design (S3D) and Digital Twin [19]	Vessel	For ship system engineers, Ship smart system design (S3D) challenges and solutions applied to these challenges.
	Usage of Digital Twin Technologies during System Modeling and Testing in Vessel Traffic Services System Project [20]	Vessel	With the implementation of a new Ship Traffic Services (VTS) software, the Design and Integration of the VTS System is to help simplify checking the applied technical and DTs and overview and interface definitions.
	Optimierung des Baumanagements im Untertagebau mittels digitaler Infrastruktur-Informationsmodelle [21]	Construction	In this article, it is aimed to create an infrastructure information model that includes three sub-models of construction site, building and construction site.
	Digital Twins: The Next Generation of Water Treatment Technology [22]	Smart City	It is aimed to provide high quality purified water without risking public health or the environment.
	A novel wildfire digital-twin framework using interactive wildfire spread simulator [23]	Agriculture	By creating a forest fire DT with a forest fire simulator, it is aimed to predict the forest fire with the detection data collected from the IoT server.
	Application of Digital Twin Concept in Condition Monitoring for DC-DC Converter [24]	Electricity	This article aims to monitor the non-invasive and additional hardware-free DT-based state for DC-DC power converters using applied method.
	HospiTWin: A Predictive Simulation-Based Digital Twin for Patients Pathways in Hospital [25]	Healthcare	In order to improve patient care quality, it is aimed that the patient follows the road data, monitors the patient's behavior and predicts the results of the near future.
	Model-Based Design of Complex Aeronautical Systems Through Digital Twin and Thread Concepts [26]	Aerospace	In this article, the concept of DTs and yarns is presented and it is applied to an aviation case study from the CRYSTAL research project.
2018	Digital twin modeling method for CNC machine tool [27]	Manufacturing	CNC machine tool aims to enable the user to perceive, satisfy and protect without worry.
2017	The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept [28]	Manufacturing	It aims to use resources efficiently with the production structures in the automotive industry and increasing production and planning methods such as DT.

### 3. Conclusion

DT concept and its applications for various aspects gain high attention in the recent years. The concept of DT provides to identify problems, create a virtual system and analyze this system. Especially, technological developments allow us to digitalize all the industrial processes by using the data obtained with sensors. In the present study, a roadmap for realizing DT of industrial processes are explained with a case study. In addition, several applications from the literature are given. Due to the improvements in IoT and big data storage technologies, this concept will have much attentions in the near future.

## References

- [1] Maslarić, M., Nikoličić, S., & Mirčetić, D. (2016). Logistics response to the industry 4.0: the physical internet. *Open engineering*, 6(1).
- [2] Finance, A. T. C. C. (2015). Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies. Finance, Audit Tax Consulting Corporate: Zurich, Swiss.
- [3] Schleich, B., Anwer, N., Mathieu, L., & Wartzack, S. (2017). Shaping the digital twin for design and production engineering. *CIRP Annals*, 66(1), 141-144.
- [4] Grieves, M. (2018). Digital Twin: Manufacturing Excellence through Virtual Factory Replication, Available online: [https://www.researchgate.net/publication/275211047\\_Digital\\_Twin\\_Manufacturing\\_Excellence\\_through\\_Virtual\\_Factory\\_Replication](https://www.researchgate.net/publication/275211047_Digital_Twin_Manufacturing_Excellence_through_Virtual_Factory_Replication)
- [5] Glaessgen, E., & Stargel, D. (2012, April). The digital twin paradigm for future NASA and US Air Force vehicles. In 53<sup>rd</sup> AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC structures, structural dynamics and materials conference 20th AIAA/ASME/AHS adaptive structures conference 14th AIAA (p. 1818).
- [6] Marr, B. What is digital twin technology-and why is it so important? *Forbes*, 6 March 2017.
- [7] Pettey, C. (2017). Prepare for the impact of digital twins. Gartner: Stamford, CT, USA.
- [8] Reid, J. B., & Rhodes, D. H. (2016, March). Digital System Models: An investigation of the non-technical challenges and research needs. In Conference on Systems Engineering Research.
- [9] Madni, A. M., Madni, C. C., & Lucero, S. D. (2019). Leveraging digital twin technology in model-based systems engineering. *Systems*, 7(1), 7.
- [10] Makarov, V. V., Frolov, Y. B., Parshina, I. S., & Ushakova, M. V. (2019, October). The Design Concept of Digital Twin. In 2019 Twelfth International Conference "Management of large-scale system development"(MLSD) (pp. 1-4). IEEE.
- [11] Qi, Q., Tao, F., Hu, T., Anwer, N., Liu, A., Wei, Y., ... & Nee, A. Y. C. (2019). Enabling technologies and tools for digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.10.001>.
- [12] Tao, F., Zhang, M., Liu, Y., & Nee, A. Y. C. (2018). Digital twin driven prognostics and health management for complex equipment. *CIRP Annals*, 67(1), 169-172.
- [13] Qiao, Q., Wang, J., Ye, L., & Gao, R. X. (2019). Digital Twin for Machining Tool Condition Prediction. *Procedia CIRP*, 81, 1388-1393.
- [14] Brownlee, J. (2017). How to create an ARIMA model for time series forecasting with Python. *Machine Learning Mastery*. Saatavissa: <https://machinelearningmastery.com/arima-for-time-series-forecasting-with-python/>. Hakupäivä, 2, 2019.
- [15] Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: principles and practice. OTexts.(Chapter 8), Available online: <https://otexts.com/fpp2/arima.html>
- [16] Time series Forecasting — ARIMA models, <https://towardsdatascience.com/time-series-forecasting-arima-models-7f221e9eee06>, last access: 15 February 2020.
- [17] Wang, J., Yan, J., Li, C., Gao, R. X., & Zhao, R. (2019). Deep heterogeneous GRU model for predictive analytics in smart manufacturing: Application to tool wear prediction. *Computers in Industry*, 111, 1-14.
- [18] Wang, J., Yang, W., Du, P., & Niu, T. (2018). A novel hybrid forecasting system of wind speed based on a newly developed multi-objective sine cosine algorithm. *Energy Conversion and Management*, 163, 134-150.
- [19] Islam, M. M. (2019). Ship Smart System Design (S3D) and Digital Twin, Book Chapter in VFD Challenges for Shipboard Electrical Power System Design, Wiley-IEEE Press.
- [20] Üzümcü, S., Mert, A. A., & Atay, F. (2019, July). Usage of Digital Twin Technologies during System Modeling and Testing in Vessel Traffic Services System Project. In INCOSE International Symposium (Vol. 29, No. 1, pp. 189-202).
- [21] Flora, M., Frösch, G., & Gächter, W. (2020). Optimierung des Baumanagements im Untertagebau mittels digitaler Infrastruktur-Informationsmodelle. *Bautechnik*.
- [22] Curl, J. M., Nading, T., Hegger, K., Barhoumi, A., & Smoczynski, M. (2019). Digital Twins: The Next Generation of Water Treatment Technology. *Journal-American Water Works Association*, 111(12), 44-50.
- [23] Hyeong-su, K., Jin-Woo, K., Yun, S., & Kim, W. T. (2019, July). A novel wildfire digital-twin framework using interactive wildfire spread simulator. In 2019 Eleventh International Conference on Ubiquitous and Future Networks (ICUFN) (pp. 636-638). IEEE.
- [24] Peng, Y., & Wang, H. (2019). Application of Digital Twin Concept in Condition Monitoring for DC-DC Converter. In 2019 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE) (pp. 2199-2204). IEEE.
- [25] Karakra, A., Fontanili, F., Lamine, E., & Lamothe, J. (2019, May). HospiTWin: A Predictive Simulation-Based Digital Twin for Patients Pathways in Hospital. In 2019 IEEE EMBS International Conference on Biomedical & Health Informatics (BHI) (pp. 1-4). IEEE.
- [26] Bachelor, G., Brusa, E., Ferretto, D., & Mitschke, A. (2019). Model-Based Design of Complex Aeronautical Systems Through Digital Twin and Thread Concepts. *IEEE Systems Journal*.
- [27] Luo, W., Hu, T., Zhu, W., & Tao, F. (2018, March). Digital twin modeling method for CNC machine tool. In 2018 IEEE 15th International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC) (pp. 1-4). IEEE.
- [28] Vachálek, J., Bartalský, L., Rovný, O., Šišmišová, D., Morhác, M., & Lokšík, M. (2017, June). The digital twin of an industrial production line within the industry 4.0 concept. In 2017 21st International Conference on Process Control (PC) (pp. 258-262). IEEE.



## Digitalization Roadmap for Turkish Seaports\*

Asiye Özkanlı<sup>1\*</sup>, Berrin Denizhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Industrial Engineering/Engineering Faculty, Sakarya University, Turkey (ORCID: 0000-0003-2186-8987)

<sup>2</sup> Department of Industrial Engineering/Engineering Faculty, Sakarya University, Turkey (ORCID: 0000-0002-0212-0087)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf46)

**ATIF/REFERENCE:** Özkanlı, A. & Denizhan, B. (2020). Digitalization Roadmap for Turkish Seaports. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 358-363.

### Öz

Dijitalleşmenin en etkili ve gerekli uygulama alanlarından biri limanlardır. Bir ülkenin ticari karmaşıklığı, ihracat ve ithalat kapıları olan deniz limanlarındaki işleme kapasitesi ile ölçülür. Deniz limanları dijitalleşme yoluyla çalışma hızlarını ve kapasitelerini artırarak hata oranlarını azaltmaya çalışıyor. Singapur limanı, Rotterdam limanı gibi limanlar, dijitalleşme süreçleri ile limanların daha etkili hale geldiği ve yükleme ve boşaltma işlemlerinin çok daha hızlı olduğu örnekleridir. Türkiye, Seaports alanında muazzam bir potansiyele sahiptir, ancak Seaports'ta yenilikçi teknolojilere yapılan yatırım çok düşüktür. Dijitalleşmenin küresel pazarda rekabet edebilmek ve rekabetçi olabilmenin önemi liman işletmecisine daha açık olacaktır. Bu nedenle bir yönerge gereklidir. Liman için bir yol haritası oluşturulmasına rağmen, Türkiye'nin imalat alanında dijital yol haritaları oluşturulmamış ve verilmemiştir. Bu çalışma, Türkiye'nin deniz limanındaki dijitalleşme sürecine bir yol haritası oluşturacaktır. Bu yol haritasını oluşturmak ve anlamak için dijitalleşme ve Endüstri 4.0 hakkında genel bir anlayış verilecektir. Ayrıca Avrupa Limanlarındaki dijitalleşme süreçleri Hannover limanı ve Rotterdam limanı örnekleri üzerinde analiz edilecektir. Son olarak Türk limanlarında dijitalleşme konusundaki mevcut durumu incelenecek ve en büyük beş limanın kullandığı teknolojiler gösterilecektir. Bölüm 2'deki Materyal ve Yöntem de bu üç önemli konuya değinildikten sonra, 3. kısımda dijitalleşme adımları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstri 4.0, dijitalleşme, Port 4.0, Liman, Roadmap.

## Digitalization Roadmap for Turkish Seaports

### Abstract

One of the most effective and necessary application areas of digitalization is seaports. The commercial sophistication of a country is measured by its processing capacity at sea ports, which are the export and import gates. Sea ports are trying to reduce error rates by increasing their operation speeds and capacities through digitalization. Ports like port of Singapore, port of Rotterdam are examples that through digitalization processes the ports become more effective and the handling of loading and unloading is much faster. Turkey has an enormous potential in the area of Seaports but the investment in innovative technologies at Seaports in very low. The importance of digitalization to become and be competitive on the global market will be more and more clear to the port operator. Because of this a guideline is needed. Digital road maps in the manufacturing area of Turkey despite the creation of a road map for the seaport are not formed and given. This study is a roadmap to the digitalization process in Turkey sea port was created. To create and understand this roadmap a general understanding for digitalization and Industry 4.0 will be given. Also the digitalization processes in Seaports of Europe will be analyzed on the examples of Hannover port and port of Rotterdam. Finally the current situation in Turkish Seaports in regarding to digitalization will be investigated and the technologies of the biggest five ports will be shown. After this three points in section 2. Material and Method, in section 3 digitalization steps are presented.

**Keywords:** Industry 4.0, Digitalization, Port 4.0, Seaport, Roadmap.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Asiye Özkanlı: Department of Industrial Engineering/Engineering Faculty, Sakarya University, Turkey, ORCID: 0000-0000-0000-0000, [asiye.ozkanli@ogr.sakarya.edu.tr](mailto:asiye.ozkanli@ogr.sakarya.edu.tr)

## **1. Introduction**

The advancing globalization and increased availability of innovative technologies result in rapidly changing market requirements. The maritime supply chains are not left unaffected. One solution to these developments is the flexibility of the infrastructures and transport chains. Infrastructures and transport chains are made more flexible through digitalization.

Digitalization has great potential to make maritime transport chains more efficient, flexible and agile and this opens up the possibility for ports to master the challenges posed by globalization, demographic change and urbanization.

With the help of digital solutions, the efficiency of the operation of a single port and its specific transport chains can already be increased, complex processes simplified or energy consumption reduced. In the international environment of the maritime economy, the digital networking of seaports offers additional opportunities to improve efficiency and security along the entire maritime transport chain. Through a targeted exchange of information and data, the ports can develop and use new business models.

The largest ports such as Hamburg and Rotterdam have been investing in digitalization for a long time to be able to call themselves a smart port. This is a must if you want to stay competitive for a long time. Because the future lies in Industry 4.0 and Digitalization is the basic building block of Industry 4.0.

Turkey has enormous potential in the area of the maritime economy because of its geographic location and its infrastructure. In order for this potential to be exploited, timely investment in digitalization must be made. (Birgun et al., 2005, Kia et al., 2000).

The following briefly gives an insight into digitalization and Industry 4.0 and their role and application in the maritime economy in the area of ports. Then the current state of the Turkish ports is shown and what is necessary to achieve digitalization.

In section 2, digitalization and the connection with Industry 4.0 and its impact on the three sectors logistics, maritime and port will be discussed in the following. Then 2.2 shows applications and investments in the context of digitalization in the port, using Hamburg and the port of Rotterdam as examples. Subsequently, section 2.3 first briefly discusses the current situation of Turkish ports. Then the roadmap will be presented. Finally it will be finished with the conclusion.

## **2. Material and Methods**

To create the digitalization roadmap for Turkish ports is the first step a general understanding of Digitalisation and Industry 4.0 and their relationship. For this a shortly overview is given first. After that it is important to see which investments and searching are made in regarding to digitalization of ports in Europe. For this in section 2.2 are examples of Hannover port and port of Rotterdam shown. To create the roadmap is also important to state the actual state of Turkish port. This will be presented in 2.3.

### **2.1. Digitalization and Industry 4.0**

Digitalization and Industry 4.0 are terms that concern business and science, because when implemented correctly they offer enormous opportunities in terms of flexibility and innovative technologies. These in turn increase international competitiveness. Digitalization is seen as a basic prerequisite for the successful implementation of Industry 4.0 (Urban et al., 2016).

The innovative technologies such as Internet of things, cloud computing, machine learning, cyber physical systems etc. are technologies which Industry 4.0 includes. Those technologies enable new ways of communication and intelligent approaches, as well as new business models in the context of increasing market complexity (Saxe et al., 2017).

Here, the use of cyber-physical systems (CPS) is an important point, since objects, devices, production facilities must be made communicable with the use of the Internet of Things and Internet of Services. The connection of people with CPS creates dynamic and independent value creation networks. (Urban et al., 2016, Bertenrath et al., 2016).

The Internet of Things enables communication and cooperation in real time between workers, sensors and applications as future logistics systems (Saxe et al., 2017).

In regarding to the points above it can be said that the focus of "Industry 4.0" is the real-time, intelligent, horizontal and vertical networking of people, machines, objects and information and communication technology systems for the dynamic management of complex systems (BMW, 2015).

Industry 4.0 is becoming mandatory for all areas of the company, particularly in the areas of logistics, ports and the maritime economy. This results in the concepts of Logistics 4.0, Port 4.0 and Maritime 4.0, which are interconnected. Logistics 4.0 describes the connection of processes, objects, supply chain partners and customers using information and communication technologies. Maritime 4.0 refers to shipping and can be used to redesign the supply chains of the maritime industry through Digitalization and networking. Port 4.0 is the digital port of the future, exploiting the specific role of ports as hubs for the physical and information flow within global supply chains and connecting all actors involved (Bichou et al., 2004). Through a value network, digitalization issues such as improved connectivity, autonomous systems, and big data analysis will lead to greater reliability and efficiency (Saxe et al., 2017).

Big data analysis plays an important role in the areas described above. This means the collection and calculation of extensive data sets over time. The enormous data sets offer the possibility to make predictions, such as about delays in arrivals and departures of ships (Saxe et al., 2017). Maintenance can also be planned better by analyzing these data records. These data sets are generated from



multiple sources such as machine controls, sensors, manufacturing systems, people and many other things (Bortolini et al., 2017). Industry 4.0 includes the technologies Internet of Things (IoT), Big Data, Mobile and Augmented Reality, Additive Manufacturing, Cloud and cloud computing, Cyber security (Santos et al., 2017). And like mentioned above digitalization is the main key for Industry 4.0.

## **2.2. Port 4.0**

The importance as an economic success factor has been recognized worldwide and it is invested diligently. The ports of Rotterdam and Hamburg, which are the largest ports in Europe, continuously research and invest in digitalization. Digitalization is being tackled in various areas on the way to the Smart Port. HPA (Hamburg Port Authority) relies on intelligent control systems. Efficiency is increased through the smooth interaction of information, analysis and forecasting techniques, as well as sensor technology. Some of the intelligent solutions presented by the HPA include Navigation in Real Time, Intelligent Railway Point, Smart maintenance and Virtual Depot. Real Time Navigation allows making the traffic in the port more efficient by combining different services and functions, thus offering a personalized navigation system to customers and partners in the port. In short, it enables access to up-to-date information on traffic, parking and infrastructure, as well as bridge closure times. With Intelligent Railway Point, maintenance measures or repairs can be identified at an early stage, thus avoiding downtimes. This is done by collecting information through port railway switches equipped with sensors. (Hamburg-Port, 2019).

In order to make maintenance processes more efficient and effective, measurements are automatically sent to downstream IT systems using mobile devices such as tablets or Smartphone's. This is where the data is processed, saved and processed. The so-called Smart maintenance takes place. Virtual Depot is used so that cloud-based systems can identify which containers should be delivered back to the depot. This means that empty runs are canceled, which in turn also prevents unnecessary pollution of the environment. HPA networks shipping, rail and road traffic with one another through an intermodal PortTrafficCenter. Optimal data acquisition and a fast exchange of information enable logisticians, forwarding agents and agents to choose the most efficient mode of transport for the transport. (Hamburg-Port, 2019, Bertenrath et al., 2016).

The port of Rotterdam is the largest port in Europe and one of the ten largest in Europe (Portofrotterdam, 2019 ). In 2019, 469.4 million tons of goods were handled (Smartport Rotterdam, 2018). To make sure that the port can remain competitive in the future, they have to invest constantly in digitalization. Like noted above, the future lies in digitalization. On the way to the Smart Port, the port of Rotterdam tackled digitalization in various areas. One of the biggest projects is the automation of ship handling in collaboration with IBM. All relevant processes are planned to become digitized by 2025. For this purpose, the port is equipped with sensors. These are intended to continuously collect information on, among other things, ship movements, free berths, water and wind data. A digital twin is to be created with the support of IBMa IoT technologies. The virtual image should increase the efficiency of the processes (Bertenrath et al., 2016). This digital twin allows detect such things like delays, need of maintenance and other things, which can cause problems, before they appear.

Furthermore, the Rotterdam port has developed an intelligent container, the Container42. This was equipped with sensors and communication technology, which allows data on temperature, vibrations, position humidity, etc. to be determined during the trip. This Conrainer42 is also equipped with solar modules to record how much energy a container can generate during transport. This container, which records everything, offers the possibility of an insight into the challenges of transport and logistics. (Horstmann, 2019).

Furthermore, the Port of Rotterdam is working on portals that offer interfaces to other ports in the world. Among other things, these portals should optimize planning and departure and arrival times. The connection between ports is important to optimize the supply chain process. Those interfaces will improve the optimization of these processes.

The ports of Europe have recognized that the future lies in digitalization and are investing in development and research in this area. These both ports, Hannover port and port of Rotterdam are leader in field of Digitalization of ports in Europe.

Because of the importance of digitalization the British Ports Association and the Port of Rotterdam have already drawn up a four-step milestone plan, which broadly represents a signpost for the digitalization and networking of a port (Santos et al., 2017) (Horstmann, 2019). These four stages are as follows.

1. Digitalization of the process participants in the port: Recommendation: Start on a small scale to digitize the processes of the individual participants.
2. Creation of integrated systems in a port community
3. Via a central platform, acquired data enables reliable, efficient and paperless information flows.
4. Integrating the logistics chain with the hinterland

## **2.3. Identification of Actual State**

The actual state of Turkish ports will be identified in this part, before the solution for digitalization of Turkish Sea Ports will be presented.

There are 27 large container ports in Turkey, two are under state management and twenty five are managed by private companies (Balik et al., 2019). The five largest ports are MIP (Mersin International Port), Asya Port, Safi Port Derince, Marport and Kumport. These five container ports of Turkey should be examined in more detail with regard to digitalization.

In their work Balik and his colleagues examined these five ports for digitalization and summarized the digital technologies, which are in use at these ports in the table 1(12). These relevant technologies were taken from their table and shown below. These results were checked again by searching the individual websites of the ports.

Table 1. Used technologies at Turkish Sea ports

Ports	Digital technologies
MIP	customs declaration software, Container and Port tracking system,
Asya Port	automatic identification system, Vessel tracking system, robotics, traffic control system
Safi Port Derince	-
Marport	-
Kumport	-

Like seen in table one only MIP and Asya Port has some technologies like tracking and identification systems, but these are basics. To become and be competitive they have to apply and implement more innovative technologies like sensors for connecting data and information exchange.

The table shows that Turkey's five largest ports still have a long way to go in terms of technology. The possibilities offered by the technologies of Industry 4.0 must be exploited. The ports mentioned here have enormous potential, also due to their geographical location. However, they still have to start investing and doing research to get connected to digitalization.

During searching through the individual websites of these ports there was no information about steps or projects towards digitalization.

Based on the information above the Roadmap will be create and presented. Like seen aboveturkish Seaports does nothing in the area of digitalization and because there is a need to use digitized technologies we came to the following result.

### 3. Roadmap for Turkish seaports

Turkey has to invest in digitalization in the area of its ports, as seen above, hardly anything has happened in this area to date. Since digitalization cannot take place all at once, a plan must be drawn up how this can be achieved step by step. Building on the four-step milestone plan of British Ports Association and the Port of Rotterdam which is shown in section 2.2, a detailed roadmap for the Turkish ports is presented.

In the first step, before the digitalization process can begin, the current status of the ports must first be determined. That means to identify which technologies are in use, can customer requirements be met and what are the requirements of all users of logistics agents, customs etc.. In the second step, it must be determined which areas or processes will be "digitized" first or where to start. For this the most important processes must be selected and prioritized. In the third step, building on the second step, it must be determined which technologies and investments are necessary to achieve the desired, and to find out who can provide these technologies and how much the investment will be. In this step the use of the Internet of Things is a must. Applications that can be used via Smartphone's, tablets, etc. must be created here. In parallel to the second and third steps, the advantages of these decisions are to be determined. The fourth step is implementation and application. Here is an important point to train and educate the staff in regarding to the new technologies. It can and will be necessary to build a new department are adjust extern experts for application and using of those technologies.

It is also important to consider the connection of the partners from the second to the fourth step. The connection means that, for example, customers, partners can use the technologies used or the data determined by them to optimize processes in order to optimize processes. Interfaces must be built for connection. These steps can be seen in Figure 1.

Let's take a closer look at the roadmap using an example. There are many processes in the port, but the information flow and processing time for loading should be considered here. The arrival time of the ship is important so that the ships can be loaded. This depends on many parameters. In order to be able to make correct forecasts, the collection and evaluation of data is necessary and this is where big data comes into play. These can be collected by sensors and information via tracking systems. The organization of the loading is also important with regard to the trucks, their arrival, waiting time and sequence must be determined and optimized. Relevant technologies are determined here, in addition to Big Data smart applications with which the truck driver can use his Smartphone to track when he needs to be where. Weather conditions also play an important role here, which can be detected by sensors and transmitted.

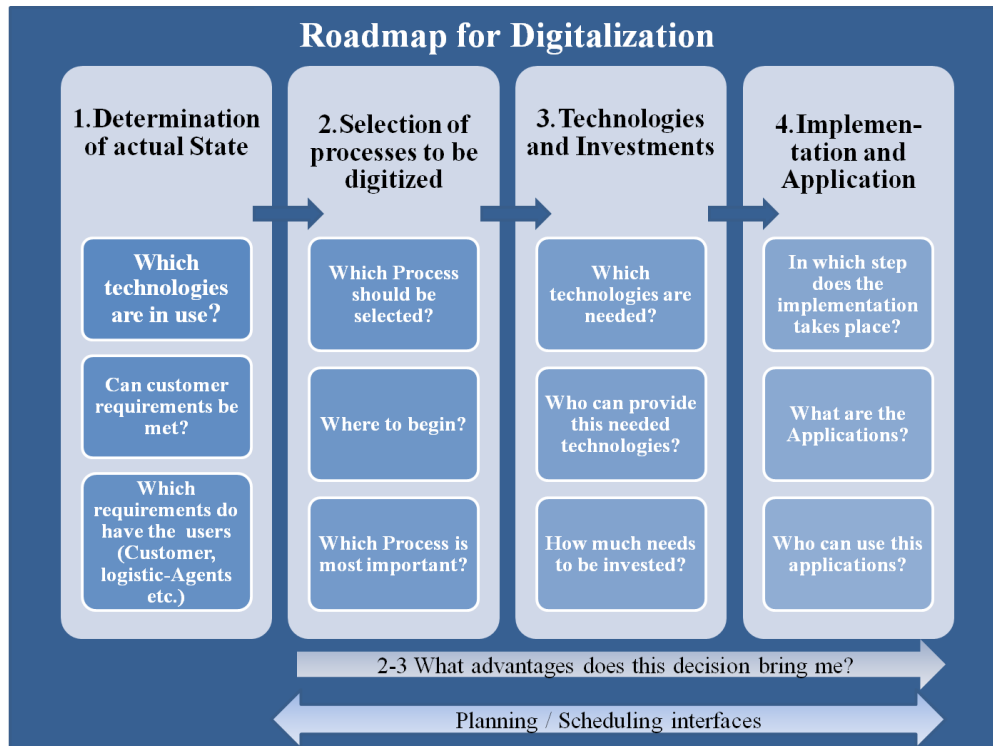


Figure 1. Roadmap for Digitalisation

The process of loading shows that sensors, applications for tracking, navigation are necessary. These applications work with the Internet of Things. So you should also deal with the Internet of Things.

After determining which technologies and applications are necessary, the investment in development begins. Finally, the implementation and application takes place.

Finally, it should be noted that there is a close need for cooperation with external technology partners and one of the most important things is to create interfaces, so extern partner and ports can connect with your port to exchange data to improve and optimiye the whole supply chain.

## 4. Conclusion

The ports in Turkey still have a long way to go in terms of digitalization. However, it is not too late to get the connection. When the ports begin to analyse their current state and divide their processes and procedures with regard to digitalization. You can identify your weak points and thus start investing step by step towards digitalization.

For the first application of this Roadmap is recommended to choose a port which is new built, because such a new port gives the opportunity to apply new technologies and changes in infrastructure easier. Because most things are not established so it is easier to create the infrastructure for new technologies and educate the port stuff in regarding to operating and handling the new technologies.

Turkey is still in its infancy in the area of the maritime economy, but you can use the road map presented here to start the digitalization process in the area of ports. In this field is a lot which needs to be analysed. But with thos Roadmad the first step to Digitalisation in the area of Sea ports will be given, which can be used from everyone.

## REFERENCES

- Balik, A., Aydın S.Z., Bitiktas F., (2019). Limanlarda dijitalleşme: çevrim içi medyadan yansımalar, *IV. Ulusal Liman kongresi küresel eğilimler-yerel stratejiler*. İzmir, S11-13, doi: 10.18872/0.2019.0.
- Bertenrath, R., Klös, H.-P. & Stettes, O. (2016). *Digitalisierung, Industrie 4.0, Big Data* (IWReport 24/2016). Abgerufen von [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/293203/IWReport\\_2016\\_24\\_Digitalisierung\\_Industrie\\_4\\_0\\_Big\\_Data.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2016/293203/IWReport_2016_24_Digitalisierung_Industrie_4_0_Big_Data.pdf)
- Birgun S., Akten N., (2005). Relative efficiencies of seaport container terminals: a DEA perspective, *Int. J. Integrated Supply Management*, Vol. 1, No. 4., pp 442-456.
- BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, (2015). *Memorandum der Plattform Industrie 4.0, 2015*, Berlin, <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/memorandum-industrie-4-0,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf.S.2; S.11-12>
- Bortolini M., Ferrari E., Gamberi M., Pilati F., Faccio M. (2017). Assembly system design in the Industry 4.0 era: a General framework, S.3, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 50, Issue 1, Pages 5700-5705, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1121>

- Horstmann, J.P, (2019). Wie digitalisierung im bereich port logistics einzug hält, <https://www.leogistics.com/blog/die-vision-vom-vernetzten-hafen>
- <https://www.hamburg-port-authority.de/de/hpa-360/smartport/> erişim tarihi: December, 2019.
- <https://www.portofrotterdam.com/de/unsere-hafen/fakten-und-zahlen/fakten-und-zahlen-zum-hafen/andere-haefen>
- <https://www.ibm.com/blogs/think/2018/01/smart-port-rotterdam>
- <https://www.portofrotterdam.com/de/nachrichten-und-pressemitteilungen/rotterdam-schickt-hyperintelligenten-container-auf-weltreise>. Rotterdam schickt hyperintelligenten Container auf Weltreise (2019).
- <https://www.lojiport.com/turkiyedeki-22-buyuk-limanin-sahipleri-kim-103929h.htm>
- <https://connect.portofrotterdam.com/portforward-digital-maturity-bpa>
- Kia M., Shayan E., Ghotb F., (2000). The importance of information technology in port terminal operations, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 30 No. 3/4, , pp. 331-344.
- Santos M. Y., Oliveira e Sá J., Andrade C., Lima F. V., Costa E, Costa C., Martinho B., Galvão J., (2017). A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. *International Journal of Information Management* ,Volume 37, Issue 6, December, Pages 750-760.
- Saxe, S., Carlos J. (2017); First Ideas Digitalization of Seaports, Hamburg Port Authority & Fraunhofer CML s. 10-19
- Urban, B., Aehnelt. M., Wanner, M.C., Sender, J., Beuß, F., Eggert, M., (2016). Industrie 4.0 und digitalisierung der wirtschaft: potenziale für mecklenburg-vorpommern, *Fraunhofer-gesellschaft zur förderung der angewandten forschung e.v.*, [https://www.vorpommern-sonnendeck.de/fileadmin/WFGV/PDF/Industrie\\_4.0\\_u.\\_Digitalisierung\\_Potentiale\\_fuer\\_MV.pdf](https://www.vorpommern-sonnendeck.de/fileadmin/WFGV/PDF/Industrie_4.0_u._Digitalisierung_Potentiale_fuer_MV.pdf) pp.6



# Suicide Prediction from Hemogram with Machine Learning\*\*

Berna Arı<sup>1\*\*</sup>, Ali Arı<sup>2</sup>, Abdulkadir Şengür<sup>3</sup>

<sup>1\*</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, (ORCID: 0000-0003-1000-2619)

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Malatya, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5071-6790)

<sup>3</sup> Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ, (ORCID: 0000-0003-1614-2639)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf47)

**ATIF/REFERENCE:** Ari, B., Ari, A., & Sengur, A. (2020). Suicide Prediction from Hemogram with Machine Learning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 364-369.

## Abstract

Suicide; It is a phenomenon that we encounter with different frequencies and methods by hosting social, economic and cultural factors at its base. Adolescence, which is an upper step of childhood, contains complex emotions such as hopelessness, loneliness, and depression in its world, and it is a stage in which the risk of suicide is high. It is of great importance to take necessary measures in neutral and imperceptible ways in terms of adolescence and suicide relationship. Blood, which can be easily taken by experts even in a non-severe illness, appears as numerical data with the parametric values that make up its content in laboratories. The hemogram test showing the measurement of blood parameters is used in the diagnosis of many diseases today. In this study, the relationship between the values obtained as a result of the hemogram test and the possibility of suicide of adolescent individuals were investigated. Leukocyte (WBC), erythrocyte (RBC), basophil (BA), eosinophil (EO), lymphocyte (LY), Monocyte (MO), Neutrophil (NE) and Platelet (PLT) of adolescents who have attempted suicide and whose age and gender are known, blood values of mean platelet volume (MPV) and hemoglobin (HGB) levels were evaluated within the designed system. Complete blood count data of 302 individuals who were healthy and suicidal attempts constituting the dataset were pre-processed and the data that would adversely affect the estimated suicide group were removed from the system by considering the references. While making suicide estimation, the high performance bagging trees and the Support Vector Machines separating the members of the two groups with high accuracy were chosen as a result of the joint study of the classification algorithms. It has been shown that by using 260x13 attribute, the classification results can be obtained with BT and Quadratic SVM and 93.5% accurate predictions can be made with BT. Experts will be able to easily find out how high or at which level this probability is, if the individual has any psychological disorders or if the suicide is suspected.

**Keywords:** Bagged Tree, suicide prediction, hemogram, support vector machines, complete blood count, machine learning

## Makine Öğrenmesi ile Tam Kan Sayımı Değerlerinden İntihar Tahmini

### Öz

İntihar; toplumsal, ekomonik ve kültürel etkenleri tabanında barındararak farklı sıklıklar ve yöntemlerle karşımıza çıkan bir olgudur. Çocukluğun bir üst basamağı olan ergenlik ise ümitsizlik, yalnızlık, depresyon gibi karmaşık duyguları dünyasında barındırmakta olup intihar riskinin yüksek oranda görüldüğü bir evredir. Gerekli tedbirlerin tarafsız ve hissedilmez yollarla alınabilmesi ergenlik ve intihar ilişkisi açısından büyük önem arz etmektedir. Ağır seyretmeyen bir rahatsızlıkta dahi uzmanlar tarafından kolayca alınabilen kan, sonrasında laboratuvarlarda içeriğini oluşturan parametrik değerler ile sayısal veriler olarak karşımıza çıkmaktadır. Kan

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Corresponding Author: Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ



parametrelerinin ölçümünü gösteren hemogram testi, günümüzde birçok hastalığın tanısında kullanılmaktadır. Bu çalışmada hemogram testi sonucunda elde edilen değerler ile ergen bireylerin intihar etme olasılığı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Cinsiyeti ve yaşı bilinen, intihar girişiminde bulunmuş ergenler ile sağlıklı ergenlerin lökosit (WBC), eritrosit (RBC), bazofil (BA), eozinofil (EO), lenfosit (LY), Monosit (MO), Nötrofil (NE) ve Platelet (PLT) sayısı, Ortalama trombosit hacmi (MPV) ve Hemogloblin (HGB) düzeylerine ait kan değerleri tasarlanan sistem içerisinde değerlendirilmiştir. Veri setini oluşturan sağlıklı ve intihar girişiminde bulunmuş 302 kişiye ait tam kan sayımı verileri ön işlemden geçirilerek intihar eden gruba ait tahmini olumsuz etkileyecek veriler referans rakımlar göz önünde bulundurularak sistemden çıkarılmıştır. İntihar tahminini yaparken, sınıflama algoritmalarının ortak çalışması sonucu yüksek başarımları gösteren torbalama ağaçları ve iki grubun üyelerini yüksek doğrulukla ayıran Destek Vektör Makineleri (DVM) seçilmiştir. 260x13 öznitelik kullanılarak Topluluk Ağaçları (TA) ve Kuadratik DVM ile sınıflandırma sonuçları alınarak TA ile %93,5 doğru tahminde bulunulabileceği gösterilmiştir. Uzmanlar, bireyin herhangi bir psikolojik rahatsızlığı görülmesi ya da intihar şüphesi olması durumunda, bu ihtimalin ne kadar yüksek ya da ne düzeyde olduğunu tasarlanan sistem sayesinde kolayca öğrenebilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Torbalama Ağacı, İntihar tahmini, Hemogram, Destek vektör makineleri, Tam kan sayımı, Makine öğrenmesi

## 1. Introduction

Hemogram (complete blood count) tests form the basis for health status analysis, disease diagnosis and effective treatment in individuals. Hemogram Test (CBC); is a laboratory test that provides specific data for the diagnosis of many diseases, especially anemia, infection, inflammation and bleeding disorders (Aslan,2019). As a result of this test; The hematological picture, created by counting and percentage of blood components, provides experts with information about the physiological and systemic state of the body (Aslan,2019).

In the literature, CBC tests have been used together with artificial intelligence to diagnose many diseases recently. In a study examining the effect of biochemistry values in iron deficiency anemia, Artificial Neural Networks (ANN) and k- Nearest Neighbor (k-EYK) were used. In the designed system, hemoglobin (HGB), hematocrit (Hct), mean corpuscular volume, REM data obtained from 50 patients and 50 healthy individuals were assessed using the RBC data and the highest performance was found by ANN (78.31%). (İlslaner and Güven, 2019). Another study analyzing CBC samples made evaluations on five disease predictions with leukemia, inflammatory disease, bacterial or viral infection, HIV infection and anemia with the Support Vector Machines (SVM) (Deepa et al., 2019). Another study on the use of hemogram data from childhood psychiatric patients as an inflammatory marker was tested using artificial intelligence architectures. The accuracy of the system, which was evaluated with the ANN model with Multi-Layer Sensor Network Architecture, was tested with three-layer cross-validation and was calculated as 99% (Ucuz et al., 2019). In another study, the classification performance for the field of immunology, where it was difficult to examine the immune cells without label, was obtained using hemogram data, and with ANN 91.3% classification accuracy was obtained (Gupta et al., 2019). In the study that estimated the chronological age of the individual with CBC data, Deep Neural Networks were used and 81.5% accuracy was achieved within the framework of the ten-year age (Putin et al.,2016). Another study describing the diseases of leukemia, inflammatory, bacterial or viral infection, HIV infection and pernicious anemia with CBC values has developed the weighted k-mean algorithm and evaluated the efficiency of the study with the C-mean and K-average clustering algorithms, and the performance of the weighted k-average algorithm from other algorithms reported that it was better. When related studies are analyzed in a more specific dimension, it is seen that the relationship between psychiatric disorders and CBC test is one of the most frequently researched topics that maintains its popularity. In another study investigating the neutrophil / lymphocyte (NLR) ratio of individuals who attempted suicide, the results were compared with the control group and the increase in NLR value was emphasized in people who attempted suicide (Ayhan et al., 2019).

In this study, it is aimed to estimate the possibility of suicide attempt by looking at individuals' CBC data. In patients with psychiatric problems or suspicions, experts will be assisted in assessing the possibility of suicide by entering the CBC data into the system. CBC values obtained from volunteers in the same age group who attempted suicide and who did not have any physical and mental illness were examined. Data belonging to 260 patients were used by eliminating the data of the individuals who attempted suicide outside the reference value range of the relevant test and those that are thought to limit the forecast. The attribute set was given to the SVM and Ensemble Method (EM) classifiers, and it was concluded that 93.5% accurate predictions can be made with EM.

## 2. Material and Method

### 2.1. Data Acquisition and Feature Extraction

In the designed system, CBC test data obtained from 193 patients, 34 males and 159 females aged between 12-18 years, who were followed up in the pediatric psychiatry clinic of Malatya Turgut Özal Medical Center between 2017 and 2020, were taken only at the level of gender and age without sharing personal information. In the control group, CBC data of 41 male and 68 female volunteers from the same age group without physical and mental history were included in the system. CBC values obtained from the blood taken

from adolescents who attempted suicide by any method, the majority of which were 'medicines', within 6 hours after drug intake were included in the study. The results of 42 individuals with abnormal (well below or much higher than the relevant value) results in the hemogram reference range and values that would adversely affect the forecast were not included in the study. Considering gender, age and blood values, 260x13 attributes obtained were evaluated from the blood values for the purpose of suicide prediction. The values considered in the study are shown in Table 1 and reference ranges for blood values are shown in Table 2 (Cayci et al.,2015).

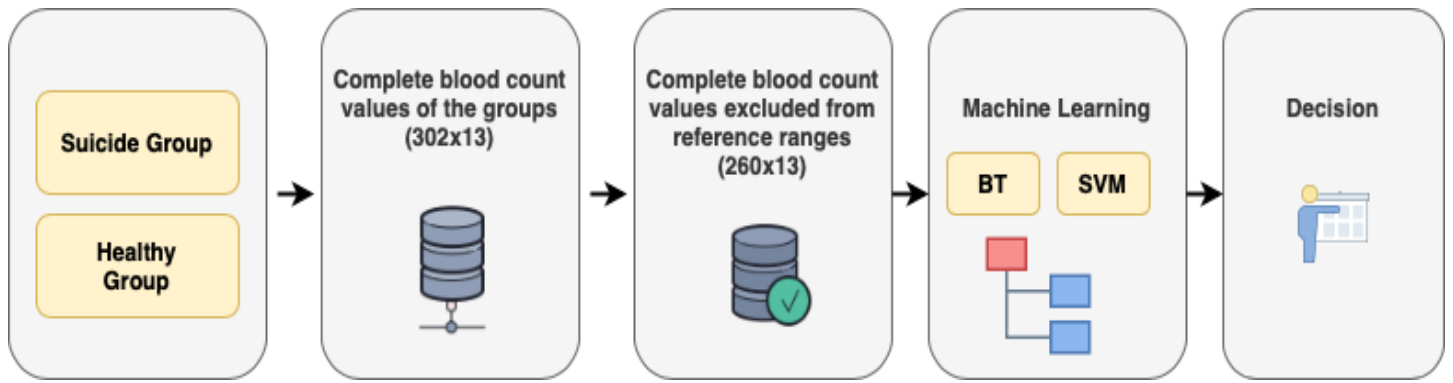
Table 1. Attributes of the designed system

Features
Gender
Age range
WBC (White Blood Cell)
RBC (Red Blood Cell)
HGB (Hemoglobin)
BA (Basophil)
EO (Eosinophil Sayısı)
LY (Lenfosit)
MO (Monosit)
NE (Neutrophil)
MPV (Mean Platelet Volume)
PLT (Platelets)

Table 2. Reference ranges for blood values

	HCT (%)	Hb (g/dL)	RBC (10 <sup>3</sup> /μL)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)	MCV (fL)	WBC (10 <sup>3</sup> /μL)	NEc (10 <sup>3</sup> /μL)	LYc (10 <sup>3</sup> /μL)	MOc (10 <sup>3</sup> /μL)	EOc (10 <sup>3</sup> /μL)	BAc (10 <sup>3</sup> /μL)	PLT (10 <sup>3</sup> /μL)
0-1 gün	42-60	13,5-22,0	3,9-5,5	31-37		98-120	9-30	6-26	2-11	0,4-1,08	0,02-0,85	0-0,6	150-350
1-7 gün	45-67	13,5-22,0	4,0-6,6	31-37	29-37	95-121	9,4-34	5-21	2,0-12,0	0,4-3,1	0-0,9	0-0,6	
1-2 hafta	42-66	13,5-21,5	3,9-6,3	30-37	28-38	88-120	5-21	1,5-10	2,0-17,0	0,2-2,7	0,1-1,1	0-0,3	
2-4 hafta	39-63	12,5-20,5	3,6-6,2	29-36	28-38	86-118	5-20	1-9,5	2,0-17,0	0,7	0,2		
1-2 ay	31-55	10,0-18,0	3-5,4	27-34	29-37	85-117	5-19,5	1-9	2,5-16,5	0,7	0,2		
2-3 ay	28-42	9,0-14,0	2,7-4,9	26-34	30-36	77-115	6-17,5	1-8,5	2,5-16,5	0,6	0,2		
3-6 ay	29-41	9,5-13,5	3,1-4,5	25-34	32-37	74-108	6-17	1-8,5	4,-13,5	0,6	0,3		
6-24 ay	33-39	11,0-13,5	3,7-4,7	23-31	32-38	70-86	5,5-17,5	1-8,5	4-10,5	0-0,9	0-0,7	0-0,2	
2-5 yaş	34-40	11,2-13,5	3,9-4,9	24-30	32-37	75-87	5,5-15,5	1,5-8,5	2-8,0	0-1	0-0,7	0-0,2	
5-8 yaş	35-45	11,4-15,5	4,0-5,0	25-33	32-37	77-95	4,5-15,5	1,5-8,5	1,5-7	0-1,4	0-0,7	0-0,2	
8-12 yaş	36-43	11,6-15,5		26-32	32-37	76-90	4,5-13,5	1,5-8	1,5-6,8	0-0,8	0,06	0-0,2	
12-15 yaş	E:	37-49	12,3-16,0	4,2-5,6	25-34	32-37	77-94	4,5-13,5	1,5-8	1,5-6,5	0-0,8	0,06	0-0,2
	K:	36-46	11,8-15,5	4,0-5,2		32-36	73-95						
15-18 yaş	E:	38-49	12,6-17,0		27-32	32-36	79-95	4,5-13,2	1,8-8	1,2-6,2	0-0,8	0,06	0-0,2
	K:	36-46	12,0-15,5		26-34		78-98						
18 yaş	E:	41-53	13,6-17,5	4,4-5,9	27-34	32-36	80-100	4,5-13,0	1,8-8	1,0-6,1	0,2-0,8	0,05	0-0,2
	K:	36-46	12,0-16,0										
>21 yaş	E:	42-52	14,0-18,0	4,7-6,1	27-34	32-36	87 ± 7	4,8-10,8	1,8-7,7	1,0-4,8	0,3-0,8	0-0,4	0-0,15
	K:	37-47	12,0-16,0	4,2-5,4									130-400
<b>Panik değer:</b>													
Yetişkin	< 21	≤ 6,5					< 1,5	≤ 1					≤ 40
	> 65	> 22					> 35						> 1000
Yenidoğan	< 33	< 9,5											
	> 70	> 22											

Figure 1. Flow chart of the proposed system



## 2.1. Classifiers

### 2.1.1. Ensemble Methods

The Bagging Tree (BT) classifier, which is the community learning method, is designed to increase the level of success as a result of using collaborative classification algorithms (Tan et al.,2015). Instead of a single learner, a decision tree is created with more than one copy from the main learner and the classifier output is combined with the voting method (Karasu and Saraç, 2018).

Bagging (bootstrap combination) is a collection of decision trees used for regression (Breiman,1996). Community methods use multiple models to achieve better predictive performance by combining many poor learner results into a high-quality community predictor by bagging. Bagging a community of decision trees is a variance reduction technique that aims to improve predictive performance of decision trees. The bagged community power is described as calculating estimates on out-of-bag observations for each tree and averaging over the whole community for each observation. The estimated out-of-bag response is compared to the actual value of each observation. By comparing predicted out-of-bag responses to actual responses for all observations used in education, the average out-of-bag error is estimated. The average error out of this bag is a neutral estimator for the true union error (Breiman, 1996b), (Lupaşcu et al., 2013).

### 2.2.1. Support Vector Machine

SVM is an effective method in which the data is classified by drawing the boundary between the members of the two groups in the plane (Suykens and Vandewalle, 1999). It is advantageous in terms of being applicable to linear and nonlinear data, having high accuracy, modeling ability at complex decision boundaries, and working with many independent variables (Suykens and Vandewalle, 1999), (Ari et al., 2019). SVM decision function; The  $x_i$  i data point,  $x_*$  is a test vector, the  $x_i$  Lagrangian multiplier associated with the training example  $a_i$ , the class (-1 or +1) of the data point  $y_i$  i and the b bias value are defined as follows:

$$f(x_*) = \text{sign}[\sum_{i=1}^N a_i y_i \varphi(x_*, x_i) + b] \quad (1)$$

For the expression of the quadratic (2nd degree) optimization problem, for each  $\{(x_i, y_i)\}$   $\rho$  is the width of the separator between the support vector classes, w is the normal of the multi-plane (weight vector),  $\|w\|$  is the representation of w.

It is maximized by  $\rho = \frac{2}{\|w\|}$  (Hwang et al.,2011).

If  $y_i = 1$ ;  $w^T x_i + b \geq 1$

If  $y_i = -1$ ;  $w^T x_i + b \geq -1$ .

## 3. Experimental Results

On the Matlab software to test the proposed method; EM and SVM classification algorithms are used. A total of 3380 features belonging to the healthy group and the suicide group were given to the classifiers with 5 cross validity. The 5-fold cross validation attributes are divided into 5 groups first and the first group is used to train the system, and the remaining four groups are used to test the mentioned steps, and each group is trained as a training group, and the rest is a test group. Estimation accuracy is given in Table 3 by taking the average of the results.

Table 3. Suicide estimation method and accuracy from blood values

Method	Method Type	Predict accuracy (%)
Ensemble	Bagged Trees	93,5
Support Vektor Machine	Quadratik	91,2

While the system's accuracy was found as the performance evaluation criterion, the complexity matrix of the system was used and the True Positive (TP), True Negative (TN), False Positive (FP), False Negative (FN) metrics were processed (Forbes, 1995). In the study, if the mentioned values are to be explained from the suicide estimate: TP: It is stated that the system has correctly identified the person who committed suicide, FP: The system indicates that a healthy individual has committed suicide, TN: The system has been identified as a healthy individual, and FN has been reported as a healthy diagnosis of the suicidal individual.

**Accuracy:** It is obtained by dividing the correct classification value by the total value (Forbes, 1995).

$$\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} = \frac{143+100}{260} = 0,93 \quad (2)$$

**Sensitivity:** It is the effectiveness of the system in knowing the truth. TP is found by dividing FN and TP values by sum, and this is the degree to which the probability of suicide can be determined (Forbes, 1995).

$$\frac{TP}{TP+FN} = \frac{143}{143+9} = 0,94 \quad (3)$$

**Specificity:** It is found in the system by proportioning the sum of the TN and FP values to the cases with TN, and the real state is to what extent the individuals with other gender are correctly determined (Forbes, 1995).

$$\frac{TN}{TN+FP} = \frac{100}{100+8} = 0,92 \quad (4)$$

In the study, the ROC curve, which enables the diagnosis of suicide status and the performance obtained by controlling the validity status, is given in Figure 2.

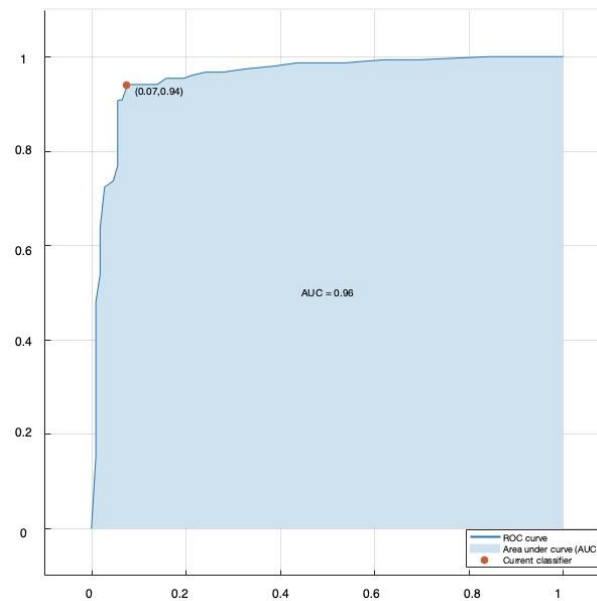


Figure 2. Roc curve (False Positive-Real Positive Ratio)

## 4. Conclusions

In today's world, where psychological disorders increase and result in undesirable conditions such as suicide, it is important to diagnose diseases early and in expert ways. Many of the patients with psychiatric disorders are thinking of attempting suicide and

sometimes doing so. The designed system showed the blood values-suicide relationship with 93.5% success by using BT method which is one of the machine learning approaches. It has been shown that the probability of attempting suicide can be found with an effective method if the individual's blood value measurements are known.

## Reference

- Aslan, R. (2019). Sağlığı Ve Hastalıkları Kan Sayımı Ile Okumak: Hemogram. *Ayrıntı Dergisi*, 7(76).
- İlaslaner, T., & Güven, A. (2019, October). Investigation of the Effects Biochemistry on Iron Deficiency Anemia. In *2019 Medical Technologies Congress (TIPEKNO)* (pp. 1-4). IEEE.
- Deepa, M. N., Gunasekaran, S., Elakiya, R., Haritha, U., Kaleeswari, N., & Purnima, P. Integration of SVM with Artificial Fish Swarm Algorithm for Blood Tumour Prediction.
- Ucuz, İ., Özcan, Ö., Mete, B., Arı, A., Tetik, B. K., & Yıldırım, K. (2019). Evaluation of inflammatory markers in childhood-onset psychiatric disorders by using artificial intelligence architectures. *Anatolian Journal of Psychiatry*, 0-0.
- Gupta, R. K., Chen, M., Malcolm, G. P., Hempler, N., Dholakia, K., & Powis, S. J. (2019). Label-free optical hemogram of granulocytes enhanced by artificial neural networks. *Optics express*, 27(10), 13706-13720.
- Putin, E. et al. (2016). Deep biomarkers of human aging: application of deep neural networks to biomarker development, *Aging*, 8, 1021-33.
- Ayhan, M. G., Dağistan, A. A., Tanrikulu, C. Ş., Bozdoğan, Ş. Y., & Eren, I. (2019). İntihar girişiminde bulunanlarda artmış nötrofil/lenfosit oranı. *Anadolu Psikiyatri Dergisi*, 20(3), 305-312.
- Çaycı, T., Kurt, Y. G., Honca, T., Taş, A., Özgürtaş, T., Ağilli, M., ... & Aydın, I. (2015). Hastane Bilgi Sistemindeki Kayıtlı Hasta Sonuçlarından Tam Kan Referans Aralıklarının Tayini.
- Karasu, S., & Saraç, Z. Güç Kalitesi Bozulmalarının 2 Boyutlu Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Torbalama Karar Ağaçları Yöntemi ile Sınıflandırılması. *Politeknik Dergisi*, 21(4), 849-855.
- Breiman, L. (1996). Bagging predictors. *Machine learning*, 24(2), 123-140.
- Breiman, L., 1996b. Out-of-bag estimation. Technical Report, Department of Statistics, University of California, Berkeley.
- Lupaşcu, C. A., Tegolo, D., & Trucco, E. (2013). Accurate estimation of retinal vessel width using bagged decision trees and an extended multiresolution Hermite model. *Medical image analysis*, 17(8), 1164-1180.
- Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9(3), 293-300.
- Hwang, J. P., Park, S., & Kim, E. (2011). A new weighted approach to imbalanced data classification problem via support vector machine with quadratic cost function. *Expert Systems with Applications*, 38(7), 8580-8585.
- Forbes, A. D. (1995). Classification-algorithm evaluation: Five performance measures based on confusion matrices. *Journal of Clinical Monitoring*, 11(3), 189-206.
- Arı, B., Arı, A., Ucuz, İ., Özdemir, F. Ç., & Şengür, A. Grafik Tablet Kullanılarak Makine Öğrenmesi Yardımı ile El Yazısından Cinsiyet Tespiti.





## Bilimsel Makalelerin Atıf Sayısı Tahmini\*

Hakan Ezgi Kızılöz

Türk Hava Kurumu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4815-9024)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf48)

**ATIF/REFERENCE:** Kızılöz, H. E. (2020). Bilimsel Makalelerin Atıf Sayısı Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 370-375.

### Öz

Bilimsel makalelerin etkisini ölçmek kolay ya da tekdüze bir süreç değildir. Makalelerin atıf sayıları, etkilerinin ölçümünde önemli bir rol oynamaktadır. Öte yandan, bir makalenin atıf sayısı, makale yayınlandığı anda elde edilebilen bir veri değildir. Atıf sayısının elde edilebilmesi için makalenin yayınlanması ve toplulukta fark edilerek atıf(lar) alması, yani uzun sayılabilecek bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, atıf sayısının erişilebilir olmaması problemini basitleştirdik ve bir makalenin yayınlanmasından sonraki bir yıl içerisinde en az bir atıf alıp almayacağını tahmin eden bir derin öğrenme modeli oluşturduk. Modelimizde kelime dizileri arasındaki ilişkiyi bulabilmek adına Uzun Kısa Süreli Bellek (UKSB) kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bu çalışmada modelimizin makale tam metni yerine sadece özetini kullandığımızda bu durumun performans üzerindeki etkisini de analiz ediyoruz. Denelerimizde herkese açık veri kümelerini kullanılmıştır. Makalelerin tam metni Kaggle'da bulunan bir veri kümesinde mevcuttur. Özet, üstveri öznitelikleri ve ilk yıl atıf sayıları ise Microsoft Academic Graph'tan çıkarılmıştır. Elde edilen sonuçlar, tam metin kullanımının daha yüksek doğrulukla sonuçlandığını göstermektedir. Fakat tam metin kullanıldığında modelin eğitim süresi, özet kullanıldığında eğitim süresine göre çok yüksek çıkmaktadır. Ayrıca, tam metinlere kıyasla makale özetleri daha kolay erişilebilir durumdadır. Son olarak, eğittiğimiz model bu makalenin ilk yayın yılında en az bir atıf alacağını öngörmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Öğrenme, Uzun Kısa Süreli Bellek, Metin Madenciliği, Denetimli Öğrenme, Atıf Tahmini

## Citation Count Prediction of Academic Papers

### Abstract

Even though measuring the impact of scientific papers is not a straightforward process, their citation counts play a significant role in this determination. Citation count of a paper, however, is not available until the paper gets published and a substantial amount of time passes until it spreads through the community. To overcome this issue, we relax the problem by building a deep learning model that predicts whether a paper will receive at least one citation in a one-year interval after its publication. Our model employs Long Short-Term Memory (LSTM) to capture the relationship between word sequences. In our study, we also analyze the effect of using the abstract versus full-text of papers over performance. We utilize publicly available datasets in our experiments: Kaggle for the full-text of papers, and Microsoft Academic Graph for extracting the abstract, metadata features and the initial year citation counts of papers. Our obtained results show that the use of full-text leads to higher accuracy, yet with an enormous trade-off on training time. Additionally, paper abstracts are easier to access as compared to the full-text. Finally, our model predicts that this paper will receive at least one citation during its initial year of publication.

**Keywords:** Deep Learning, LSTM, Text Mining, Supervised Learning, Citation Prediction

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Bilimsel bir makalenin atıf sayısı, o makalenin diğer makaleler tarafından kaç kere alıntılındığını göstermektedir. Dolayısıyla, bir makale dikkat çektiğçe atıf sayısı da artmaktadır. Atıf sayıları, akademik arama motorlarının sıralama algoritmalarında da kullanılmaktadır [1]. Kullanıcıların arama sonuçlarında sadece ilk sayfadaki sonuçları incelediği, daha sonraki sayfalarda yer alan sonuçları göz ardı ettiği gözlemlenmiştir [2]. Bu durum, akademide Matthew Etkisi'nin oluşmasına yol açmaktadır [3]. Matthew Etkisi, atıf sayısı yüksek olan makalelerin arama motorlarında daha üst sıralarda çıkması, dolayısıyla daha da fazla atıf almaları olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak, atıf sayısı, makalelerin yarattığı etkiyi ölçmekte kullanılan önemli metriklerden birisi olarak kabul edilmektedir.

Bir makalenin atıf sayısı, erişimi kolay olması sebebiyle araştırmacılar, dergiler, kurumlar, vb. tarafından sıklıkla metrik olarak kullanılmaktadır. Benzer şekilde, atıf sayısı yardımıyla hesaplanan etki faktörleri ve h-indeksi değerleri, sırasıyla dergiler ve araştırmacılar hakkında bize bilgi vermektedir. Ancak bir makalenin atıf sayısı, makale yayınlandığı anda elde edilebilen bir bilgi değildir. Atıf sayısı yardımıyla bir makalenin etkisi ölçebilmek için makale yayınlandıktan sonra uzun bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu sebeple, alanında uzman kişiler muazzam bir efor sarf ederek yayınlanmak üzere gönderilen her bir makale metnini değerlendirmekte ve editörlere ilgili makalenin değeri hakkında bir geri bildirimde bulundurmaktadır.

Bilimsel makalelerin atıf sayısı tahmini konusu uzun yıllar boyu çalışılmış bir konudur. Bazı araştırmacılar bu problemi bir sınıflandırma problemi olarak görürken, bazıları probleme regresyon problemi olarak yaklaşmaktadır. Benzer şekilde, bazı araştırmacılar sadece makalelerin üstverisi üzerinde çalışırken, bazıları makalenin tam metnini kullanmıştır. Bu çalışmada, biz de probleme bir sınıflandırma problemi olarak yaklaştık. Çözmesi zor olan bu problemi basitleştirerek bilimsel makalelerin yayınlanmalarından sonraki bir yıl içerisinde atıf alıp almayacaklarını tahmin eden bir model geliştirdik. Geliştirdiğimiz model girdi olarak yalnızca makalelerin başlığını ve tam metnini almaktadır. Sonrasında araştırmamızı geliştirerek makale tam metni yerine özetini kullandığımızda modelin performansının nasıl değiştiğini analiz ettik. Özetlemek gerekirse, bu çalışmanın motivasyonu, yeni bir makalenin etkisini daha yayınlanmadan ölçmemize yardımcı olabilecek bir sistemi tasarlamaktır.

Makalenin devamı şu şekilde düzenlenmiştir: Bilimsel makalelerde atıf sayısı tahmini yapan çalışmalar Bölüm 2'de verilmektedir. Bölüm 3'te veri önışleme adımları ve bu çalışmada önerilen model detaylıca açıklanmaktadır. Deney ortamı ve elde edilen sonuçlar Bölüm 4'te verilmektedir. Son olarak, deneylerin sonucu, makale sonucunda elde edilen bulgular ve gelecekte yapılacak çalışmalar son bölümde verilmektedir.

## 2. Literatür Taraması

Bilimsel makalelerin atıf sayısı tahmini ile ilgili çok çeşitli çalışmalar vardır. Bu konuda umut verici deneysel çalışmalar olmasına karşın, makalelerin aldığı atıf sayısı makalelerin etkisini belirleyebilmek adına oldukça önemli bir etken olduğundan bu problem henüz tam anlamıyla çözülebilmüş değildir.

ACM'in her yıl düzenlediği Knowledge Discovery and Data Mining (KDD)<sup>2</sup> konferansı, veri madenciliği ve analizi alanında en önemli konferanslardan biridir. 1997 yılından bu yana KDD konferansı ile birlikte bir veri madenciliği yarışması düzenlenmektedir [4]. 2003 yılında yapılan yarışmanın konusu arXiv e-baskı arşivi<sup>3</sup> üzerine özelleşmiş ve dört farklı görevde yarışma imkanı sunan bir ağ madenciliği problemi idi. Bu görevlerden ilki, seçilmiş makalelerin gelecek üç ay boyunca alacakları atıf sayılarının değişimlerinin tahmin edilmesiydi. Yarışma veri kümesinde 30119 adet makalenin LaTeX kaynak dosyaları (dolayısıyla tam metinleri) ve bu makaleler ile ilişkilendirilmiş 719109 adet atıf bilgisi vardı. Bu yarışmaya 57 yarışmacı katıldı. Yarışmayı kazanan grup, probleme bir zaman serisi yaklaşımı algoritma uyguladı ve yarışmayı toplam 1329 L1 mesafesi ile kazandı. Hiçbir makalenin atıf sayısında değişiklik olmayacağını, yani bütün makaleler için 0 değişiklik olacağını tahmin eden grubun yarışmada 11. sırayı alması ilginç bir anekdot olarak karşımıza çıktı.

Bilimsel yayınları incelediğimizde, McKeown vd. [5] bilimsel makalelerin tam metninden çeşitli öznitelikler çıkaran ve bu öznitelikleri kullanarak bu makalenin gelecekteki etkisini tahmin eden bir sistem ortaya koymuşlardır. Önerdikleri sistemin performansını 3,8 milyon doküman üzerinde ölçmüşlerdir. Çalışmalarının öğrenme sürecinde önce başlık, yazarlarla ilişkili öznitelikler, atıf verilen makaleler hakkında bazı öznitelikler gibi yalnızca üstveri öznitelikleri kullanmışlardır. Daha sonra, makalelerin tam metinleri üzerinde varlıklar ve ilişkiler (entities and relations), argüman bölümlenmesi (argumentative zoning) ve atıf duygusu (citation sentiment) yöntemlerini kullanarak çıkardıkları yeni öznitelikleri eklemişlerdir. Sonuç olarak, tam metin öznitelikleri ile üstveri özniteliklerinin birleştirilmesinin daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Yan vd. [6] makalelerin içerik, yazar ve yayın yeri hakkında birçok öznitelik kullanarak atıf sayılarını tahmin etmek üzere benzer bir metod önermişlerdir. Çalışmalarında, Bilgisayar Bilimi alanında 1,5 milyon yayın içeren ArnetMiner'in atıf ağı veri kümesini kullanmışlardır. Modellerini dört farklı makine öğrenmesi tekniği ile test etmişlerdir. Değerlendirme metriği olarak kararlılık katsayısı ( $R^2$ ) kullanmışlar ve testlerde en yüksek 0,786 değerine ulaşmışlardır. Bir sonraki yıl modellerine yeni öznitelikler ve yeni bir makine öğrenmesi tekniği ekleyerek en yüksek  $R^2$  değerini 0.927'ye yükseltmişlerdir [7].

<sup>2</sup> <https://www.kdd.org>

<sup>3</sup> <https://www.arxiv.org>

Chen ve Zhang [8] atf sayısı tahmini problemini bir regresyon problemi olarak yaklaşmaktadır. Çalışmalarında tahmin sürecinde Rastgele Orman (Random Forest) ile Gradyan Artırılmış Regresyon Ağaçları (Gradient Boosted Regression Trees) tekniklerini kullanmışlardır. Bunun için öncelikle Gizli Dirichlet Ayrımı (Latent Dirichlet Allocation) ve IBM Model 1 kullanarak yazar ve içerik tabanlı öznitelikler çıkarmışlardır. Sonrasında deneylerini gerçek bir veri kümesi olan KDD'nin 2003 yılındaki yarışmada kullandığı veri kümesi üzerinde yapmışlardır. Çıkarılmış oldukları bütün öznitelikleri inceledikten sonra içerik tabanlı özniteliklerin tahmin sürecinde daha etkili olduklarını belirtmişlerdir. Castillo vd. [9] yazarların önceki yayınlarının bilgisini kullanarak yeni yayınlarının ilk yıllarında kaç atf alacağını tahmin eden bir metot önermektedir. Çalışmalarında yazar-tabanlı, bağlantı-tabanlı ve soncul-tabanlı olmak üzere üç tip öznitelik çıkarmışlardır. CiteSeer'dan elde ettikleri veri kümesi üzerinde WEKA kullanarak doğrusal regresyon (linear regression) ve C4.5 tekniklerini uygulamışlardır. Deney sonuçlarına göre atf sayısı tahmininde makale yazarlarının itibarı oldukça etkilidir. Weihs ve Etzioni [10], yazarların gelecek 10 yıl içindeki h-indeksi değerleri ile makale atf sayılarını tahmin etmek üzere bir gradyan artırılmış regresyon ağaçları modeli önermiştir. Çalışmalarında makale üstverileri, atf çizgesi ve eş-yazar çizgesi kullanarak 44 adet yazar ve 63 adet makale özniteliği çıkarmışlardır. Algoritmalarının ancak belirli koşullar altında var olan algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

Ibáñez vd. [11] atf sayısı tahminini biyoenformatik alanında yapmışlardır. Bunun için özet, dergi ve yayın tarihi bilgilerinden seçtikleri anahtar kelimelere göre öznitelikler çıkarmışlardır. Atf sayılarını “çok az”, “biraz” ve “çok” olmak üzere üç sınıfa ayırarak probleme bir sınıflandırma problemi olarak yaklaşmış ve deneylerinde WEKA'nın sağladığı birçok sınıflandırıcıyı test etmişlerdir. Belirli kelimelerin makale özetinde yer almasının atf sayısını etkilediğini bildirmişlerdir. Livne vd. [12] yazar, kurum, yayın yeri, kaynakça ağı ve içerik benzerliğinden oluşmak üzere beş grup öznitelik çıkarmışlardır. Bilgisayar Bilimleri, Biyoloji, Kimya, Tıp, Mühendislik, Matematik ve Fizik alanlarındaki makaleler üzerine var olan ve yeni öznitelikleri kullanarak Destek Vektör Regresyon (Support Vector Regression) tekniği uygulamışlardır. Çalışmalarında 2000 yılında yayınlanan makalelerin 2005 yılında almış olabilecekleri atf sayısını tahmin etmeye çalışmışlardır. Özellikle Biyoloji ve Tıp alanında ünlü yazarların yayınlarının daha çok ilgi çektiğini bildirmişlerdir.

Pobiedina ve Ichise [13] bir atf ağı oluşturmuş ve öznitelik yaratmak için gelen bağlantılar (in-degree) ile giden bağlantıların (out-degree) sayılarını kullanmışlardır. İki adet gerçek veri kümesi üzerinde Lojistik Regresyon (Logistic Regression), Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines) ve Ağaçlar (Trees) tekniklerini uygulayarak bir yıllık tahmin yapmışlardır. Probleme hem bir sınıflandırma problemi hem de bir regresyon problemi olarak yaklaşmışlardır. Deney sonuçlarına göre, üretilmiş olan özniteliklerin tahmin doğruluğu yönünden yazar ve yayın yeri ile ilgili özniteliklerden daha iyi performans gösterdiğini; fakat regresyon için yazar ile ilgili özniteliklerin daha çok katkı verdiğini belirtmişlerdir. Stegehuis vd. [14] derginin etki faktörü ile makalenin bir yıl sonunda almış olduğu atf sayısı bilgisini kullanarak yayının uzun dönemde alacağı atf sayısını tahmin etmeye çalışmaktadır. Olasılık dağılımını tahmin etmek için kantil regresyon (quantile regression) yaklaşımını kullanmışlardır. Her iki tahmincinin de tahmin sonucuna pozitif katkı sağladığını ifade etmişlerdir.

### 3. Materyal ve Metot

Bu çalışmada bilimsel makalelerin atf sayılarını tahmin etmek için derin öğrenme metotları kullanılmaktadır. Bu sebeple herkesin kullanımına açık olan iki veri kümesi kullanılmıştır. Bunlardan ilki, Open Academic Society<sup>4</sup> internet sitesinde bulunan Microsoft Academic Graph (MAG) veri kümesidir. MAG veri kümesi 166 milyon bilimsel makaleye ait başlık, özet, yayın yılı, yazarları, anahtar kelimeleri, referansları, atf sayısı, yayın yeri, vb. birçok faydalı bilgiyi içermektedir. İkinci veri kümesi ise Kaggle<sup>5</sup> internet sitesinde yayınlanmış olan Neural Information Processing Systems (NIPS)<sup>6</sup> konferansında yayınlanmış olan makalelere ait bilgileri içeren bir veritabanıdır. Bu veritabanı NIPS konferansında 1987 ile 2017 yılları arasında yayınlanmış olan makalelerin başlık, yazarları, özet ve tam metnini içermektedir. Bu çalışmada MAG veri kümesi, makalelerin üstverileri ile atf bilgilerini elde etmek için kullanılırken, diğer veri kümesi ise makalelerin tam metnine erişebilmek için kullanılmıştır.

Bu bölümün devamında ilk önce iki veri kümesindeki makaleleri eşlemek ve veriyi çalışmaya hazırlamak için gereken veri ön işleme adımlarından bahsedilecek, daha sonra makalelerin başlığı ve tam metnini kullanarak ilk yıl içerisinde atf alıp almayacağını tahmin edecek olan derin öğrenme modeli tanıtılacaktır.

#### 3.1. Veri Ön işleme

Kullanılan iki veri kümesini birleştirebilmek için önce her iki veri kümesinde bulunan makaleleri doğru bir şekilde eşleştirebilmemiz gerekmektedir. Ancak, bu eşleme işlemi kolaylıkla çözülebilecek bir problem değildi. Bunun için, başlangıç olarak MAG veri kümesinde yayın yeri “neural information processing systems” olan makaleleri bulduk. Bu sorgunun sonucunda 7442 makale elde ettik. Diğer veri kümesinde makale sayısı 7241 idi. Her ne kadar ikinci veri kümesi NIPS konferansının 2017 yılına ait makaleleri içeriyor olsa da, MAG veri kümesi 2017 yılının ortalarında hazırlanmış olduğundan konferansın 2017 yılına ait verileri içermiyordu. Bu sebeple eşleyebileceğimiz makale sayısı 6562'ye düştü. Bu makalelerden 6058 tanesini başlık üzerinden birebir eşleştirebildik. Geriye kalan 504 makaleyi teker teker inceleyip, elle işlememiz gerekti. Bunun için ilk önce başlıkların ilk üç kelimesini henüz eşlenememiş makalelerde aratıp sonuçları teker teker inceledik. Bu yöntemle 326 makaleyi daha eşleştirebildik.

<sup>4</sup> <https://www.openacademic.ai/>

<sup>5</sup> <https://www.kaggle.com/benhamner/nips-papers>

<sup>6</sup> <https://www.nips.cc/>

Kalan 178 makalenin 172 tanesini ise başlıklarda geçen ayrıştırıcı anahtar kelimeleri aratarak tespit ettik. Geriye kalan 6 makale eşleştirilemediği için çalışmadan çıkarıldı.

Makaleler eşleştirildikten sonra her bir makalenin ilk yıl içerisinde atıf alıp almadığı bilgisine ihtiyacımız vardı. Bu sebeple MAG veri kümesinde yer alan atıf ağının detaylıca tarayarak bu bilgiyi ortaya çıkardık. Bunun için MAG veri kümesinde bulunan bütün makaleleri teker teker inceleyerek eşleştirilmiş olan makalelerimizden herhangi birisine atıfta bulunup bulunmadığını tespit ettik. Atıfta bulunan makaleleri bütün bilgileriyle birlikte filtreledikten sonra, bu makalelerin yayımlandıkları yılları inceledik. Eğer atıfta bulunan makale, NIPS konferansında bulunan ve eşleştirilmiş olan makalenin yayın yılından itibaren 1 yıl içerisinde yayınlanmışsa geçerli bir atıf olarak işlenmiştir.

Son olarak, her ne kadar MAG veri kümesinde 2016 yılında düzenlenen NIPS konferansında yayınlanmış olan makalelerin bilgileri yer alsada, veri kümesi 2017 yılının ortalarında yedeklenmiş olduğundan, yani 2016 makaleleri yayımlandıktan sonra henüz bir yıllık süre tamamlanmamış olduğundan, bu yıldaki veriler de çalışmadan çıkarılmıştır. Sonuç olarak çalışmadaki deneyler 6001 makalenin verisi üzerinde test edilmiştir.

### 3.2. Model

Bu çalışmada, bilimsel bir makalenin ilk yıl içerisinde atıf alıp almayacağını tahmin eden bir derin öğrenme modeli önerilmektedir. Bu model, üç adet girdi almaktadır: makalenin başlığı, tam metni ve yayın yılı. Makale başlığı ile tam metni, metin bazlı öznitelikler olduklarından modelimizde kullanılabilirliği için sayısal bir gösterime dönüştürülmeleri gerekmektedir. Bu dönüşüm, bahsedilecek olan birkaç aşamadan meydana gelmektedir. Öncelikle bütün noktalama işaretleri metinlerden kaldırılmıştır. Daha sonra metinlerde geçen bütün sayılar ile etkisiz kelimeler (stop words) özel atanmış birer kelimeye dönüştürülmüştür. Bütün makalelerde kullanılan bütün kelimelerin incelenmesi gerektiğinden, toplamda üç kereden az geçen kelimelerin öğrenmeye bir faydası olmayacağı düşünülmektedir. Bu sebeple, nadir görünen kelimeler de tespit edilerek özel atanmış bir kelimeye dönüştürülmüştür. Bu aşamalar sonunda geriye kalan her bir kelime, bir sayı ile eşleştirilmiştir ve sonrasında makaleler kelime dizilerinden sayı dizilerine dönüştürülmüşlerdir. Kelimelerin sayıya dönüştürülmesi işlemi makalelerin tam metinleri için ayrı, başlıkları için ayrı şekilde yapılmıştır. Yani aynı kelimenin başlıkta ve metin içerisindeki sayısal karşılığı farklı olabilir. Bütün makalelerin sayı dizilerine dönüştürülmesi işlemi tamamlandıktan sonra makaleler ve başlıklar ortalama uzunluk değerlerine kısaltılmış ya da uzatılmışlardır. Ortalama uzunluk değeri başlıklar için 8 kelime, tam metinler için ise 4335 kelimedir.

Bu çalışmada kelime dizileri arasındaki ilişkiyi yakalayabilmek için iki adet Uzun Kısa Süreli Bellek (UKSB) ağı eğitilmiştir. Bu ağlardan birisi makale başlıklarını, diğeri ise makale tam metinlerini eğitmek için kullanılmıştır. Bu iki ağın çıktıları, makalenin yayın yılı ile birleştirilir ve üzerine toplu normalleştirme (batch normalization) işlemi uygulanır. Model, iki tam-bağlı ağ katmanı (fully-connected networks), aşırı uyum problemini engellemek için bir seyreltme (dropout) katmanı ve yine iki tam-bağlı ağ katmanı sonucunda tahminde bulunmaktadır. Bahsedilen modelin çalışması, Şekil 1 ile verilen akış diyagramında gösterilmiştir.

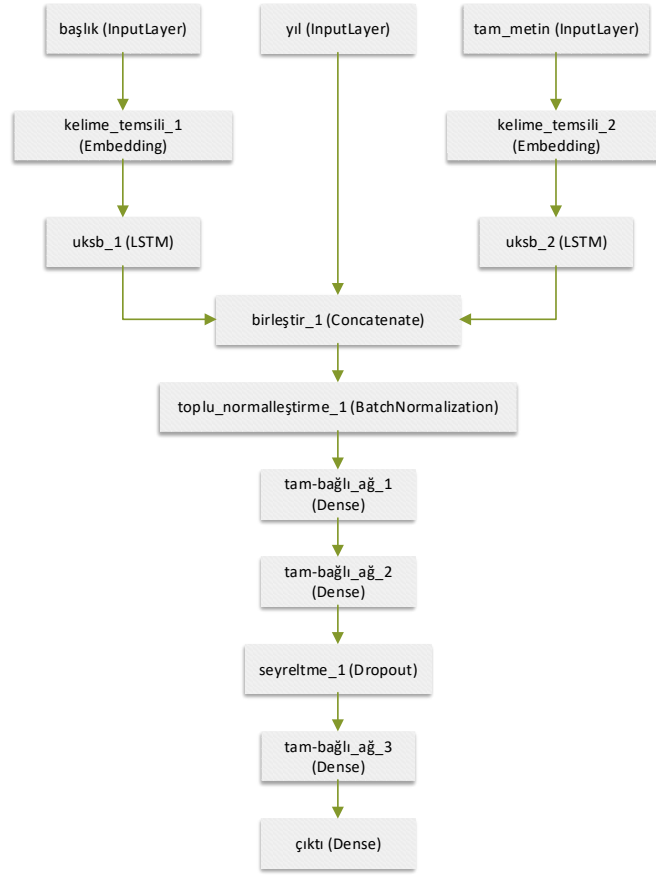
## 4. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Çalışmamızda kullanılan veriler hakkında daha fazla bilgi verebilmek adına, konferansta yayınlanan makale sayısı ile ilk yılında atıf alan ve almayan makalelerin yıllık olarak dağılım oranlarını Şekil 2’de paylaşıyoruz.

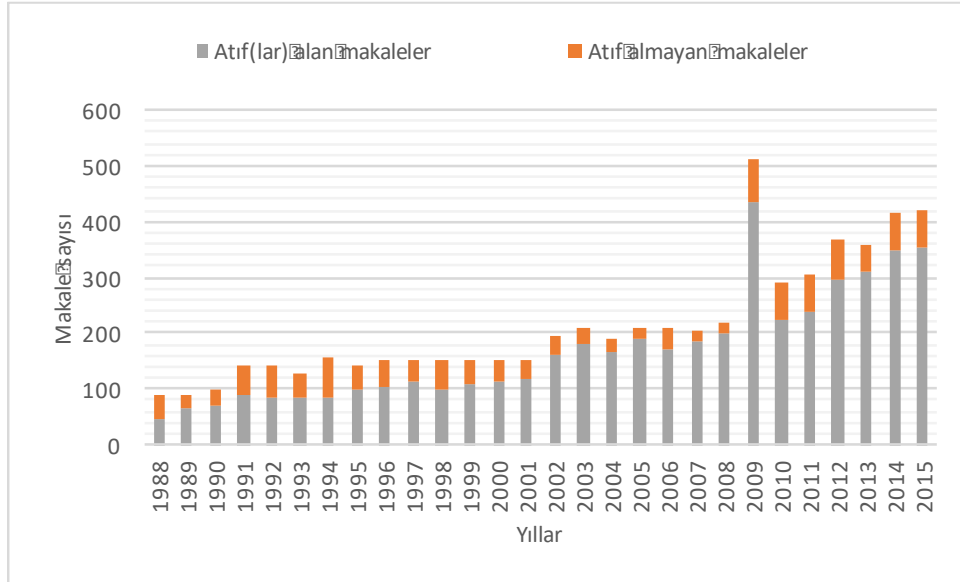
Bu çalışmanın amacı, yeni bir makalenin ilk yılında atıf alıp almayacağını tahmin etmek olduğundan veri kümesi üzerinde çapraz geçerleme (cross validation) tekniği uygulanmamıştır. Bunun yerine, konferansın 1987 ile 2013 yılları arasında yayınlanan makaleler modelin eğitilmesi (training) için, 2014 yılında yapılan konferansta yayınlanan makaleler modelin doğrulanması için (validation) ve son olarak 2015 yılında yapılan konferansta yayınlanan makaleler modelin test edilmesi için kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan eğitim, doğrulama ve test kümelerinin özellikleri Tablo 1’de detaylandırılmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Eğitim, Doğrulama ve Test Kümelerinin Detayları.

	Yıllar	Makale sayısı
Eğitim kümesi	[1987, 2013]	5167
Doğrulama kümesi	2014	415
Test kümesi	2015	419



Şekil 1. Bilimsel Makalelerin Atıf Sayılarını Tahmin Etmek için Kullanılan Model.



Şekil 2. NIPS Konferansı'nda Yayınlanan Makale Sayılarının ve Bu Makalelerin İlk Yıllarında Atıf Alma Oranlarının Yıllara Göre Dağılımı.

Çalışmalarımız Google'ın Colaboratory servisi<sup>7</sup> üzerinde, ekran kartı (GPU) desteği aktifleştirilmiş şekilde çalıştırılmıştır. Bu



ayarlamalar neticesinde her bir öğrenme iterasyonunun yaklaşık 400 saniye sürdüğü gözlemlenmiştir. Test sonuçları incelendiğinde önerilen modelin bir makalenin ilk yılında atıf alabilip alamayacağını %83,15 doğrulukla tahmin edebildiği tespit edilmiştir.

Bu noktada incelemelerimizi biraz daha derinleştirerek, makalenin tam metni yerine özetini girdi olarak verdiğimizde modelin nasıl performans vereceğini gözlemlemek istiyoruz. Bunun için makale tam metni için uygulanan veri önleme adımları makale özeti için aynen uygulanmaktadır. Bir makalenin özeti, makalenin tam metnine göre oldukça kısa olduğundan kullanılan veri miktarı epey düşmektedir. Bu düşünüş, her bir öğrenme iterasyonu süresinin yaklaşık 15 saniye civarına düşmesine yol açmaktadır. Öte yandan, eğitim için kullanılan veri miktarının azalması eğitimi sürecini kötü etkilemiş ve modelin tahmin performansını %82,47'ye düşürmüştür.

## 5. Sonuç

Bu çalışmada bilimsel bir makalenin yayınlanmasının ilk yılında atıf alıp alamayacağını tahmin eden bir derin öğrenme modeli geliştirilmiştir. Bunun için herkese açık olan iki veri kümesi birleştirilmiş ve içerisinden gerekli bilgiler çıkarılmıştır. Geliştirilen modelde makalelerin yalnızca başlığı ile tam metni girdi olarak kullanılmaktadır. Daha sonra araştırmalarımız genişlemiş ve tahmin etme işini sadece başlık ve özet bilgisi, yani daha az veriyle yaptığımız durumun performansı incelenmiştir. Deney sonuçları, modelimizde tam metin kullanıldığı durumdaki tahmin performansının özet kullanıldığı durumdaki tahmin performansından bir parça daha iyi olduğunu göstermektedir. Öte yandan, özet kullanıldığında eğitim süresinin bir hayli azaldığı gözlemlenmiştir. Buna ek olarak, bir makalenin özetine ulaşmak, o makalenin tam metnine ulaşmaktan daha kolaydır. Makalelerin özetleri Microsoft Academic Graph veri kümesinde halihazırda bulunmaktadır.

Elde edilen test sonuçları, bu konuda bir ışık olduğunu göstermektedir. Bu sebeple, bu kadar az bilgiyle dahi makalelerin ilk yıllarında atıf alabilip alamayacaklarını tahmin eden böyle bir sistemin inşa edilebileceğini düşünmekteyiz.

Gelecekte modele metin öznitelikleri yanı sıra başka tipte öznitelikler de eklemeyi düşünüyoruz. Ayrıca, modelimizi kullanarak yapmış olduğumuz testleri başka konferanslarda ve dergilerde yayınlanmış makaleler üzerinde tekrarlamayı planlıyoruz.

## Kaynakça

- [1] J. Beel and B. Gipp, "Google Scholar's ranking algorithm: an introductory overview," in *Proceedings of the 12th International Conference on Scientometrics and Informetrics (ISSI'09)*, 2009, vol. 1, pp. 230–241.
- [2] M. Jacobson. (2017) How Far Down the Search Engine Results Page Will Most People Go? [Online]. Available: <https://www.theleverageway.com/blog/how-far-down-the-search-engine-results-page-will-most-people-go/>
- [3] R. K. Merton, "The Matthew effect in science: The reward and communication systems of science are considered," *Science*, vol. 159 (3810), pp. 58–63, 1968, American Association for the Advancement of Science.
- [4] J. Gehrke, P. Ginsparg, and J. Kleinberg, "Overview of the 2003 KDD Cup," *ACM SIGKDD Explorations Newsletter*, vol. 5 (2), pp. 149–151, 2003, ACM.
- [5] K. McKeown, H. Daume III, S. Chaturvedi, J. Paparrizos, K. Thadani, P. Barrio, O. Biran, S. Bothe, M. Collins, K. R. Fleischmann, and others, "Predicting the impact of scientific concepts using full-text features," *Journal of the Association for Information Science and Technology*, vol. 67 (11), pp. 2684–2696, 2016, Wiley Online Library.
- [6] R. Yan, J. Tang, X. Liu, D. Shan, and X. Li, "Citation count prediction: learning to estimate future citations for literature," in *Proceedings of the 20th ACM international conference on Information and knowledge management*, 2011, pp. 1247–1252, ACM.
- [7] R. Yan, C. Huang, J. Tang, Y. Zhang, and X. Li, "To better stand on the shoulder of giants," in *Proceedings of the 12th ACM/IEEE-CS joint conference on Digital Libraries*, 2012, pp. 51–60, ACM.
- [8] J. Chen and C. Zhang, "Predicting citation counts of papers," in *IEEE 14th International Conference on Cognitive Informatics & Cognitive Computing (ICCI\* CC)*, 2015, pp. 434–440, IEEE.
- [9] C. Castillo, D. Donato, and A. Gionis, "Estimating number of citations using author reputation," in *International Symposium on String Processing and Information Retrieval*, 2007, pp. 107–117, Springer.
- [10] L. Weihs and O. Etzioni, "Learning to predict citation-based impact measures," in *Proceedings of the 17th ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries*, 2017, pp. 49–58, IEEE.
- [11] A. Ibáñez, P. Larrañaga, and C. Bielza, "Predicting citation count of Bioinformatics papers within four years of publication," *Bioinformatics*, vol. 25 (24), pp. 3303–3309, 2009, Oxford University Press.
- [12] A. Livne, E. Adar, J. Teevan, and S. Dumais, "Predicting citation counts using text and graph mining," in *Proc. the iConference 2013 Workshop on Computational Scientometrics: Theory and Applications*, 2013.
- [13] N. Pobiedina and R. Ichise, "Predicting citation counts for academic literature using graph pattern mining," in *International conference on industrial, engineering and other applications of applied intelligent systems*, 2014, pp. 109–119, Springer.
- [14] C. Stegehuis, N. Litvak, and L. Waltman, "Predicting the long-term citation impact of recent publications," *Journal of informetrics*, vol. 9 (3), pp. 642–657, 2015, Elsevier.

<sup>7</sup> <https://colab.research.google.com>



# Tekil Spektrum Analizi ve Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları ile Nehir Akım Tahmini\*

Levent Latifoğlu<sup>1\*\*</sup>, Kazım Bekir Nuralan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-2837-3306)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5764-805X)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf49)

**ATIF/REFERENCE:** Latifoğlu, L. & Nuralan, K. B. (2020). Tekil Spektrum Analizi ve Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları ile Nehir Akım Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 376-381.

## Öz

Su yapılarının planlanması ve yönetiminde nehir akım tahminleri önemli bir yere sahiptir. Lineer olmayan ve durağan olmayan karaktere sahip nehir akım verilerinin doğru tahmini zorlu bir problemdir. Son yıllarda veri tabanlı teknikler, nehir akım problemlerinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Önerilen çalışmada popüler olarak kullanılmaya başlanan Derin Sinir Ağlarından Uzun – Kısa Süreli Bellek (Long-Short Term Memory, LSTM) Ağları ile nehir akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Tahmin performansını artırmak üzere zaman serilerinin analizinde önemli bir yer tutan Tekil Spektrum Analizi (TSA) kullanılarak alt bant verileri elde edilmiştir. Nehir akım tahmin verisine ait TSA alt bant verilerinin LSTM ağları ile tahmini sonucu bir ileri adım tahmin çalışması gerçekleştirilmiştir. Önerilen TSA-LSTM modeli kullanılarak 0.0021 Ortalama Karese Hata (MSE) değeri, 0.0361 Ortalama Mutlak Hata (MAE) değeri ve 0.9710 Korelasyon (R) değeri ile yüksek performanslı tahmin verisi elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Nehir akım tahmini, Derin Sinir Ağları, Kısa-Uzun Bellek Ağları, Tekil Spektrum Analizii.

## Forecasting Of Stream Flow Using Singular Spectrum Analysis And Long-Short Term Memory Networks

### Abstract

Stream flow estimation has an important role in the planning and management of water resources. Accurate estimation of stream flow data, that is characterised by non-linear and non-stationary, is a challenging problem. In recent years, data-based techniques have been used extensively in forecasting of stream flow. In this study, stream flow estimation was made with the Long-Short Term Memory (LSTM) Networks from Deep Neural Networks, which were used as popular. Subband data was obtained by using Single Spectrum Analysis (SSA), which plays an important role in the analysis of time series in order to increase the forecast performance. As a result of estimation of SSA subband data of stream flow forecasting data with LSTM network, one ahead forecasting study was carried out. Using this proposed SSA-LSTM model, high performance forecasted data was obtained with 0.0021 Mean Square Error (MSE) value, 0.0361 Mean Absolute Error (MAE) value and 0.9710 Correlation (R) coefficient value.

**Keywords:** Stream flow forecasting, Deep Neural Networks, Long-Short Term Neural Networks, Singular Spectrum Analysis.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye, ORCID: 0000-0002-2837-3306, [latifoğlu@erciyes.edu.tr](mailto:latifoğlu@erciyes.edu.tr)

## 1. Giriş

Nehir akımlarının doğru ve hassas tahmini rezervuar yönetiminde, risk değerlendirilmesinde, kuraklık tahmininde, taşkın ötelemede, afet yönetiminde, su planlaması ve yönetiminde önemli role sahiptir. Tahmin modelleri süreç tabanlı ve veri tabanlı olmak üzere temel olarak iki kategoride incelenmektedir [1].

Süreç tabanlı tekniklerde süreçler temel olarak iki aşamada incelenmektedir. İlk aşama matematiksel modellerin oluşturulması, ikinci aşama ise sayısal çözümlerin eldesidir. Matematiksel modelleme aşamasında, işlem matematiksel denklemler ile tanımlanmaktadır. Daha sonra, bu denklemlerin doğru ve verimli bir sayısal çözümü gerçekleştirilmektedir. Bu modellerde ilgili süreci teorik olarak anlaşılması gerekmektedir ve yüksek miktarda veri gereksinimi ile birlikte yaklaşımlar içeren varsayımlar ortaya konmaktadır [2]. Sürece dayalı modelleri geliştirmek için, süreci tanımlayan doğru verilerle birlikte sürecin çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Modellenmesi gereken süreç hakkında bilgi eksikliği durumunda sürece dayalı modellerin gerçekleştirilmesi mümkün değildir. Öte yandan, veriye dayalı modeller ampirik olup, gözlemlere dayanmaktadır, basit ve uygulanması daha kolaydır. Ayrıca süreç ile ilgili fiziksel bilgi gerektirmemektedir. Veri tabanlı teknikler temel olarak kara kutu modeller olarak tanımlanmaktadır. Veri tabanlı teknikler arasında işlemsel zeka ve makine öğrenme yöntemleri, sinir ağları, bulanık kural tabanlı sistemler ve genetik algoritmalar ile bunların kombinasyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. [3]. Tahmin çalışmalarında istatistiksel olarak veriye dayalı teknikler 1970 li yıllarda ortaya konmuştur. Bu teknikler lineer yaklaşımlar üzerine kurulu olup, parametrik Özbagılımlı Hareketli Ortalama (ÖBHO/ARMA) ve Özbagılımlı İntegralli Hareketli Ortalama (ÖBİHO/ARIMA) gibi modeller ve bu modellerin farklı versiyonları nehir akım tahmininde kullanılmaktadır [4-7]. Nehir akım verileri doğası gereği lineer olmayan ve durağan olmayan karakterdedir. Bu verilerin tahmini ve simülasyonu için son yıllarda makine öğrenme teknikleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Makine öğrenme tekniklerinden Yapay Sinir Ağları (YSA), Karar Destek Makinaları (KDM), Genetik programlama (GP), Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) gibi yöntemler lineer olmayan nehir akım verilerinin tahmininde kayda değer sonuçlar ortaya koymuştur [8-15]. Son yıllarda, beyin yapısından ve işlevinden ilham alan yapay sinir ağları tabanlı algoritmalarla ilgili bir makine öğrenmesinin alt alanı olan Derin öğrenme yaklaşımı tahmin çalışmalarında kullanılmaktadır. [16-18]. Derin öğrenme, çok katmanlı modellerle yapılan yapay öğrenme olup, Yapay Sinir Ağlarındaki gizli katmanın sayısının artırılmış ve geliştirilmiş halidir. Tekrarlayan Yapay Sinir Ağları (Recurrent Neural Network, RNN) bir çeşit YSA modeli olup bir döngü oluşturarak geçmiş bilgilerin kullanılmasını sağlamaktadır. Bu sayede önceki zamanın bilgileri kullanılabilir ve yeni bilgi, eski bilgi kullanılarak elde edilerek, sınıflandırma yapılabilir [19]. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları uzun dizilerle gösterilen veriler üzerinde eğitim ve hafızayı koruma problemlerine yönelik ortaya konulan bir RNN mimarisidir. LSTM mimarisinin RNN mimarisine göre en temel avantajları; sıfırlanan gradyan problemlerine çözüm oluşturabilmesi ve girdilerin unutulmadan saklanabilmesi aracılığıyla bilgi kaybını engelleyebilmesidir. Bu nedenle LSTM mimarisi yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [20].

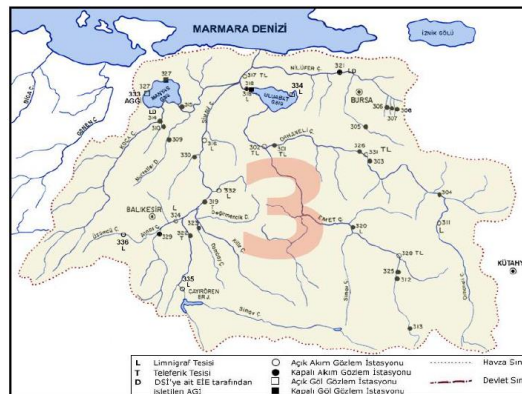
Nehir akım verilerinin ön işleme tabi tutulması, veriye dayalı modellerin tahmin performansını artırmaktadır. Literatürde, Ampirik Kip Ayrışım (AKA), Ayrık Dalgacık Dönüşümü ve Tekil Spektrum Analizi yöntemleri verilerin ön işlenmesi aşamasında kullanılarak veriye dayalı modellerle tahmin gerçekleştiren çalışmalar bulunmaktadır [21-24]. Ancak bu çalışmalar arasında TSA-LSTM modeli kullanarak nehir akım tahmini gerçekleştiren çalışmaya rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, TSA-LSTM modeli kullanarak gerçekleştirilen nehir akım tahmini ile önerilen modelin tahmin performansı analiz edilmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

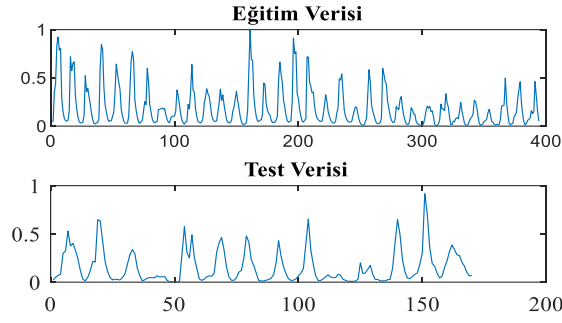
### 2.1. Tahmin Çalışmalarında Kullanılan Hidrolojik Veriler

Güney Marmara Bölgesinde Susurluk havzasında yer alan Simav çayının mansap kısmını teşkil eden Kocadere üzerindeki Elektrik İşleri Etüt İdaresine (EİEİ) ait 317 nolu akım gözlem istasyonundan alınan ortalama aylık akım verileri tahmin çalışmasında kullanılmıştır [25]. Nehir ortalama aylık akım verileri 1965-2011 yılları arasında ait olup, verilerin kaydedildiği havza alanına ait harita Şekil 2. de verilmektedir.



Şekil 2 Susurluk Havzası [25]

Tahmin çalışmasında akım verilerinin %70'i eğitim verisi %30'u ise test verisi olarak kullanılmıştır. Tahmin çalışmasında kullanılan normalize eğitim ve test verileri Şekil 3 te görülmektedir.

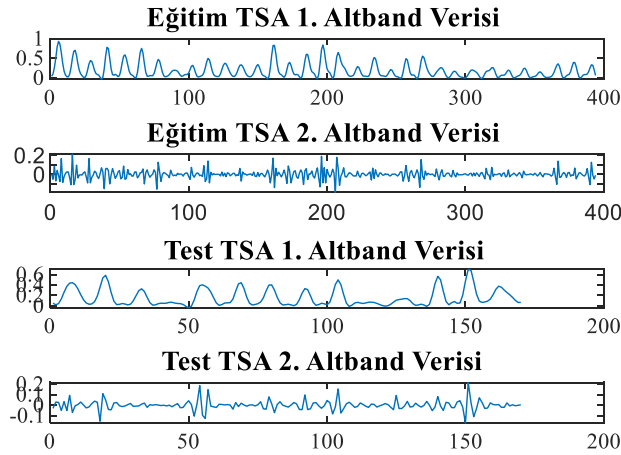


Şekil 3 Tahmin çalışmasında kullanılan eğitim ve test verileri

## 2.2. Ön İşleme Ve Tekil Spektrum Analizi

Yarı parametrik ve analizde ön koşul gerektirmeyen bir yöntem olan TSA, zaman serisi sinyalinin Küçük Aralıklara Gömülmesi işlemi, Tek Değerli Ayırıştırma ile özvektör üçlüsünün eldesi, Gruplandırma ve Diyagonal Ortalama işlemi adımlarından oluşmaktadır. TSA'inde sinyallerin zaman aralıklarına gömülmesi ve tek değerli ayırıştırma adımları Ayırıştırma aşamasını, gruplandırma ve diyagonal ortalama işlemleri ise Yeniden Yapılandırma aşamasını oluşturmaktadır. TSA için detaylı bilgi 26 nolu referansta yer almaktadır [26].

Bildiri çalışmasında nehir akım verileri TSA ile iki adet alt banda ayrıştırılmıştır. TSA'inde gömme aşamasında akım verilerinin periyodik yapı benzerliğinden dolayı pencere uzunluğu 12 olarak belirlenmiştir. Birinci alt bant verisi 1-5 özdeğerine göre 2. alt bant verisi ise 6-12 özdeğerine göre yeniden gruplandırılmıştır. Şekil 4 te eğitim ve test aşamasında kullanılan TSA alt bant verileri görülmektedir.

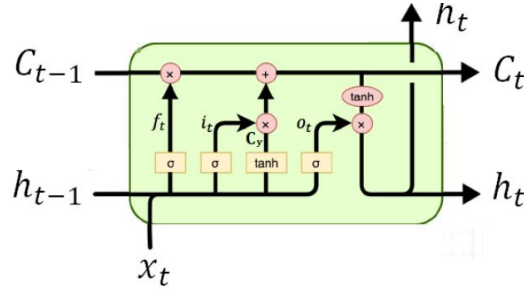


Şekil 4 Tahmin çalışmasında kullanılan TSA altbant verileri

## 2.3. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları

RNN mimarisinin bir türü olan LSTM ilk defa Hochreiter & Schmidhuber (1997) tarafından ortaya konmuştur ve ilerleyen zamanlarda birçok kişi tarafından geliştirilmiştir [27].

RNN mimarisinden farklı olarak LSTM mimarisinde, uzun süre bir önceki girdiyi hatırlamak için kullanılan ve hafıza hücreleri olarak adlandırılan özel gizli birimler bulunmaktadır. Unutma, Giriş, Güncelleme ve Çıkış kapısı katmanından oluşan LSTM mimarisi, bir girdinin önemli olup olmadığını belirleyerek kaydedilmesine karar veren kapılar içerir [28]. Şekil 5'te LSTM yapısı görülmektedir.



Şekil 5. LSTM Yapısı [28]

## 2.4. Performans Parametreleri

Hidrolojik verilerin tahmini çalışmalarında tahmin performansını değerlendirmek üzere yaygın olarak kullanılan parametrelerden Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Karesel Hata (MSE), ve Korelasyon katsayısı (R) bu çalışmada kullanılmıştır.

### 2.4.1. Ortalama Karesel Hata

Veri setinin gözlenen ve tahmin edilen değerlerinin farkının karelerinin toplamının toplam veri sayısına bölünmesiyle elde edilen değerdir.

### 2.4.2. Ortalama Mutlak Hata

Veri setinin gözlenen ve tahmin edilen değerleri farkının mutlak değer toplamının veri sayısına bölünmesiyle elde edilmektedir.

### 2.4.2. Korelasyon Katsayısı

İki veri seti arasında doğrusal bir ilişki bulunup bulunmadığının yönünün ve derecesinin bir göstergesidir. R değeri Pearson Korelasyon Katsayısı olarak ta isimlendirilmektedir ve Eşitlik 1 deki formülle hesaplanmaktadır.

$$R = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left( \frac{X_i - \mu_X}{\sigma_X} \right) \left( \frac{Y_i - \mu_Y}{\sigma_Y} \right) \quad 1$$

Verilen eşitlikte  $\mu_X$  ve  $\sigma_X$  X veri setinin ortalama ve standart sapmasını  $\mu_Y$  ve  $\sigma_Y$  Y veri setinin ortalama ve standart sapmasını göstermektedir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Önerilen çalışmada TSA-LSTM modelinin performansı LSTM modeli ile karşılaştırılmıştır. Tahmin çalışması modelleri için bir adet giriş uygulanmıştır. Bir ileri tahmin işlemi gerçekleştirilen bu çalışmada modellerin tahmin performansı analiz edilmiştir.

### 3.1. Uzun-Kısa Süreli Bellek Ağları

Gerçekleştirilen çalışmada normalize nehir akım verileri üzerinde bir ön işlem yapılmadan LSTM Modeli ile bir ileri tahmin işlemi gerçekleştirilmiştir. Derin Sinir Ağı mimarisinin oluşturulması aşamasında giriş katmanı (Sequence Input Layer), LSTM katmanı, Tam Bağlantılı Katman (Fully Connected Layer) ve Regresyon katmanı kullanılmıştır. Ağın eğitimi aşamasında maksimum devir (epoch) sayısı 200, başlangıç öğrenme oranı 0.002, öğrenme oranı düşme aralığı 200, öğrenme oranı düşme faktörü ise 0.1 olarak belirlenmiştir.

Ağın eğitimi için 'Adam', 'Stochastic Gradient Descent with Momentum (SGDM)' ve 'Root Mean Square Propagation (RMSPROP)' optimizasyon algoritmaları kullanılarak performansları karşılaştırılmıştır. Bir ileri tahmin sonucu elde edilen performans parametre değerleri Tablo 1 de görülmektedir.

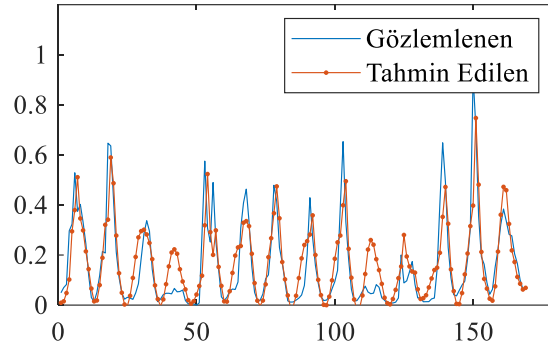
Tablo 1. SGDM, RMSPROP ve Adam optimizasyon algoritmalarının tahmin çalışmasındaki performans değerleri

	MSE	MAE	R
<b>LSTM modeli</b>			
SGDM	0.0112	0.0737	0.7892
RMSPROP	0.0148	0.0966	0.7923
Adam	0.0098	0.0672	0.8168

Tablo 1 incelendiğinde tahmin çalışmasında en iyi performansın ADAM optimizasyon algoritması ile elde edildiği görülmüştür.

Ayrıca Şekil 6 da gözlem ve ADAM optimizasyon algoritması kullanılan LSTM modeli ile elde edilen tahmin verileri yer almaktadır.





Şekil 6 LSTM Modeli ile bir ileri tahmin grafiği

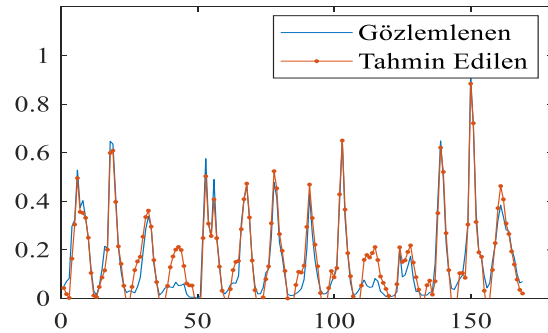
### 3.2. TSA – LSTM Modeli

Çalışmanın bu aşamasında normalize eğitim ve test nehir akım verileri TSA kullanılarak iki alt banda ayrıştırılmıştır. 1. alt bant bileşeni 1-5. öz değerlere göre elde edilmiş olup verinin eğilim bilgisini verirken 2. alt bant bileşeni ise veride küçük genlikli değişimleri ortaya konmaktadır. Alt bantların tahmininde LSTM modelinde olduğu gibi benzer yapı kullanılmıştır. İki adet Derin Sinir Ağı giriş katmanı, LSTM katmanı, Tam Bağlantılı Katman ve Regresyon katmanından oluşmaktadır. Ağın eğitimi aşamasında da LSTM modelinde olduğu gibi aynı parametreler kullanılmıştır. Optimizasyon algoritması olarak Adam optimizasyon algoritması kullanılmıştır. TSA-LSTM modeli ile bir ileri tahmin performans değerleri Tablo 2 de görülmektedir.

Tablo 2. LSTM ve TSA\_LSTM Modeli ile elde edilen tahmin performans değerleri

	MSE	MAE	R
<b>LSTM modeli</b>			
1 giriş-1 çıkış	0.0098	0.0672	0.8168
<b>TSA-LSTM Modeli</b>			
1 giriş-1 çıkış	0.0021	0.0361	0.9710

Tablo 2 incelendiğinde TSA-LSTM modelinin performansının LSTM modeline göre daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca Şekil 7 de gözlem ve TSA-LSTM modeli ile elde edilen tahmin verileri yer almaktadır.



Şekil 7 TSA-LSTM Modeli ile bir ileri tahmin grafiği

## 4. Sonuç

Bu çalışmada bir Derin Sinir Ağı olan LSTM ağları kullanarak aylık nehir akım verilerinin tahmini gerçekleştirilmiştir. Aylık nehir akım verilerine TSA ile uygulanan ön işlemin tahmin performansına etkisi analiz edilmiştir. LSTM ağı SGDM, RMSPROP ve Adam optimizasyon algoritmaları kullanılarak eğitilmiştir. Ağın eğitimi neticesinde en iyi performans Adam optimizasyon algoritması ile elde edilmiştir. LSTM modeli kullanarak elde edilen bir ileri zamanlı tahmin çalışmasında MSE değeri 0.0098, MAE değeri 0.0672 ve R değeri 0.8168 olarak elde edilmiştir. Bir veri içerisindeki örüntüyü belirleyerek, birbiri ile ilişkili olan veya olmayan bileşenlerin belirlenmesinde ve pek çok konuda oldukça etkili bir araç olan TSA yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen ön işlem ve LSTM modeli ile gerçekleştirilen bir ileri tahmin çalışmasında MSE değeri 0.0021, MAE değeri 0.0361 ve R değeri 0.9710 olarak elde edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde TSA-LSTM modelinin performansının oldukça iyi olduğu TSA verilerinin ön işlenmesi çalışmasının model performansını önemli derecede artırdığı görülmüştür. TSA-LSTM modelinin nehir akım tahmin çalışmalarında yüksek performanslı bir araç olarak kullanılabileceği görülmektedir.

## Kaynakça

- [1] Bayazıt M, (1998). Hidrolojik Modeller, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] Cuddington K., M. J. Forth, L. R. Gerber et al., “Process-based models are required to manage ecological systems in a changing world,” *Ecosphere*, vol. 4, no. 2, pp. 1–12, 2013
- [3] Liu, Z., Zhou, P., Chen, X., Guan, Y., 2015. A multivariate conditional model for streamflow prediction and spatial precipitation refinement. *J. Geophys. Res. Atmos.* 120 (19).
- [4] Ekmekçi M. “Hacettepe Ders Notları” ,<http://www.dsi.gov.tr/faaliyetler/turkiye-ulusal-hidroloji-komisyonu> (Erişim tarihi, 2017)
- [5] Box, G. E. P., Jenkins, G. M., 1970, *Time Series Analysis: Forecasting and Control*. Holden-Day, San Francisco.
- [6] Carlson, R. F., MacCormick, A. J. A., Watts, D. G., 1970. “Application of linear models to four annual streamflow series”, *Water Resour. Res.* 6 (4), 1070–1078.
- [7] Zhang, H., Singh, V.P., Wang, B., Yu, Y., 2016. CEREF: A hybrid data-driven model for forecasting annual streamflow from a socio-hydrological system. *J. Hydrol.* 540, 246–256.
- [8] Mehr A.D., 2018. “An improved gene expression programming model for streamflow forecasting in intermittent streams”, *Journal of Hydrology*, 563, 669-678.
- [9] Dehghani M., Seifi A., Madvar H.R., 2019 “Novel forecasting models for immediate-short-term to long-term influent flow prediction by combining ANFIS and grey wolf optimization”, *Journal of Hydrology*, 576, 698-725.
- [10] Sahoo A., Samantaray S., Ghose D. K., 2019. “Stream Flow Forecasting in Mahanadi River Basin using Artificial Neural Networks”, *Procedia Computer Science*, 157, 168-174.
- [11] He Y., Yan Y., Wang X., Wang C., 2019. “Uncertainty Forecasting for Streamflow based on Support Vector Regression Method with Fuzzy Information Granulation”, *Energy Procedia*, 158, 6189-6194.
- [12] Yu X., Wang Y., Wu L., Chen G., Wang L., Qind H., 2019. “Comparison of support vector regression and extreme gradient boosting for decomposition-based data-driven 10-day streamflow forecasting”, *Journal of Hydrology*, in press, 124293
- [13] Hadi S. J., Tombul M., 2018. “Monthly streamflow forecasting using continuous wavelet and multi-gene genetic programming combination”, *Journal of Hydrology*, 561, 674-687.
- [14] Latifoğlu L., Kisi O., Latifoglu F., 2015. “Importance of hybrid models for forecasting of hydrological variable”, *Neural Computing & Applications*, 26, 1669-1680.
- [15] Zealand CM., Burn DH., Simonovic SP., 1999, Short term streamflow forecasting using artificial neural networks, *Journal of Hydrology*, 214, 32–48
- [16] Ni L., Wang D., Singh V. P., Wu J., Wang Y., Tao Y., Zhang J., 2019. “Streamflow and rainfall forecasting by two long short-term memory-based models”, *Journal of Hydrology*, in press, 124296.
- [17] Mouatadid S., Adamowski J. F., Tiwari M. K., Quilty J. M., 2019. “Coupling the maximum overlap discrete wavelet transform and long short-term memory networks for irrigation flow forecasting”, *Agricultural Water Management*, 219, 72-85.
- [18] Dehghani M., Seifi A., Madvar H.R., 2019 “Novel forecasting models for immediate-short-term to long-term influent flow prediction by combining ANFIS and grey wolf optimization”, *Journal of Hydrology*, 576, 698-725.
- [19] LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G., 2015. Deep learning. *nature* 521 (7553), 436
- [20] Ni L., Wang D., Singh V. P., Wu J., Wang Y., Tao Y., Zhang J., 2019. “Streamflow and rainfall forecasting by two long short-term memory-based models”, *Journal of Hydrology*, in press, 124296.
- [21] Latifoğlu L., Kisi O., Latifoglu F., 2015. “Importance of hybrid models for forecasting of hydrological variable”, *Neural Computing & Applications*, 26, 1669-1680.
- [22] Kisi O., Latifoğlu L., Latifoglu F., 2014. “Investigation of Empirical Mode Decomposition in Forecasting of Hydrological Time Series”, *Water Resources Management*, 28, 4045-4057.
- [23] Nourani V., Andalib G., Sadikoglu F., 2017. “Multi-station streamflow forecasting using wavelet denoising and artificial intelligence models”, *Procedia Computer Science*, 120, 617-624.
- [24] Fang W., Huang S., Ren K., Huang Q., Huang G., Cheng G., Li K., 2019. “Examining the applicability of different sampling techniques in the development of decomposition-based streamflow forecasting models”, *Journal of Hydrology*, 568, 534-550.
- [25] <http://www.dsi.gov.tr/faaliyetler/akim-gozlem-yilliklari> (Erişim Tarihi: Aralık 2019).
- [26] Golyandina N., Zhigljavsky A., 2013, *Singular Spectrum Analysis for Time Series*, Springer.
- [27] Sepp Hochreiter, Jurgen Schmidhuber, LONG SHORT-TERM MEMORY, *Neural Computation*, 9(8):1735-1780, 1997
- [28] Olah, C. (2015, 27 Mayıs), Understanding LSTM Networks, Erişim Adresi: <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/>



# Three-Channel Cost Function Based Artificial Bee Colony Algorithm for PID Tuning \*

Recep Kaya<sup>1</sup>, Murat Furat<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İskenderun Technical University, Institute of Engineering and Sciences, Electrical Electronic Engineering, Hatay, Turkey (ORCID: 0000-0002-0336-1800)

<sup>2</sup> İskenderun Technical University, Institute of Engineering and Sciences, Electrical Electronic Engineering, Hatay, Turkey (ORCID: 0000-0003-3179-5099)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.aracon50)

**ATIF/REFERENCE:** Kaya, R., & Furat, M. (2020). Three-Channel Cost Function Based Artificial Bee Colony Algorithm for PID Tuning. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 382-392.

## Abstract

Recently, interest in swarm intelligence optimization techniques (Particle Swarm Optimization, Genetic Algorithm, Tabu Research Algorithm, etc.) has increased and this issue has become the focus of attention especially for scientists. Optimum controller parameters can be found with less experience in a short time by using optimization algorithms. PID is a type of controller which is widely used in the industry. The characteristic of the PID controller has effected the controller coefficients and optimum parameters must be tuned for good control. The speed control of a DC motor that is commonly used in practice is one of the important problems in engineering. DC motors are economical as well as important electrical machines of both industrial applications and our daily life due to their ease of control and optimum moment-speed characteristics. The best values of  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  with classical methods are a time consuming problem. The use of meta-heuristic methods gives both speed and accuracy in finding optimum values. In this study, optimum parameters are determined for a PID controller using Artificial Bee Colony Algorithm (ABC). The PID controller is designed as a speed controller for DC motor and simulated. In the literature, generally, the optimization was carried out with a single cost function or a combination of different functions with appropriate gains. This type of approach does not fit for the PID controller optimization since the effect of each parameter is different on the output of the system. Because of this reason, the optimum value of each parameter has been searched separately by using the three-channel cost function. The proposed algorithm in the present study gives more successful results than the traditional ABC algorithm having a single cost function.

**Keywords:** Three-Channel Cost Function, Artificial Bee Colony Algorithm, Swarm Intelligence, PID, DC Motor.

## PID Ayarlama İçin Üç Kanallı Amaç Fonksiyonu Tabanlı Yapay Arı Kolonisi Algoritması

### Öz

Son zamanlarda, sürü zekası optimizasyonu tekniklerine (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Genetik Algoritma, Tabu Araştırma Algoritması, Yapay Arı Koloni Algoritması, vb.) ilgi artmıştır ve bu konu özellikle bilim adamları için ilgi odağı haline gelmiştir. Optimizasyon algoritmaları kullanılarak optimum kontrolör parametreleri kısa sürede daha az deneyim ile bulunabilir. PID, endüstride yaygın olarak kullanılan bir kontrolcü türüdür. PID kontrolcünün karakteristiği kontrolcü parametrelerine bağlıdır ve iyi bir kontrol için parametrelerin optimum değerlerde ayarlanması gerekir. Pratikte yaygın olarak kullanılan bir DC motorun hız kontrolü, mühendislikte önemli sorunlardan biridir. DC motorlar, kontrol kolaylığı ve optimum moment-hız özellikleri nedeniyle hem endüstriyel uygulamaların hem de günlük yaşamımızın ekonomik ve önemli elektrikli makineleridir.  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$ 'nin klasik yöntemlerle en iyi değerleri zaman alıcı bir sorundur. Meta-sezgisel yöntemlerin kullanılması, optimum değerlerin bulunmasında hem hız hem de doğruluk sağlar. Bu çalışmada, Yapay Arı Koloni Algoritması (ABC) kullanılarak bir PID kontrolörü için optimum

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

parametreler belirlenmiştir. PID kontrol DC motorun için hızını kontrol etmek amacıyla tasarlanmıştır ve benzetim çalışması yapılmıştır. Literatürde genellikle optimizasyon, tek bir amaç fonksiyonu veya farklı amaç fonksiyonlarının uygun kazançlarla bir kombinasyonu ile gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım yaklaşımı, PID denetleyicisi optimizasyonu için uygun değildir çünkü her parametrenin etkisi sistemin çıktısı üzerinde farklıdır. Bu nedenle her bir parametrenin optimum değeri üç kanallı amaç fonksiyonu kullanılarak ayrı ayrı araştırılmıştır. Bu çalışmada önerilen algoritma, tek amaç fonksiyonuna sahip geleneksel ABC algoritmasından daha başarılı sonuçlar vermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Üç-Kanallı Amaç Fonksiyonu, Yapay Arı Kolonisi, Sürü Zekâsı, PID, DA Motoru

## 1. Introduction

The ease of controls of DC motors and their economical low cost solutions with their optimum moment-speed characteristics make these engines home appliances, industrial, robotic, etc. has given it the opportunity to practice in many areas The speed control of the DC motors was carried out by Ward Leonard for the first time in 1891 with voltage adjustment [1]. Although there are studies on speed control of a wide range of alternating current (AC) motors, which are widely used in the industry, this feature, which is inherent in the nature of DC motors, has not yet been achieved in AC motors. For this reason, traditional DC motors maintain their indispensable position in various industrial application areas and these engines will remain competitive in the future. Proportional-Integral-Derivative (PID) controller is one of the most common controllers used in industry for many years for process control applications. There are a variety of control techniques for speed control of DC motors.

There are several traditional and numerical controller types, such as proportional integral (PI), Fuzzy PID (FLC) or optimization. Each controller type has its own advantages and disadvantages [2]. In a recent study, it was stated that most of the inspection bodies in industrial applications are of the PI / PID type [3]. The correct setting of PID parameters has an important place in terms of the performance of the system under control. These parameters, which depend on the system model, were determined by the Ziegler-Nichols (Z-N) method for many years by analyzing the unit step response of the system. In practice, operator assistance is required for this process. The operator decides what the PID parameters should be by using various tests on the system. Although this process is difficult, it is also a long process in terms of time. Moreover, the optimum parameters to be obtained at the end of the process can't be guaranteed. Recently, many meta-heuristic algorithms have been used to obtain an optimal PID controller which achieve different levels of performance success. Thus, the task of the operator is transferred to algorithms, and many controller parameters are evaluated according to a particularly systematic and the best or best in the potential solution area [4]. Moreover, this process is completed in a shorter time. Successful application of ABC to numerical problems, traveler vendor problems, power system controller design, fuzzy data clustering and route planning problem encourages selection of the algorithm for this study. ABC algorithm was proposed by Karaboğa in 2005 and examined the behavior of bees living in the colony and turned it into a model [5].

The organization of the study is as follows:

Following the Introduction, in Chapter 2, preliminary information about swarm intelligence and artificial bee colony algorithm is given. In Chapter 3, the proposed method with the changes made on the artificial bee colony algorithm is explained and simulation results are given as graphically. The conclusion section is given in the last chapter.

## 2. Material and Method

### 2.1. Swarm Intelligence (SI)

SI is an important optimization method. SI is the total behavior shown by decentralized, natural or artificial self-organizing systems. The swarm intelligence algorithm was first implemented in a computer by using a simulation software [6].

Different from evolutionary algorithms, SI algorithms are an artificial intelligence discipline that deals with the investigation of the behaviors that have emerged as a result of the interaction of living individuals with each other and their habitats and transforming them into a model. The term SI was first introduced in [7].

In order for the swarm's behaviors interacting with each other and their environment to be evaluated within the scope of herd intelligence, it must have the following characteristics:

- The number of individuals should be sufficient.
- Individuals are generally the same type.

It should have an indirect coordination mechanism between factors and actions. So, one action's leave in the environment is a stimulating effect for the other action to take place [8].

- Division of Labour: When the behavioral model of bees evaluated within the scope of swarm intelligence, some of the bees search for food randomly according to their abilities, some of them concentrate on the food source and some of them give information about the food sources [5].

## 2.2. Artificial Bee Colony Algorithm

In ABC, the bee's research behavior is modeled so that numerical problems are optimized. It is a meta-intuitive algorithm based on herd intelligence. This algorithm is based on the model which was created especially on the bees' foraging behavior of honey bees. The model has three different parts: employed and unemployed foraging bees and food sources. Although the number of bees living together is high, there is no hitch or turmoil in the hive, thanks to the excellent division of work and self-organizing capabilities [5]. In the algorithm, bees are identified by positions in the search space. The matrix size of the food sources search area determines the parameters' number to be optimized in the problem. In the algorithm, bees are identified by positions in the search space. The size of the search space determines the number of parameters to be optimized in the problem. Each of the bees works towards a food source in the search space. Bees' positions, so food sources, are also possible solutions to that problem. The best food source is evaluated by calculating the suitability value using a cost function. Bees change their new positions according to their previous positions and positions of other best food sources. In the search area, the position of the best food source found by bees is assigned as the solution to the problem. Artificial bee colony consists of three different groups of bees. These; EBs finding food sources are OBs watching the dance of EBs to choose the best food sources and SBs searching random food. Half of the population is made up of EBs and the other half is OBs. First, in the algorithm, EBs find new food sources and measure the nectar amount with the cost function to determine the suitability of the food sources they find. Then they start searching for a new food source that is more suitable for their neighborhood. When an EB finds a more suitable new food source, they leave the previous food source to the OBs and memorize this new food source. The EB, who cannot find a new food source that is more suitable as the number of iterations, turns into a SB and starts searching randomly in the search area after releasing the food source.

There are three types of bees in artificial bee colony:

- Employed bees (EBs)
- Onlooker bees (OBs)
- Scout Bees (SBs)

EBs searching for specific food sources, OBs watching the dances of EBs to choose a food source from bees in the hive, and SBs looking for random food sources. Employed and SBs are also unemployed bees. Initially, all food source locations are randomly selected by scout bees. Later, food sources nectar is collected by EBs and SBs, and this causes the nectar to be depleted as a result of constantly collecting food sources. Then the EB that uses the exhausted food source becomes the scout bee to find new food sources. So, the bee that has consumed its food source becomes a scout bee. In ABC, the locations of food sources correspond to a possible solution to the problem, and the nectar ratio of a food source corresponds to the quality (cost) of this solution. The number of EBs in the hive is equal to the number of food sources (solutions) since each bee used is associated with only one food source.

Conventional ABC algorithm consists of 5 steps as follows:

- Initialization Step,
- Employed Bees Step,
- Onlooker Bees Step,
- Scout Bees Step,
- Loop Until Termination.

### 2.2.1. Initialization Step

All positions of the population of food sources,  $\vec{x}_i$  are initiated by SBs ( $i=1 \dots SN$ ,  $SN$ : population size) and allows adjustment of control parameters. Since every food source  $\vec{x}_m$  is a solution value to the optimization problem, each  $\vec{x}_i$  vector holds the  $n$  variable ( $\vec{x}_i, i = 1, \dots, n$ ) to be optimized by minimizing the cost function.

The following expression can be used for algorithm purposes [8], [9]:

$$x_{ij} = lb_i + rand(0,1) * (ub_i - lb_i) \tag{1}$$

where  $lb_i$  and  $ub_i$  are bounds of the parameter  $x_{ij}$ , respectively.

### 2.2.2. Employed Bees Step

While determining appropriate solution values in the search area, EBs randomly determine one of the food sources and calculate the suitability of this food source, that is, the solution value. EBs store the solution value obtained. Then, as EBs turn to food sources, the information in the memory determines a better food source according to the purpose of the problem and these solutions are updated and kept in memory. Here, it is worth noting that as long as the value of each good solution improves, the values will be stored in memory as follows [10]:

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \tag{2}$$

where  $\vec{x}_{ij}$ , is the solution value of a randomly selected food,  $j$  is the index number of the randomly selected parameter, and  $\phi_{ij}$  is a randomly generated number in the range  $[-a, a]$ . After the new food source  $\vec{v}_i$  is produced, its suitability is calculated and if it is better than the previous solution  $\vec{x}_i$ , the greedy choice is applied between  $\vec{v}_i$  and  $\vec{x}_i$ .



The cost value of the solution,  $f_i(\vec{x}_i)$ , can be calculated for problems minimizing the cost value using the formula as [11]:

$$f_i(\vec{x}_i) = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i(\vec{x}_i)} & \text{if } f_i(\vec{x}_i) \geq 0 \\ 1 + \text{abs}(f_i(\vec{x}_i)) & \text{if } f_i(\vec{x}_i) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

where  $f_i(\vec{x}_i)$  is the cost function value of solution  $\vec{x}_i$ .

### 2.2.3. Onlooker Bees Step

There are two different bee groups for unemployed bees: OBs and scouts. The EBs transfer the position information of the food source to the OBs waiting in the hive by dancing, and then the OBs select the food sources within the appropriate probability values according to this information.

In the ABC algorithm, OBs choose a better food source based on probability values calculated with the suitability value of the solution determined by EBs. Therefore, a cost-based selection technique, such as a roulette wheel selection method, can be used. [9].

The probability value  $p_i$  of  $\vec{x}_i$  selected by an onlooker bee can be calculated using the expression given in the formula [10], [11].

$$p_i = \frac{f_i(\vec{x}_i)}{\sum_{m=1}^{SN} f_i(\vec{x}_i)} \quad (4)$$

After the  $\vec{x}_i$  selection, which is the probability value of a food source for an onlooker bee, the neighboring new food source is determined using the  $\vec{v}_i$  Eq.(2) and the cost value is calculated. As in the employed bee stage, a greedy choice is applied between  $\vec{v}_i$  and  $\vec{x}_i$ , whichever is better. Therefore, more viewers are sent to richer food sources and positive feedback behavior arises.

### 2.2.4. Scout Bees Step

As explained above, after the stages of sending EBs and OBs to food sources are completed, if the counter limit value has passed, that is, if the cost value of the solution cannot be improved anymore, the explorer bee phase begins.

In the life of real bees, this can be explained as follows:

If there is no nectar left in a food source, the EB responsible for collecting the nectar becomes an SB responsible for finding new food sources. In other words, for the solution value that cannot be improved at a certain limit value in ABC, just like the real bees' foraging behavior, EBs turn into SBs and a new food source is created by these SB and the solution value of the food source is calculated. The conformity value of the new food source created is compared with the conformity value of the previous solution and if the obtained solution value is better than the previous one, it is stored. If it is not better, the first solution remains in memory.

### 2.2.5. Loop Until Termination

All these steps are carried out as much as the number of iterations determined previously, and when the stop criterion is fulfilled, the algorithm is terminated and the loop is exited.

### 2.2.6. Summary of the ABC Algorithm

- The solution matrix is created as much as the number of random variables. The fitness values of the solution set created are found by the applied cost function.
- Improvement formula is applied to all solution matrices in order. If improvement is achieved in the solution matrix, the new solution matrix is replaced with the previous solution matrix.
- In solution matrices, the probability value of those with high suitability values is calculated to be high. Thus, the improvement formula is applied to the solution matrix chosen randomly according to the high probability, as in the previous stage.
- If there is a solution matrix that is not improved further up to the specified limit value, they are deleted from memory and a random solution matrix is created instead.
- Return to the second step until you reach the maximum number of iterations [10].
- In the literature, ABC algorithm is an easy, flexible and strong algorithm [9].

Each algorithm that shows an intuitive approach has global and local search features. In order to produce successful solutions, a global search and local search should be conducted in a balanced way in the solution space. When more attention is given to local search in the solution space, the solutions are very close to each other and early convergence problems, when global search is emphasized in the solution space, it causes the problems to move away from each other and not to find good solutions. In ABC algorithm, EB and SB perform the global search feature and the OBs perform the local search feature. Also, it is another factor that ensures local and global search equilibrium by the watchful bees to select good sources with probability.

In this study, new features have been integrated into ABC algorithm to reveal a stronger algorithm. Firstly, it is envisaged to make changes in all positions instead of the changes made in one position. The fact that EBs can find new sources in vector is provided by Eq. (5) instead of equation (2).

$$v_i = x_i + \theta_i(x_i - x_{ks}) \tag{5}$$

where  $\theta_i$  is a vector consisting of random numbers between 0 and 1 and an accelerator coefficient.

The  $s$  index in  $x_{ks}$  assigns a random position up to  $s = 1, \dots, PN$ , and provides improvement by using the value at that position, PN: Population Number.

Secondly, it was ensured that OBs turned to the best source and searched around it.

The tendency of OBs to conduct research around good resources has been made more effective by integrating Eq. (6) instead of Eq. (2) around neighboring resource research mechanism around the best global solution;

$$v_i = x_i + \theta_i \cdot (x_i - x_{kj}) \tag{6}$$

Here  $\theta_i$  is a vector consisting of random numbers between 0 and 1 and an accelerator coefficient.

The  $j$  index in  $x_{kj}$  assigns a random position up to  $j=1, \dots, OBN$ , and provides improvement by using the value at that position, OBN: Onlooker Bee Number.

The main purpose of the global best solution is that it can be realized only by the OBs and not the EBs, and the main purpose of the algorithm is to protect the global research feature. Also, considering that OBs are better suited to search for good solutions in the basic ABC algorithm, it is a correct decision to give the best solution to only OBs. ABC model developed with the proposed modification differs from other global solution-based ABC algorithms in the literature with this feature.

### 2.3. Optimum Speed Control of DC Motor

There are many methods in classical PID controller designs. Such as Ziegler-Nichols, Cohen Coon method etc. Since PID control is simple and easy to implement, it is still the preferred controller today. Although it has a wide range of applications, there is still no standard definition for PID. Conventional PID control consists of three independent parameters.

In the present study, a DC motor model is used as a plant to be optimized with PID controller. DC motor model used in the present study is shown in Fig. 1. In order to be more realistic with respect to real DC motor, band limited noise is added to the output of the model. 10V which correspondence to 1000rpm shaft speed is applied to the input of the system according to the open loop control and the output shaft speed is measured. In Fig. 2, The steady-state output produced is measured as 6V, which corresponds to the output shaft speed of 600rpm. The system is modeled as second order system as (7) [14]:

$$G(s) \cong \frac{Ke^{-t_d s}}{\tau_\rho s + 1} \cong \frac{K}{(\tau_\rho s + 1)(t_d s + 1)} \tag{7}$$

where  $K$  is the gain,  $t_d$  is the time delay and  $\tau_\rho$  is the time constant. Using the input-output plot of the system, the plant coefficients are found to be  $t_d=0.2260$ ,  $\tau_\rho=0.2479$ ,  $K=0.6$ . Then, band-limited noise is applied to the output of the model as shown in Fig. 1.

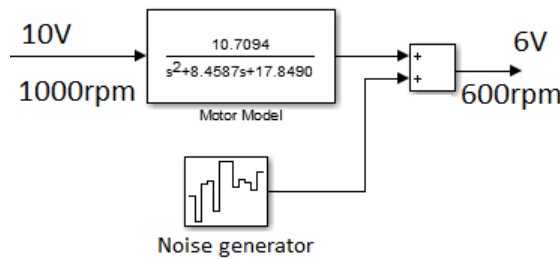


Fig. 1 The DC Motor Model with Noise

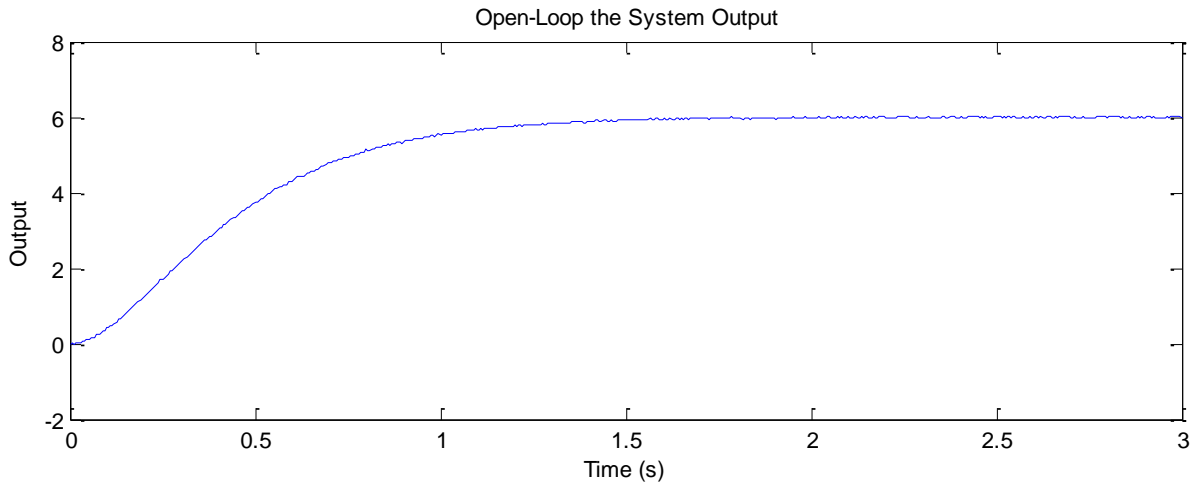


Fig. 2 Open-Loop the System Output

The general expression of the PID controller is as follows:

$$u(t) = K_p * e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t)dt + T_d * \frac{d(e(t))}{dt} \tag{8}$$

Transfer function of PID in Laplace form:

$$PID(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \tag{9}$$

where  $K_p$ : Proportional gain

$T_i$ : Integral time constant

$T_d$ : Derivative time constant

$e(t)$ : It is expressed as the difference between the given input value and the output.

When we run the classical artificial bee colony algorithm for the first time,  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  parameters determined randomly within specified bounds were first operated with the traditional ABC algorithm prepared for the PID. The cost function for all parameters of the PID is selected as:

$$ISE = \int_0^t e(t)^2 dt \tag{10}$$

For the  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  parameters, the cost value of (10) is minimized and the  $K_p$ ,  $K_i$  and  $K_d$  parameters, which correspond to the best cost value, are assigned as the control parameters of the DC motor. The structure of optimizing PID with ABC algorithm is in Fig. 3.

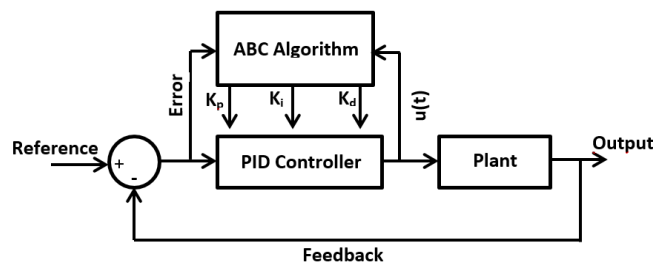


Fig. 3 Block diagram of PID optimization with ABC algorithm

## 2.4. Proposed Three-Channel Cost Function Based ABC

Traditional optimization algorithms inspired from nature are generally used with single cost function. In the PID controller, there are three parameters. The effect of each parameter on the output of the controlled system is different each other. If the value of proportional gain is small, steady-state error is observed at the output. On the other hand, large proportional gain produces overshoot at the output. In order to eliminate the steady-state error, integral gain is adjusted. Although, derivative term increases the dynamic response of the system, large derivative gain results in high frequency fluctuations in control input which is undesirable for real systems. Because of these reasons, it is not suitable to use single cost function to find optimum values of each PID parameter.

**Remark:** Since the effect of each parameter of PID at the output of the control system is different each other, appropriate cost functions should be defined to find optimum values of each PID parameter.

ISE, is the criterion that measures the performance of a system created by integrating the square of the system's error within a defined time interval; this performance measure criterion is often used in linear optimal control and probability theory [12]. One of the cost functions to be minimized in the classical PID algorithm is the ITAE performance criterion [13]. It is used to find optimum integral gain in the proposed ABC algorithm. Both ISE and ITAE is error-based functions that suitable characterize the corresponding PID parameters. Except those, the standard deviation is selected for optimizing derivative gain because small values of derivative gain are desired for real systems. Large values of derivative gain results in high frequency fluctuations having large magnitude which is highly undesirable for real systems.

In the present study, separate cost function is selected for each parameter of PID as follows:

$$\text{for } K_p, \text{ ISE} = \int_0^t e(t)^2 dt$$

$$\text{for } K_i, \text{ ITAE} = \int_0^t t|e(t)|dt \tag{11}$$

$$\text{for } K_d, \text{ Standard deviation of control input, } u(t) \tag{12}$$

The general flow chart of the proposed algorithm is given in Fig. 6. All of the cost values are calculated at the same time for the corresponding PID parameters.

### 3. Results and Discussion

Simulations are performed on a second order model of the system having noise at the output given in Fig. 1. Duration of the simulation is selected as 5s and the reference is given as 10V. 50 iterations are adjusted with 10 foods. In Fig. 4 the reduction of cost function selected for traditional ABC algorithm is illustrated. At the end of simulation, the output of the system is obtained as in Fig. 5. It is observed that the best parameters are obtained at 17<sup>th</sup> iteration with traditional ABC having single const function of (10).

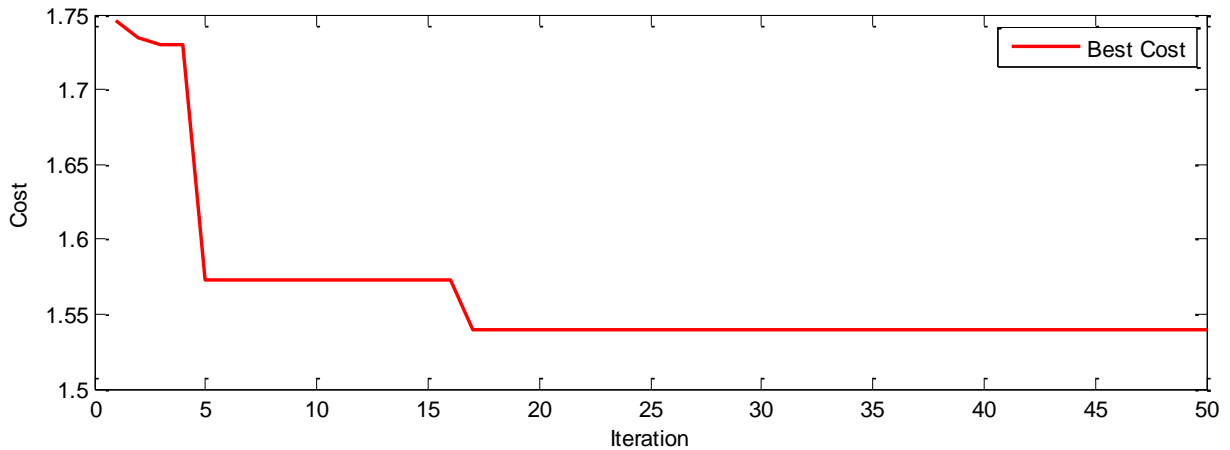


Fig. 4 Cost function change of traditional ABC algorithm

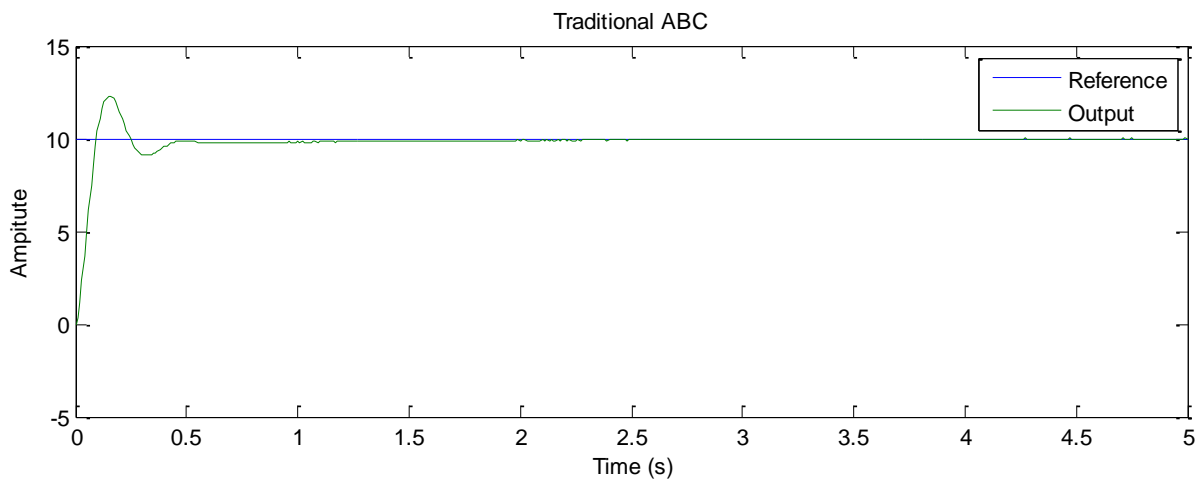


Fig. 5 Output of the system with optimized parameters of traditional ABC algorithm

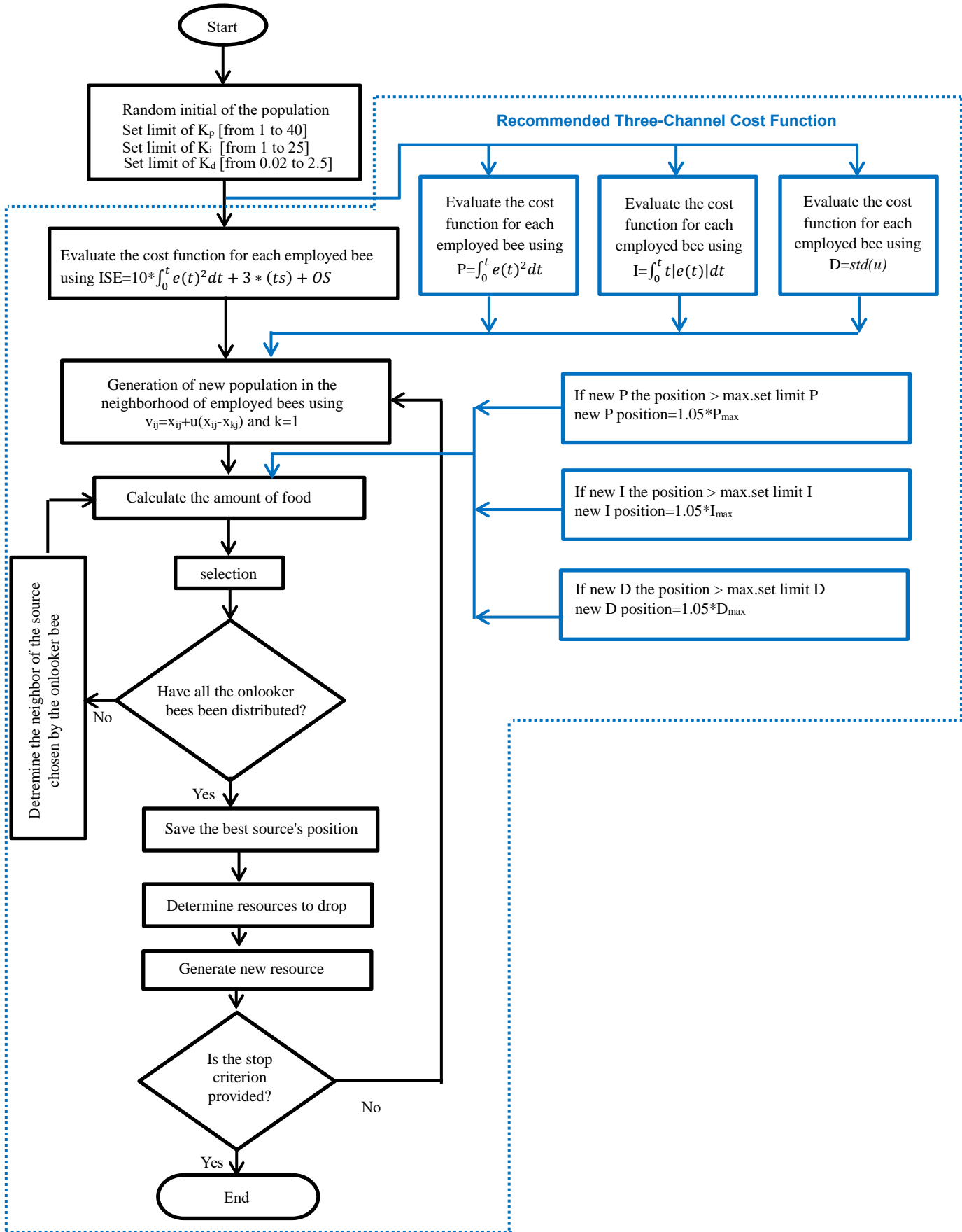


Fig. 6 Flowchart of proposed three-channel cost function based ABC algorithm



In the proposed ABC algorithm, instead of using single const function for all parameters of the PID controller, three-channel cost function is introduced for each parameter of PID controller. The simulation results with 50 iterations and 10 foods are shown in Figs. 7 - 10. The cost function performance of the proposed method is better than the traditional single cost function-based ABC algorithm.

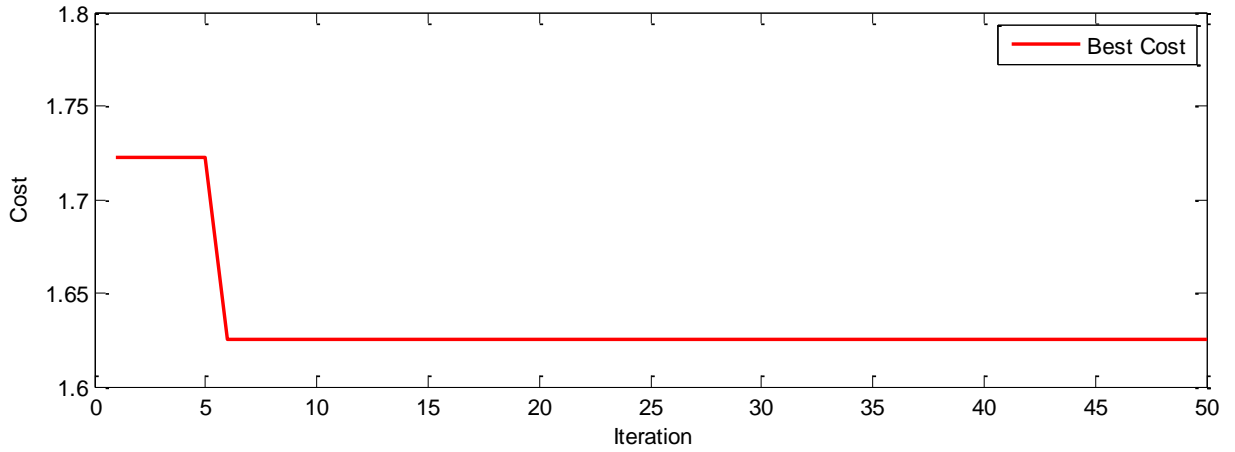


Fig. 7 Cost function change of proportional gain

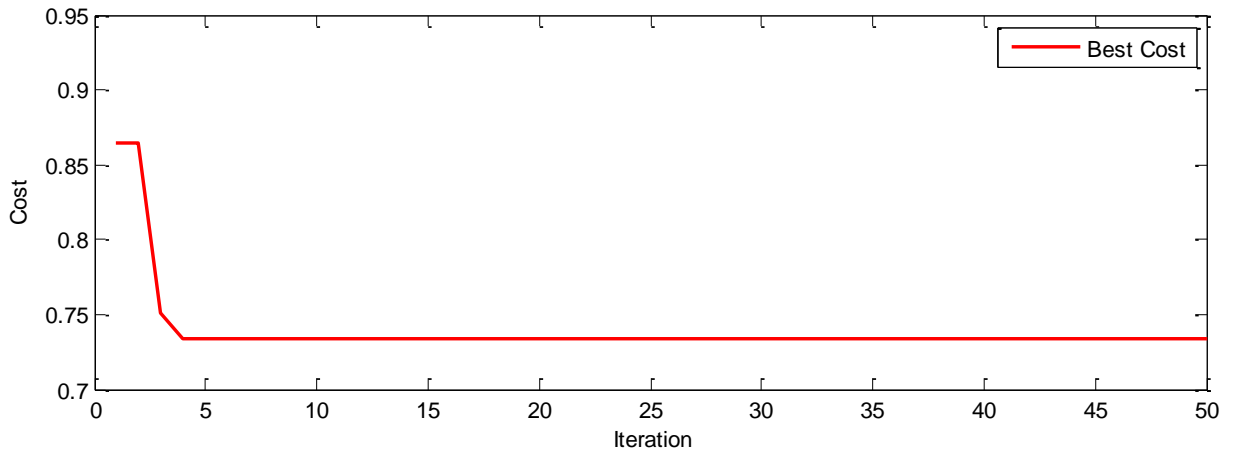


Fig. 8 Cost function change of integral gain

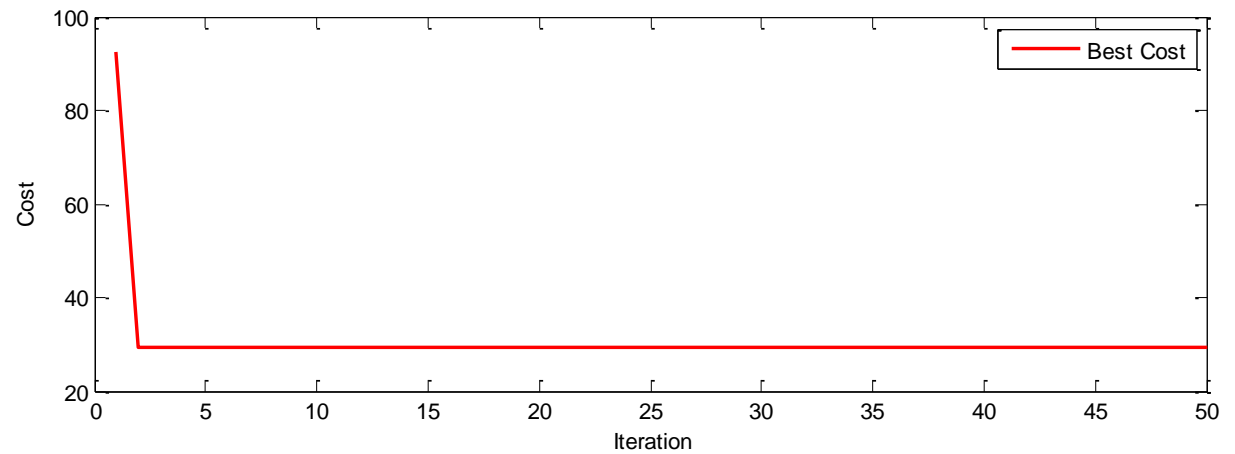


Fig. 9 Cost function change of derivative gain

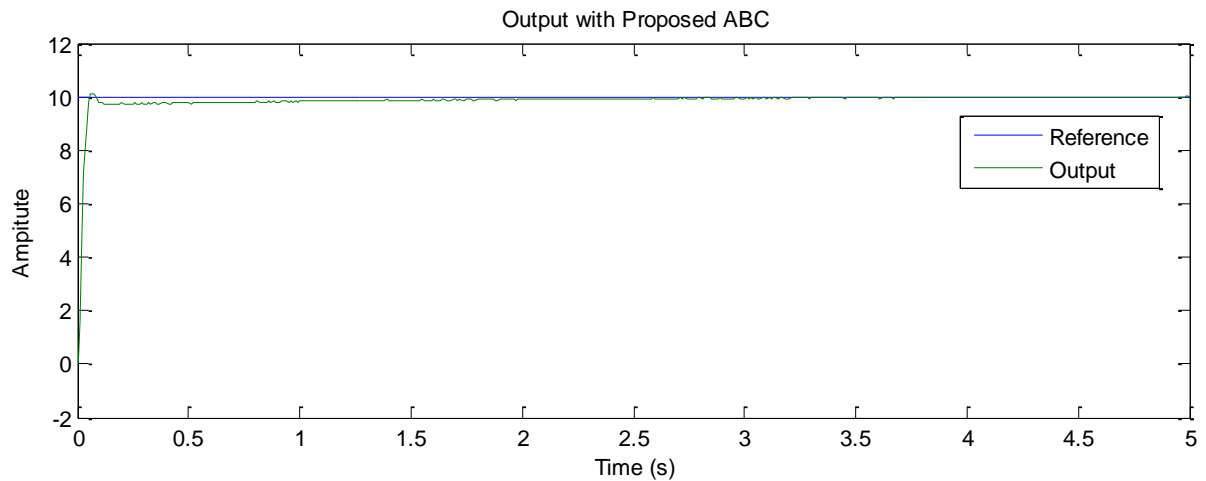


Fig. 10 Output of the system with optimized parameters of proposed ABC algorithm

The optimum PID parameters and corresponding performance values are in Table 1. The final values of ISE and ITAE show that, the performance of the proposed algorithm is better than the traditional one. In addition, there is no overshoot at the output of the system when the proposed algorithm is used. The produced control input is smoother when the proposed algorithm is used.

Table 1 Simulation results

Quantity	Traditional ABC	Proposed ABC
$K_p$	41.2058	27.4532
$K_i$	6.8154	15.4821
$K_d$	2.6144	2.3753
ISE	4.2014	1.6250
ITAE	0.8150	0.7373
Standard Deviation of $u(t)$	32.6335	22.8579

## 4. Conclusion

PID controller has three independent parameters but it is the most preferred controller because of well known characteristics of its parameters to the controlled system. On the other hand, it also important to reduce the optimizing cost of PID while using it for real systems. Since the effect of each parameter at the output of controlled system is different each other, three-channel cost function is introduced for optimization. The introduced three-channel cost function is used in ABC algorithm for PID control of a second order system having noise at the output. The simulation results are shown that the proposed cost functions give better output with less iteration. Consequently, it is better to use such types of cost functions for the controllers used in the optimization of real systems.

Future studies can be performed with different cost functions that characterize the PID parameters better than proposed functions in order to enhance the optimization algorithm.

## References

- [1] Bingöl, O., Pacaci, S., (2012) "A virtual laboratory for neural network controlled DC motors based on a DC-DC buck converter", *Int J Eng Educ*, 28(3), 713 – 723.
- [2] Singh, V., Garg, V. K., (2014) "Tuning of PID controller for speed control of DC motor using soft computing techniques – A Review", *International Journal of Applied Engineering Research*, Vol. 9(9), pp. 1141 – 1148.
- [3] Tepljakov, A., Gonzalez, E. A., Petlenkov, E., Belikov, J., Monje, C. A. and Petráš, I., (2016) "Incorporation of fractional-order dynamics into an existing PI/PID DC motor control loop", *ISA Trans*, vol. 60, pp. 262 – 273.
- [4] Çelik, E., Öztürk, N., (July 2017) "Doğru Akım Motor Sürücülerini için PI Parametrelerinin Simbiyotik Organizmalar Arama Algoritması ile Optimal Ayarı", *Bilişim Teknolojileri Dergisi*, Vol.10(3).
- [5] Öztürk, C., Hançer, E., Karaboğa, D., (2014) "Küresel En İyi Yapay Arı Koloni Algoritması İle Otomatik Kümeleme", *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, Vol. 29(4), pp. 677-687.
- [6] Mavrovouniotisa, M., Lib, C. and Yangc, S., (January 12,2017) "A survey of swarm intelligence for dynamic optimization: Algorithms and applications", Preprint submitted to *Journal of Swarm and Evolutionary Computation*.
- [7] Reynolds, C. W., (1987) "Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model". *Computer Graphics*. 21 (4), s. 25–34. doi:10.1145/37401.37406. ISBN 0-89791-227-6.
- [8] Dorigo, M. and Birattari, M., (2007) "Swarm intelligence" *Scholarpedia*, 2(9):1462, Access 11 March 2020, [http://www.scholarpedia.org/article/Swarm\\_intelligence](http://www.scholarpedia.org/article/Swarm_intelligence)
- [9] Karaboga, D. (2010) "Artificial bee colony algorithm" *Scholarpedia*, vol. 5(3), Access 11 March 2020, [http://www.scholarpedia.org/article/Artificial\\_bee\\_colony\\_algorithm](http://www.scholarpedia.org/article/Artificial_bee_colony_algorithm)

- [10] Özdemir, M., (2013) “Zaman Kısıtı Altında Takım Oryantiring Problemlerinin Yapay Arı Kolonisi Yaklaşımı ile Çözümü,” *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- [11] Karaboga, D, (2005) “An idea based on honey bee swarm for numerical optimization.” *Technical Report* TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department.
- [12] Integral Square Error. (n.d.) *McGraw-Hill Dictionary of Scientific & Technical Terms*, 6E. (2003). Access 11 March 2020, <https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/integral+square+error>
- [13] Maiti, D., Acharya, A., Chakraborty, M., Konar, A., and Janarthanan, R., (2008) “Tuning PID and PI/ $\lambda$  D  $\delta$  controllers using the integral time absolute error criterion.” In 2008 4<sup>th</sup> *International Conference on Information and Automation for Sustainability*, pp. 457-462. IEEE.
- [14] Furat, M., Eker, İ., (June 2012) “Experimental Evaluation of Sliding-Mode Control Techniques”, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, 27(1), pp. 23-37.



# Wishart Matris'lerinde En Büyük Özdeğer Olasılık Dağılım Fonksiyonlarının Karşılaştırılması\*

Hüsamettin Çelik<sup>1\*\*</sup>, Nurhan Karaboğa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7662-0674)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4550-5251)

((Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf51)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, H. & Karaboğa N. (2020). Wishart Matris'lerinde En Büyük Özdeğer Olasılık Dağılım Fonksiyonlarının Karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 393-398.

## Öz

Wishart matrisleri ve bu matrislerin özdeğer dağılımları telekomünikasyon, algılama teorisi ve çok değişkenli veri analizlerinde oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat bu dağılımlar önceden tanımlanmış herhangi fonksiyona benzemediğinden, kapalı bir fonksiyonla ifade edilmesi çok kolay olmamaktadır. Literatürde özellikle Wishart matrislerinin en büyük özdeğerinin olasılık dağılımı için yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda Wishart matrislerinin en büyük özdeğerine eklenen parametrelerle 1. dereceden Tracy-Widom dağılımına benzetilmektedir. Fakat dağılımın benzerlik ölçüsü eklenen parametrelere göre değişmektedir. Yapılan bu çalışma, Ma, Jhonstone, Deo tarafından önerilen en büyük özdeğer dağılım fonksiyonlarının performanslarını karşılaştırmayı amaçlamıştır. Benzetim çalışmaları farklı boyuttaki matrisler için uygulanmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarına göre, Deo tarafından sunulan en büyük özdeğer dağılım fonksiyonunun, 1. dereceden Tracy-Widom olasılık dağılımına en fazla benzediği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Kovaryans matrisi, En büyük özdeğer, Olasılık dağılım fonksiyonu, Tracy-Widom olasılık dağılımı, Wishart matrisi.

## Performance Analysis of Blind Source Algorithms in the Separation of Sound Signals

### Abstract

Wishart matrices and eigenvalue distributions of these matrices are widely used in telecommunication, perception theory and multivariate data analysis. However, since these distributions do not resemble any predefined functions, it is not easy to express them with a closed function. There are studies in the literature, especially for the probability distribution of the largest eigenvalue of Wishart matrices. In these studies, some parameters are added to the largest eigenvalue of Wishart matrices and they are likened to Tracy-Widom distribution of order 1. However, the similarity of the distribution varies according to the added parameters. This study aimed to compare the performances of the largest eigenvalue distribution functions proposed by Ma, Jhonstone, Deo. Simulation studies were applied for matrices with different dimension and the results were compared. According to the simulation studies, the largest eigenvalue distribution function presented by Deo was found to be most similar to the first order Tracy-Widom probability distribution.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7662-0674, [hcelik@erzincan.edu.tr](mailto:hcelik@erzincan.edu.tr)

**Keywords:** Covariance matrix, Maximum eigenvalue, Probability distribution function, Tracy-Widom probability distribution, Wishart matrix.

## 1. Giriş

Rassal matrislerin özdeğer dağılımları ve bu dağılımların kapalı fonksiyonları, haberleşme sistemleri, haberleşme kanallarının kapasite hesapları ve birçok hipotez testleri için kullanılmaktadır (Ciflikli & Ilgin, 2017; 2020). Bunların yanı sıra Wishart ve Gauss dağılımlı rassal matrislerinin en büyük özdeğerlerinin dağılımı, temel bileşen analizi de dahil olmak üzere çok değişkenli veri analizi alanında önemli rol oynamaktadır (Edelman, 2005; Johnstone, 2001). Özellikle Bilişsel Radyo uygulamaları ve spektrum algılama yöntemlerinde özdeğer dağılım fonksiyonlarına oldukça fazla ihtiyaç duyulmaktadır (Chen & Zhang, 2018; Mohammadi, Javadi, Ciunzo, Persico, & Pescapè, 351). Bunlara ek olarak haberleşme sistemlerinin kanal kapasite hesapları da yine özdeğer dağılım fonksiyonlarına dayanmaktadır. Bu nedenle karmaşık veya gerçek sonlu matrisler için en büyük öz değerin olasılık dağılım fonksiyonları kapalı olarak bazı çalışmalarda incelenmiştir (Ciflikli & Ilgin, 2017; Ma, 2012). Bu çalışmalardan birinde en büyük özdeğere çeşitli parametreler eklenerek, dağılımı 1. dereceden Tracy-Widom ( $TW_1$ ) olasılık dağılımına benzetilmeye çalışılmıştır (Ciflikli & Ilgin, 2018; Nadler, 2011). Yapılan başka çalışmalarda ise bu parametreler değiştirilerek  $TW_1$  olasılık dağılımına daha fazla yakınsadığı gözlemlenmiştir. Ayrıca en büyük özdeğerin olasılık dağılımını belirli kapalı fonksiyonlara benzetmek amacı ile farklı yöntemlerde uygulanmıştır. Yapılan bu çalışmaların hepsinin ortak amacı en küçük matris boyutlarında, özdeğer dağılımını belirli fonksiyonlara benzetmektir (Johansson, 2007).

Bu çalışmanın amacı ise literatürde bulunan en büyük özdeğer dağılımları için kullanılan bazı fonksiyonları karşılaştırmaktır. Bu bağlamda Wishart matrislerinin en büyük özdeğer dağılımını,  $TW_1$  'e benzetmek için çalışmalar yapılmış ve bunlar değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada farklı satır ve sütun sayısındaki Wishart matrisleri için farklı dağılım fonksiyonlarının analizi ve benzetim sonuçları verilmektedir.

Yapılan bu çalışmanın organizasyonu şu şekildedir: 2. Bölümde Wishart matrisleri ve bu matrislerin özdeğer dağılımları ile ilgili bilgiler verilmektedir. Benzetim çalışmalarında kullanılacak olan farklı olasılık dağılımlarının teorik ifadeleri de bu bölümde açıklanmaktadır. Yapılan çalışmanın benzetim sonuçları ve tartışma 3. Bölümde verilmektedir. Son olarak, 4. Bölüm'de ise sonuçlara yer verilmektedir.

Bu çalışmada küçük normal karakterler ( $x$ ) vektörleri, büyük koyu karakterler ( $X$ ) matrisleri temsil etmektedir. Ayrıca  $X'$  ifadesi devrik (conjugate, transpoz) matrisi belirtmektedir.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Wishart Matrisleri İçin En Büyük Özdeğer Dağılımı

Örnek kovaryans matrisi özdeğerleri ve bu özdeğerlerin olasılık dağılım fonksiyonları çok değişkenli istatistiğin temel konularından biri olmakla beraber son yıllarda üzerinde fazlaca çalışılan konular arasındadır.  $X$ ,  $n \times p$  boyutunda bağımsız aynı dağılımlı bir matris olmak üzere herhangi bir  $W$  matrisi  $W = XX'$  çarpımları şeklinde yazılabiliyorsa  $W$  matrisi Wishart matrisi olarak adlandırılır ve bu matris Wishart dağılımına sahiptir. Burada  $X$  matrisi ( $n \times p$ ) boyutunda karmaşık (complex) veya gerçek (real) olabilir ve  $X'$  onun eşlenik devriğini (konjuge transpozunu) belirtir.  $\mu_x$ ,  $X$  matrisinin ortalamasını,  $\Sigma$  kovaryans matrisini göstermek üzere  $\mu=0$  koşulu ile ( $n \times n$ ) boyutlarındaki kovaryans matrisi ise  $\Sigma = W = XX'$  olur.

Birçok hipotez testinde kovaryans matrisi,  $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$  durumu için özdeğerlerinden faydalanılarak, küresellik testleri, gürlütlü süreçlerde işaret algılama testleri gibi karar çıkarımları yapılmaktadır.  $\Sigma = \sigma^2 I_p$  olması durumunu göz önünde bulundurarak bu varsayım altında ( $n, p \rightarrow \infty$ ) iken  $e \equiv p/n \in (0, \infty)$  ve dağılımın varyansı  $\sigma$ , dağılımın merkezini gösteren  $\mu$  olup aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$L_j \equiv (\lambda_j / \sigma^2 - \tilde{\mu}_{n,p}) / \tilde{\sigma}_{n,p} \xrightarrow{D} TW_1 \quad (1)$$

Bu eşitlik 1. dereceden Tracy-Widom dağılımına yakınsar ki bu dağılım rassal hermit matrisinin en büyük özdeğerinin olasılık dağılım fonksiyonunu belirtir (Johnstone, 2001).

Burada

$$\tilde{\mu}_{n,p} = n^{-1}(\sqrt{n-1} + \sqrt{p})^2 \quad (2)$$

$$\tilde{\sigma}_{n,p} = \left(\frac{\tilde{\mu}_{n,p}}{n}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{1}{\sqrt{n-1}} + \frac{1}{\sqrt{p}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

tanımlanmış olup 1. dereceden Tracy-Widom dağılımını belirtir.

Ma yaptığı çalışmalar ile merkez  $\tilde{\mu}_{n,p}$  ve skala  $\tilde{\sigma}_{n,p}$  katsayılarını,

$$\mu_{n,p} = n^{-1}(\sqrt{n-1/2} + \sqrt{p-1/2})^2 \quad (4)$$



$$\sigma_{n,p} = (\mu_{n,p}/n)^{1/2} \left( \frac{1}{\sqrt{n-1/2}} + \frac{1}{\sqrt{p-1/2}} \right)^{1/3} \quad (5)$$

şeklinde değiştirmiş ve bu değişimle birlikte Eşitlik (6) ile verilen matematiksel ifade de sonlu örnek uzunlukları  $TW_1$  dağılımına daha çok yakınsadığını ispatlamıştır (Ma, 2012).

$$L_{ma} \equiv (\hat{\lambda}_1/\sigma^2 - \mu_{n,p})/\sigma_{n,p} \xrightarrow{D} TW_1 \quad (6)$$

Bu çalışmanın yanı sıra literatürde kovaryans matrisi özdeğer dağılımıyla ilgi oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Örneğin Nadler kuyruk olasılıklar için daha iyi bir yaklaşım elde edilebileceğini simülasyonlar yardımıyla göstermiştir (Nadler, 2011). Bu yaklaşım önemli bir gelişme sağlamakla beraber, hesaplama maliyeti dezavantajı ve uygun bir dağılım fonksiyonu olmadığı nedeniyle fazla kullanılmamıştır. Dahası, ikinci türev de negatif değerler alabileceğinden, fonksiyon negatif değerler üretebilir. Literatürde Wishart matrislerinin en büyük özdeğerleri ile ilgili yapılmış farklı çalışmalar da bulunmaktadır (Johnstone, 2001; Deo, 2016). Ancak, bu ifadeler hesaplama açısından daha maliyetlidir ve sadece karmaşık durum için geçerlidir. Nadler tarafından yapılan çalışma hesaplama açısından çok basit olmasıyla birlikte hem gerçek hem de karmaşık işaretlere uygulanabilir (Nadler, 2011). Belirli bir Wishart matrisinin varyans değerinin tahmini, oldukça önemlidir. Eğer Wishart matrisinin varyansı ( $\sigma^2$ ) bilinmiyorsa tahmini bir  $\hat{\lambda}_1$  değeri kullanılarak geliştirilebilir. Bununla birlikte  $\sigma^2$  tahmini için en basit ve kullanışlı kestirici  $W$  matrisinin ortalama izidir (Ciflikli & Ilgin, 2018; Deo, 2016).

$$\sigma_0^2 \equiv p^{-1} \text{trace}(\mathbf{W}) = p^{-1} \sum_{i=1}^p \hat{\lambda}_1 \quad (7)$$

Geliştirilmiş özdeğer yaklaşımı için 1. dereceden Tracy-Widom dağılımına bakmak gerekli ve yeterlidir. Bu dağılımda  $a \equiv E(W_1) = 1.267941$  ve  $b \equiv \sqrt{\text{var}(W_1)} = 1.267941$  olmak şartıyla  $W_1 \equiv W_1 - a/b$  olmaktadır ve sabit parametreler,

$$\mu_{n,p,0} = \mu_{n,p} + a\sigma_{n,p} \quad (8)$$

$$\sigma_{n,p,0} = b\sigma_{n,p} \quad (9)$$

olarak tanımlanmıştır.

Deo yaptığı çalışma ile  $\sigma_0^2$  sonuçları ile Eşitlik (10)'daki aynı sınır dağılımı içinde yer değiştirerek geliştirebileceğini göstermiştir (Deo, 2016; Ciflikli & Ilgin, 2017). Problemi daha iyi anlamak için standart 1. dereceden Tracy-Widom değişkeninin ele alınması uygundur,

$$E(\hat{\lambda}_1^s) = E \left[ \frac{\hat{\lambda}_1^s}{\sigma_0^{2s}} \right] (\sigma_0^{2s}) = E \left( \frac{\hat{\lambda}_1^s}{\sigma_0^{2s}} \right) E(\sigma_0^{2s}) \quad (10)$$

Burada  $\hat{\lambda}_1$  geliştirilmiş en büyük özdeğerin standart versiyonudur. Hesaplamalarda kullanılan,  $\hat{\lambda}_1/\sigma_0^2$  'nin  $\sigma_0^2$  'den bağımsız olması gerektiğinden herhangi pozitif tamsayı  $s$  için,

$$E \left( \frac{\hat{\lambda}_1^s}{\hat{\sigma}_0^{2s}} \right) = \frac{E(\hat{\lambda}_1^s)}{E(\hat{\sigma}_0^{2s})} \quad (11)$$

eşitliği yazılabilir.  $\hat{\sigma}_0^2$  'nin  $\sigma^2 X_{np}^2/(np)$  'den bağımsız dağıtılmış olmasından dolayı  $E(\sigma_0^2) = \sigma^2$  ve  $E(\hat{\sigma}_0^4) = 2\sigma^4/np$  olmaktadır.  $\hat{\lambda}_1$  'in tam olarak ortalaması ve varyansını bilinmediğinden asimtotik yaklaşım kullanılarak  $E = \hat{\lambda}_1/\sigma^2$  ve  $E = (\hat{\lambda}_1^2/\sigma^4) = \sigma_{n,p,0}^2 + \mu_{n,p,0}^2$  olduğundan bu değerler Eşitlik (11)'de yerine yazılırsa son olarak düzeltilmiş varyans  $\sigma_c^2$  elde edilir.

$$\sigma_c^2 = \text{var} \left( \frac{\hat{\lambda}_1}{\sigma_0^2} \right) = \frac{np}{2+np} (\sigma_{n,p,0}^2 - \mu_{n,p,0}^2) \quad (12)$$

ve bu durumda düzeltilmiş varyansla birlikte  $L_C$  istatistiği aşağıdaki gibi olur.

$$L_C \equiv (\hat{\lambda}_1/\sigma^2 - \mu_{n,p})/\sigma_{n,p,C} \xrightarrow{D} TW_1 \quad (13)$$

Böylece Eşitlik (13) ile verilen özdeğer dağılımı, Wishart matrisleri için yapılmış en güncel çalışma olmasıyla beraber benzetim çalışmaları ile de  $TW_1$  dağılımına en fazla benzeyen dağılımdır.

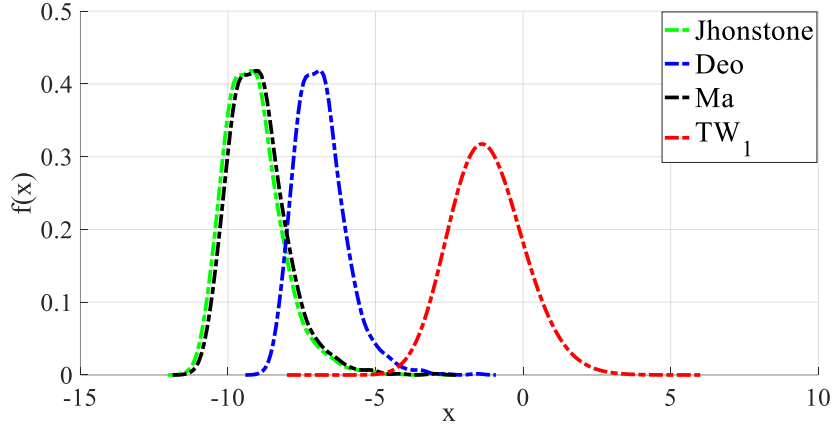
### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Bulgular

Yapılan benzetim çalışmalarında Rassal olarak oluşturulan 0 ortalamalı matrisler için kovaryans matrisleri hesaplanmış ve bu matrislerin en büyük özdeğer dağılımları için 2. Bölümde verilen fonksiyonlar temel alınmıştır. Ayrıca yapılan benzetim çalışmalarında Monte Carlo analizi için yöntemler 1000 kere çalıştırılmıştır. Sonuçların daha iyi yorumlanması için Ma, Deo, Jhonstone tarafından yapılan çalışmalar ile  $TW_1$  olasılık dağılımı aynı şekillerde verilmiştir.

Şekil 1'de  $n=500$ ,  $p=2$  için  $L_j$ ,  $L_{ma}$ ,  $L_{deo}$  istatistikleri verilmektedir. Görüldüğü üzere  $TW_1$  olasılık dağılımının merkezi yaklaşık olarak x ekseninde -1.38'de bulunmaktadır. Fakat benzetim çalışmalarında kullanılan diğer dağılım fonksiyonları Ma için -9.5, Jhonstone için -9.6 fakat Deo için yaklaşık -7 seviyesindedir. Deo olasılık dağılımı  $TW_1$  dağılımına çok yakınsamamakla birlikte

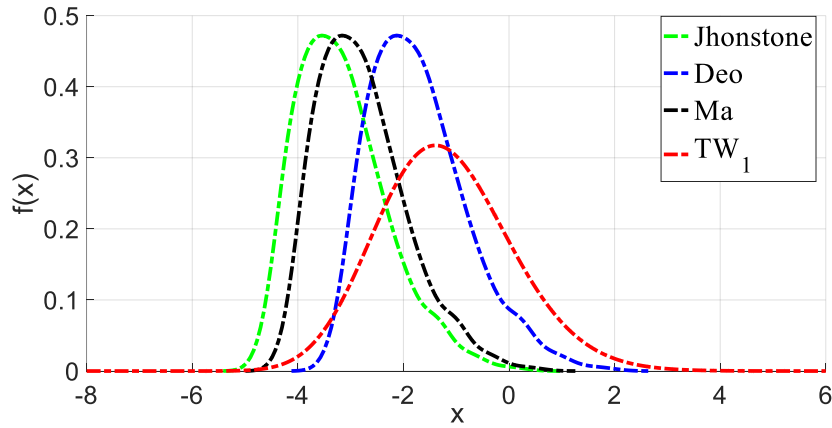
diğerlerinden daha doğru sonuç verdiği görülmektedir. Deo'nun önerdiği dağılımın yakınsama başarısı Eşitlik 1'e göre  $n$  ve  $p$  değerlerine doğrudan bağlıdır.



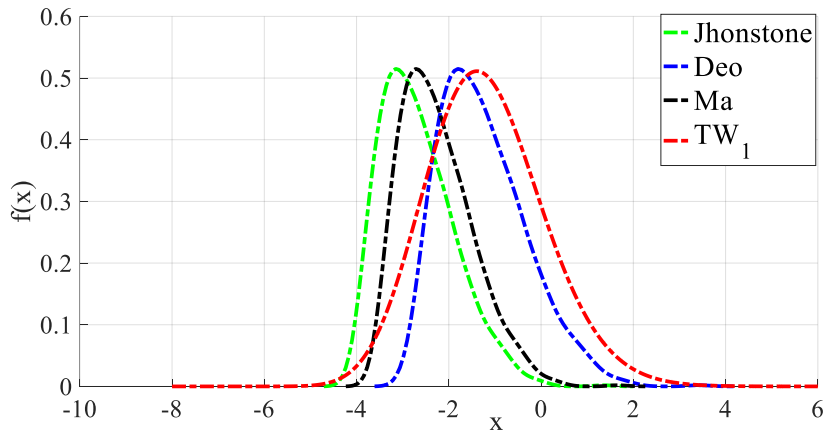
Şekil 1.  $n=500, p=2$  için  $L_j, L_{deo}, L_{ma}$  İstatistikleri

$n=1000, p=4$  değerlerinin benzetim sonuçları için Şekil 2'ye bakılabilir. Burada göze çarpan en büyük değişiklik, verilen bütün dağılımların Şekil 1 ile kıyaslandığında  $TW_1$ 'e daha fazla yakınsadığıdır.

Özellikle Deo tarafından öne sürülen dağılımın diğerlerine göre oldukça başarılı olduğu görülmektedir. Grafiğe dikkat edilirse dağılımların varyansı hemen hemen birbirlerine benzemekle beraber, gerçek farkın dağılımların ortalamasında olduğu görülmektedir.



Şekil 2.  $n=1000, p=4$  için  $L_j, L_{ma}, L_{deo}$  İstatistikleri



Şekil 3.  $n=10000, p=8$  için  $L_j, L_{ma}, L_{deo}$  İstatistikleri

Şekil 3'te ise bu çalışmada kullanılan en büyük Wishart matrisi için benzetim sonuçları verilmektedir. Deo tarafından yapılan çalışmanın,  $TW_1$ 'e oldukça benzediği görülmektedir.

Verilen şekillerdeki dağılımların ortalama değerlerinin 1. derece Tracy-Widom dağılımından ne kadar saptığını görmek amacıyla

$$\mu_{(Lj)} = |\mu_{TW1} - \mu_{Lj}| \quad (14)$$

$$\mu_{(Lc)} = |\mu_{TW1} - \mu_{Lc}| \quad (15)$$

eşitlikleri kullanılmıştır. Tablo 1'de standart 1. dereceden Tracy-Widom dağılımının merkezi ile Ma, Deo ve Jhonstone tarafından önerilen yöntemlerin karşılaştırılması tabloda gösterilmektedir. Tabloya bakıldığında Deo tarafından önerilen dağılım fonksiyonunun bütün matrisler için diğerlerinden daha doğru sonuçlar verdiği görülmektedir. Örneğin 4x1000 boyutunda bir matris için,  $\mu_{(Ma)}$  değerinin 1.72 olduğu görülmektedir. Aynı ölçütteki matris için  $\mu_{(Lj)}$  değeri 2.1 olarak ölçülmüştür.

Tablo 1. Dağılımların Ortalama Değerleri

Boyut	$\mu_{(Lj)}$	$\mu_{(Ma)}$	$\mu_{(Deo=Lc)}$
2x500	7.75	7.72	5.62
2x1000	7.37	7.35	5.17
2x10000	6.51	6.45	4.14
4x500	2.29	1.83	0.79
4x1000	2.1	1.72	0.72
4x10000	1.84	1.45	0.57
8x500	2.18	1.67	0.83
8x1000	2.01	1.54	0.69
8x10000	1.77	1.27	0.44

## 4. Sonuç

Bu çalışmada yapılan benzetim çalışmaları sonucunda literatürde bulunan bazı özdeğer dağılım fonksiyonlarının benzetim sonuçları verilmektedir. Böylece Bilişsel Radyo veya radar sistemleri için farklı uygulamalarda kullanılan özdeğer dağılım fonksiyonlarının başarımları incelenmiştir. Özdeğer dağılım fonksiyonları özellikle Bilişsel Radyo uygulamalarında spektrum algılama yöntemleri için oldukça önemlidir. Bu uygulamalarda standart özdeğer oranı gibi test istatistikleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle belirli matrislerin özdeğer dağılımlarını kapalı fonksiyonlarla ifade etmek için literatürde oldukça fazla çalışma yapılmıştır. Bu çalışma temelinde özdeğer dağılımı için verilen bazı kapalı fonksiyonların başarımlarının karşılaştırılması temel alınmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları Jhonstone, Ma ve Deo tarafından önerilen özdeğer dağılımını temel almaktadır. Yapılan benzetim çalışmaları sayesinde Deo tarafından önerilen en büyük özdeğer dağılım fonksiyonu, Wishart matrislerinin en büyük özdeğer dağılımını  $TW_1$ 'e en fazla yakınsayan fonksiyon olduğunu kanıtlanmıştır.

## Kaynaklar

- Chen, Z., & Zhang, Y. (2018). Cooperative energy detection algorithm based on background noise and direction finding error. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 326-341.
- Ciflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2017). Bilişsel radyo sistemleri için kör spektrum algılama yöntemlerinin farklı haberleşme kanallarındaki performans analizi. *Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar ve Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu*, (s. 251-252). Tokat.

- Ciflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2017). Bilişsel radyo sistemleri için özdeğer tabanlı algılama yöntemlerinde performans analizi. *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 32-37.
- Ciflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2017). On the performance analysis of blind spectrum sensing methods for different communication channels. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 1-5.
- Ciflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2018). Covariance based spectrum sensing with studentized extreme eigenvalue. *Tehnički vjesnik*, 100-106.
- Ciflikli, C., & Ilgin, F. Y. (2020). Multiple antenna spectrum sensing based on glr detector in cognitive radios. *Wireless Personal Communications*, 1915-1927.
- Deo, R. S. (2016). On the Tracy-Widom approximation of studentized extreme eigenvalues of Wishart matrices. *Journal of Multivariate Analysis*, 265-272.
- Edelman, A. (2005). Random matrix theory. *Acta Numer*, 1-65.
- Johansson, K. (2007). From gumbel to Tracy-Widom. *Probability Theory and Related Fields volume*, 75–112.
- Johnstone, I. M. (2001). On the distribution of the largest eigenvalue in principal components analysis. *Annals of statistics*, 295-327.
- Ma, Z. (2012). Accuracy of the Tracy–Widom limits for the extreme eigenvalues in white Wishart matrices. *Bernoulli* , 322-359.
- Mohammadi, A., Javadi, S. H., Ciuonzo, D., Persico, V., & Pescapè, A. (351). Distributed detection with fuzzy censoring sensors in the presence of noise uncertainty. *Neurocomputing*, 196-204.
- Nadler, B. (2011). On the distribution of the ratio of the largest eigenvalue to the trace of a Wishart matrix. *Journal of Multivariate Analysis*, 363-371.



# Ses İşaretlerinin Ayrıştırılmasında Kör Kaynak Algoritmalarının Performans Analizleri\*

Hüsamettin Çelik<sup>1\*\*</sup>, Nurhan Karaboğa<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7662-0674)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-4550-5251)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf52)

**ATIF/REFERENCE:** Çelik, H. & Karaboğa N. (2020). Ses İşaretlerinin Ayrıştırılmasında Kör Kaynak Algoritmalarının Performans Analizleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 399-404.

## Öz

İki veya daha fazla sesin karışımından birini elde etmek veya gürültülü ortamda kaydedilen seslerin gürültüden ayrıştırılması her zaman popülerliğini korumaktadır. Gürültü çeşidi, kaynağı ve seslerin karışım ortamları bilinmediği için ayrıştırma işleminde kullanılan algoritmaların işlem süresi ve performansları farklılık göstermektedir. Karışmış işaretleri ayrıştırmada kör kaynak algoritmaları kullanılmaktadır. Doğrusal karışmış işaret kaynaklarından oluşan veri kümesinden, işaretlerin veya gürültünün ayrı ayrı tahmin edilme işlemi kör kaynak ayrıştırma olarak ifade edilmektedir. Mühendislik uygulamalarında birçok yöntem olsa da tasarım kısıtlamaları ve gereksinimleri göz önüne alındığında hangi algoritmanın daha uygun olacağını analiz etmek gerekir. Bu çalışmada üç farklı yöntem olarak; Pearson bağımsız bileşen analizi (Pearson Independent Component Analysis -PICA), İkinci dereceden kör tanımlama ( Second-Order Blind Identification-SOBI) algoritması ve Ortak yaklaşım özdeğerlerin köşegenleştirilmesi (Joint Approximation Diagonalization of Eigen-matrices-JADE) algoritmaları karşılaştırılmıştır. Algoritmaların performans analizleri dikkate alınarak başarı oranları ve işlem sürelerine göre değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kör kaynak ayırma, ICA,PICA, SOBI, JADE.

## Performance Analysis of Blind Source Algorithms in the Separation of Sound Signals

### Abstract

Obtaining a mixture of two or more sounds or separating the sounds recorded in the noisy environment from noise is among the most studied topic. Since noise type, source and mixing environments of sounds are unknown, the processing time and performance of the algorithms used in the separation process differ. Blind source algorithms are used to decompose mixed signs. From the data set consisting of linear mixed signal sources, the process of estimating the signals or noise separately is expressed as blind source decomposition. Although there are many methods in engineering applications, it is necessary to analyze which algorithm will be more suitable considering the design constraints and requirements. In this study, as three different methods; Pearson independent component analysis (PICA), Second order blind identification (SOBI) algorithm and Joint approximate diagonalization of eigen matrices (JADE) algorithms were compared. It has been evaluated according to performance rates and processing times by considering the performance analysis of the algorithms.

**Keywords:** Blind Source Separation, ICA, PICA, SOBI, JADE.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Tercan Meslek Yüksekokulu, Bilgisayar Teknolojileri Bölümü, Erzincan, Türkiye, ORCID: 0000-0002-7662-0674, [hcelik@erzincan.edu.tr](mailto:hcelik@erzincan.edu.tr)



## 1. Giriş

Günümüzde birden fazla kişinin gürültülü ortamlarda konuşma sesinin kaydedilmesi ve gerektiğinde istenen kişi için sesinin ayırılması oldukça önemlidir. Tıp elektronigi, radar sistemleri, güvenlik, doğal afetler, ortam dinlemeleri ve yer tespitinde dinlenen sesin gürültüden arındırılması ve işlem süresinin kısıtlılığı hayati öneme sahip olabilir.

Bu çalışmanın amacı konuşma seslerini veya karışmış olan ortam gürültüsünü ayırtmada en uygun algoritmayı bulmaktır. Yapılan çalışmada Pearson bağımsız bileşen analizi (Pearson Independent Component Analysis-PICA) (Karvanen, Eriksson, & Koivunen, 2000), İkinci dereceden kör tanımlama (Second-Order Blind Identification-SOBI) (Belouchrani, Abed-Meraim, Cardoso, & Moulines, 1993; 1997) algoritması ve ortak yaklaşım özdeğerlerin köşegenleştirilmesi (Joint Approximation Diagonalization of Eigenmatrices-JADE) (Cardoso & Souloumiac, 1993) algoritmaları kullanılarak iki konuşma sesi ile beyaz gauss gürültüsü, rastgele karışım matrisleriyle karıştırılıp sonrasında üç farklı algoritma ile ayırılmıştır. Yapılan bu işlemlerden sonra sinyal/gürültü oranı kullanılarak üç farklı algoritmanın performans analizleri yapılmıştır (Ilgin, Celik, & Sevim, 2012; Celik, Ilgin, & Sevim, 2019).

Kokteyl parti problemi (Cocktail Party Problem) olarak adlandırılan bu yöntemde, farklı mesafelerde bulunan üç mikrofon ve aynı ortamda bulunan iki ses kaynağını ve bir gürültü işaretinin ağırlıklı karışımlarını kaydettiği varsayılmıştır. Bu çalışmanın kapsamı mikrofon ile kaydedilen sinyalleri birbirinden ayırarak kaynak işaretlere en yakın işareti elde etmektir. Bu işlem literatürde "Kokteyl Parti Problemi" olarak geçmektedir (Bronkhorst, 2000). Ortam itibariyle kaynak işaretlerinin ve gürültünün nasıl karıştığını bilmediğimizden ayırma işlemi kör kaynak ayırma olarak adlandırılmaktadır.

Literatürde kullanılan Bağımsız Bileşen Analizi (ICA) algoritması bağımsız bileşenleri ayırmak için oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir (Hyvärinen, 1984). Kör kaynak ayırma işleminde kullanılan yöntemlerin temelinde ICA algoritması bulunmaktadır. Başka bir yöntem olan Kernel Bağımsız Bileşen Analizi (KICA) algoritması (Bach & Jordan, 2002) başarımlı performansı iyi olsa da işlem süresi bakımından çok yavaştır.

Yapılan bu çalışmanın adımları: 2. Bölümde JADE, SOBI ve PICA algoritmalarının çalışma prensipleri hakkında bilgi verilmektedir. 3. Bölümde karşılaştırılan algoritmaların başarımlı oranı ve işlem süreleri ile ilgili bulgular verilmektedir. 4. Bölümde ise sonuçlara yer verilmektedir.

## 2. Materyal ve Metod

### 2.1. Bağımsız Bileşen Analizi (ICA)

Bağımsız bileşen analizi klasik bir yöntem olup bir dizi doğrusal olarak karışan çok değişkenli sinyallerden orijinal sinyalleri analiz etme yöntemidir. PICA algoritmasının da temelini oluşturmuştur. ICA işlevselliğinin özü istatistiksel bağımsızlığa dayanır. Bu model Eşitlik (1) ile ifade edilirse;

$$x(t) = As(t) \quad (1)$$

Burada,  $x(t)$  alınan sinyal vektörü,  $A$  karıştırma matrisi ve  $s(t)$  orijinal kaynaklar vektörüdür. ICA algoritmasında, ayırma matrisi olarak  $W$  matrisi,  $A$  matrisinin tersi olarak kabul edilir. Bunun sonucunda ICA modeli:

$$Wx(t) = y(t) \quad (2)$$

$y(t)$  tahmini kaynak sinyallerini temsil eder (Hyvärinen & Oja, 2000).

### 2.2. Pearson Bağımsız Bileşen Analizi (PICA)

Pearson sistemi, geniş kaynak dağılımlarını modellemek için kullanılacak parametrik bir kaynak dağılımıdır. Bu algoritma sabit doğrusal olmayan kontrast fonksiyonları ve maksimum olabilirlik yaklaşımını içermektedir. Doğrusal olmayan fonksiyon yaklaşımı tüm frekanslara eşit olarak uygulanır, ancak her frekans için gerçek konuşma sinyali farklı bir dağılıma sahiptir. Dağılım için diferansiyel denklem Eşitlik (3) ile tanımlanır:

$$f(x) = \frac{(x-a)f(x)}{b_0+b_1x+b_2x^2} \quad (3)$$

burada  $a$ ,  $b_0$ ,  $b_1$  ve  $b_2$  dağılım parametreleridir ve moment yöntemi ile tahmin edilebilir. Bağımsız bileşen analizinde maksimum olabilirlik yaklaşımı, varsayılmış kaynak dağılımının sonuç fonksiyonunu:

$$\varphi(x) = -\frac{f'(x)}{f(x)} = -\frac{(x-a)}{b_0+b_1x+b_2x^2} \quad (4)$$

olarak bulunur. Pearson sisteminde payda iki gerçek köke sahip olduğunda genelleştirilmiş beta dağılımını temsil etmektedir. Momentler yönteminde, teorik momentler örnek momentlerle tahmin edilir.

$$\hat{\alpha}_1 = \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i/n \quad (5)$$

verilerden hesaplanır. Ortalama sıfır ve varyans bir olduğunda, pearson sistem parametrelerinin tahmin edicileri için aşağıdaki formül elde edilir.

$$\hat{b}_1 = \hat{a} = -\frac{\hat{a}_3(\hat{a}_4+3)}{c} \quad (6)$$

Burada  $\hat{C} = 10\hat{a}_4 - 12\hat{a}_3^2 - 18$  olarak verilir. Pearson ICA algoritması hakkında daha fazla bilgi için kaynak (Karvanen, Eriksson, & Koivunen, 2000) ve (Kato, Nagahara, Araki, Sawada, & Makino, 2006) incelenmelidir.

### 2.3. İkinci Dereceden Kör Tanımlama Algoritması (SOBI)

İkinci dereceden kör tanımlama (SOBI) yöntemi, kaynak sinyali ve karıştırma matrisinin en iyi tahminini çözebilen ve ayrıca farklı kaynak sinyallerinden ayrılmış sinyal bileşenlerini elde edebilen orijinal gözlem verilerinin ikinci dereceden istatistiklerine dayanan kör kaynak ayırma yöntemidir (Belouchrani, Abed-Meraim, Cardoso, & Moulines, 1997). SOBI yöntemi, kaynak sinyal bileşenini tahmin edebilen ve göreceli olarak daha az veri noktası kullanarak birden fazla Gauss gürültü kaynağını ayırabilmektedir (Liu, Wang, Huang, & Yang, 2019). Bir dizi çalışmada modal parametre tanımlaması için umut verici bir alternatif olarak kabul edilmiştir (Rainieri, 2014). Son yıllarda, sinyal işleme ve mekanik arıza tespiti alanlarında SOBI yöntemi başarıyla uygulanmıştır.

Bu algoritma, sinyallerin zaman-korelasyon yapısı varsayımını çürütmek için ikinci sıra istatistiklere dayanır ve bunun için aşağıdaki adımların hesaplanmasını gerektirir:

- Beyazlatma
- Gecikmeli Korelasyon Matrislerinin Hesaplanması
- Ortak Köşegenleştirme

SOBI'nin ana konsepti, aşağıdaki ifadeye göre duran gecikmeli korelasyon matrislerinin diyagonal formu hakkında varsayımdır:

$$\begin{aligned} R_x(\tau) &= E\{x(t)x(t+\tau)^T\} \\ &= AR_s(\tau)A^T \end{aligned} \quad (7)$$

Burada  $R_s$ , kaynak sinyallerinin korelasyon matrisi ve  $R_x$  ise, gecikmeli korelasyon matrisidir.  $\tau \in \{\tau_j | j = 1, 2, \dots, k\}$  ve  $x(t)$  beyazlatılmış kovaryan matrisidir.

Eşitlik (7) dikkate alındığında tüm  $\tau$  değerleri için, tüm korelasyon matrislerini birlikte köşegenleştiren üniter bir  $U=BA$  matrisini oluşturur:

$$U^T R_x(\tau) U = R_s(\tau) \quad (8)$$

Bu nedenle, yaklaşık orijinal sinyaller  $U^# Bx(t)$  ile hesaplanır (Sahonero & Calderon, 2017).

### 2.4. Ortak Yaklaşım Özdeğerlerin Köşegenleştirilmesi (JADE)

JADE algoritması, dördüncü dereceden kümülatörlerin köşegenleştirilmesine dayanan kör kaynak ayırma yöntemidir. Köşegenleştirilecek matris sayısının artırılmasıyla kaynak ayırma işleminde iyileşme elde edilir (Cardoso & Souloumiac, 1993; Miettinen, Nordhausen, & Taskinen, 2017). Herhangi bir  $p \times p$  boyutunda  $M$  matris için dördüncü dereceden kümülatör matrisi şu şekilde tanımlanır:

$$C(M) = E[(x_{st} M x_{st}^T) x_{st}^T x_{st}] - M - M^T \text{tr}(M) I_p \quad (9)$$

burada  $x_{st}$  standartlaştırılmış bir değişkendir. JADE'de  $C$  matrisleri yaklaşık olarak dikey bir matris tarafından çapraz olarak köşegenleştirilir. Dördüncü dereceden çapraz kümülatörlerin toplamı;

$$J_{JADE}(W) = \sum_i \|diag(WF(M)_i W^T)\|^2 \quad (10)$$

şeklinde dir. Burada  $\|diag()\|^2$  köşegen karelerin toplamı anlamına gelir.  $F(M)$ ,  $M$  matrisin sabit bir sayıyla çarpımıdır.  $W$  ise kestirilecek parametre sayısını azaltmak için beyazlatılmış matristir (Hyvärinen, 1984).

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

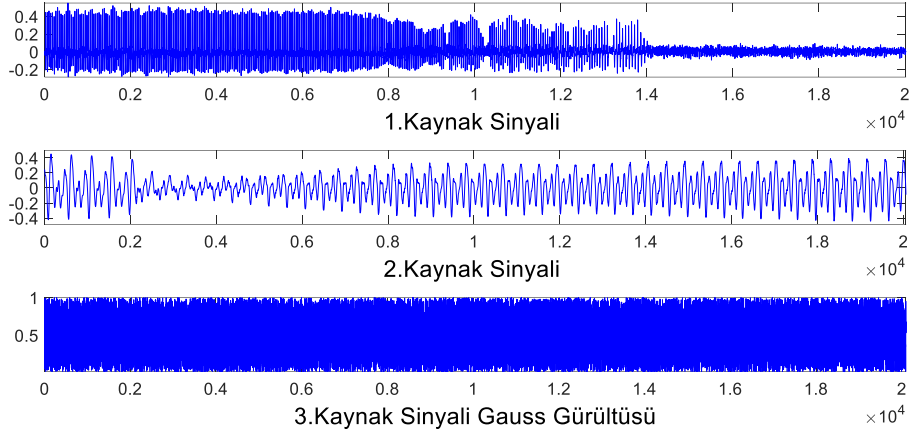
### 3.1. Bulgular

Bu çalışmada iki konuşma sesi ve gauss gürültüsü kullanılarak bir çalışma yapılmıştır. Rastgele seçilen karıştırma matrisleri ile bu üç işaret karıştırılarak PICA, SOBI ve JADE algoritmalarına uygulanmıştır. Algoritmaların stabil çalıştığını gözlemlemek için bu işlemler 100 kere tekrarlanmış ve sonuçlar dB cinsinden işaret/gürültü yani SNR oranı ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçların her bir algoritma için ortalamaları alınmıştır. SNR (dB) değerleri için Eşitlik (11) denklemi kullanılmıştır (Tan, 2007).

$$SNR (dB) = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\sum_{n=0}^{N-1} x^2(n)}{\sum_{n=0}^{N-1} (x_q(n) - x(n))^2} \right) \quad (11)$$

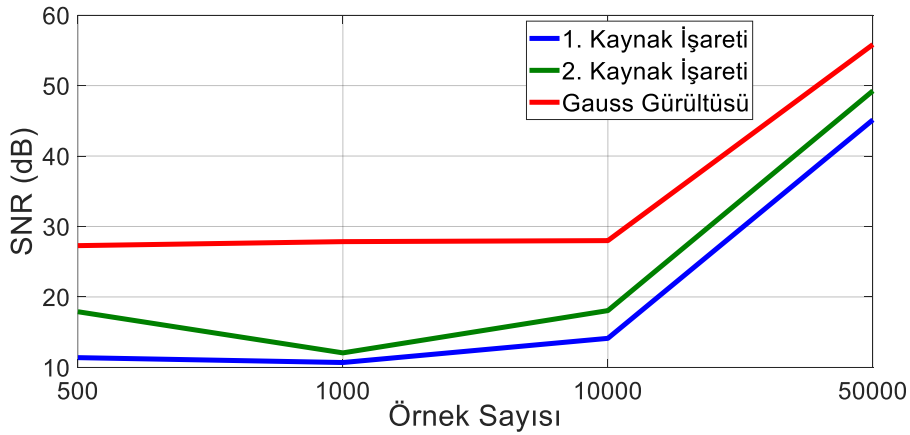
Kaynak işaretleri için 500, 1000, 10000 ve 50000 örnek sayısı alınarak sonuçlar incelenmiştir. Dört farklı sayıda veri uzunlukları dikkate alınarak algoritmaların performans analizleri yapılmıştır. Aynı zamanda algoritmaların işlem süreleri de kaydedilerek karşılaştırma yapılmıştır.

Şekil 1’de konuşma sesleri ve gauss gürültüsüne ait 20000 örnek sayısı için sinyaller gösterilmiştir. Burada kullanılan konuşma sesleri gürültüsüz ortamda kaydedilmiştir.

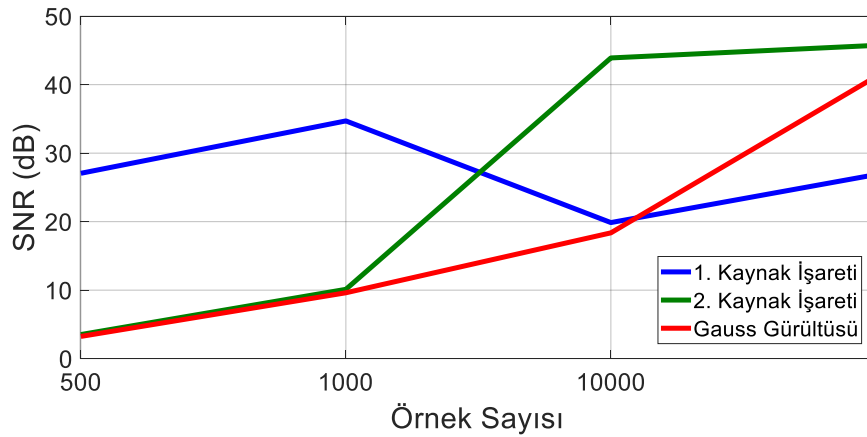


Şekil 1. Kaynak İşaretleri (1. ve 2. Sinyal Konuşma, 3. Sinyal Gauss Gürültüsü)

Her bir algoritma için kaynak işaretleri ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 2’de PICA algoritmasının çalıştırılması ile karışmış kaynak işaretlerinin SNR değerleri gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde kaynak işaretlerinin belirli bir veri boyutuna kadar SNR değerinin ortalama olarak sabit olduğu, sonrasında ise veri boyutu arttığında SNR değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Özellikle gauss gürültüsünü seslere nazaran daha iyi ayırtmıştır.



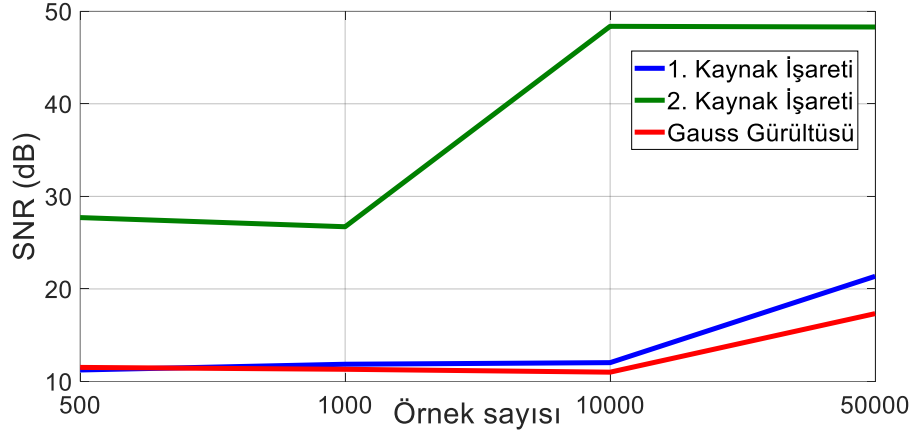
Şekil 2. PICA Algoritması SNR Değerleri



Şekil 3. SOBI Algoritması SNR Değerleri

Şekil 3 incelendiğinde SOBI algoritmasında Gauss gürültüsünü ve 2. kaynak işaretini iyi ayırttığı gözlemlenirken 1. kaynak işaretinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu düşüş sesin genliğine göre değişiklik göstermektedir. Genel itibarıyla bakıldığında tüm işaretleri en iyi ayırtıran SOBI algoritmasının olduğu görülmektedir.

Son olarak JADE algoritmasının performansı Şekil 4’de incelendiğinde ise 2. kaynak işaretinin ayrıştırılmasında oldukça başarılı sonuçlar ortaya çıkmıştır. Genel olarak üç algortmada da veri boyutuna bağlı olarak SNR değerlerinin arttığı görülmektedir.



Şekil 4. JADE Algoritması SNR Değerleri

Tablo 1’ de algoritmaların işlem süreleri verilmiştir. Örnek sayısı ile işlem süresi doğru orantılı olarak artmıştır. SOBI algoritmasının işlem süresi diğerlerine göre oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

Tablo 1. Algoritmaların Çalışma Süreleri

Örnek Sayısı	PICA	SOBI	JADE
500	2.05 sn	0.45 sn	0.91 sn
1000	2.86 sn	0.56 sn	1.22 sn
10000	5.24 sn	1,29 sn	2.17 sn
50000	7.13 sn	1.53 sn	3.08 sn

## 4. Sonuç

Kör kaynak ayırmada birçok yöntem olmakla beraber bu çalışmada üç yöntem karşılaştırılmış ve başarı oranları ile birlikte işlem süreleri incelenmiştir. Karışmış kaynak işaretlerinin ayrıştırılmasında kullanılan algoritmalar içerisinde örnek sayısına oranla PICA ve SOBI algoritmasının daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Diğer iki algoritmaya göre SOBI algoritmasındaki değişimler daha keskindir. Dikkat edilirse kaynak sinyallerin birbirinden ayrılması her algoritma için çok farklı sonuçlar çıkarmıştır. Birinde gürültüyü çok iyi ayrıştırırken diğerinde ikinci kaynağı çok iyi ayrıştırmıştır. İşlem süresi bakımından incelendiğinde ise SOBI algoritması, JADE algoritmasına göre iki kat, PICA algoritmasına göre ise dört kat daha kısa sürede işlem sonucu verdiği kanıtlanmıştır.

## Kaynaklar

- Bach, F. R., & Jordan, M. I. (2002). Kernel independent component analysis. (s. 1-48). Journal of machine learning research.
- Belouchrani, A., Abed-Meraim, K., Cardoso, J. -F., & Moulines, E. (1993). Second-order blind separation of temporally correlated sources. *In Proc. Int. Conf. Digital Signal Processing*, (s. 346-351). Citeseer.
- Belouchrani, A., Abed-Meraim, K., Cardoso, J. -F., & Moulines, E. (1997). A blind source separation technique using second-order statistics. *IEEE Transactions on Signal Processing*, (s. 434-444).
- Bronkhorst, A. W. (2000). The cocktail party phenomenon: A review on speech intelligibility in multiple-talker conditions. (s. 117-128). Acta Acustica united with Acustica.
- Cardoso, J. F., & Souloumiac, A. (1993). Blind beamforming for non-Gaussian signals. *IEE proceedings F (radar and signal processing)* (s. 362-370). IET Digital Library.

- Celik, H., Ilgin, F. Y., & Sevim, Y. (2019). Müzik işaretlerin tek kanal kör kaynak ayrıştırma ile ayrıştırılması. (s. 26-38). NWSA Engineering Sciences.
- Hyvärinen, A. (1984). Independent component analysis: recent advances. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, (s. 371).
- Hyvärinen, A., & Oja, E. (2000). Independent component analysis: algorithms and applications. (s. 411-430). Neural networks.
- Ilgin, F. Y., Celik, H., & Sevim, Y. (2012). Stable signal separation algorithm for ECG signals. *2012 International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications* (s. 1-4). IEEE.
- Karvanen, J., Eriksson, J., & Koivunen, V. (2000). Pearson system based method for blind separation. *Proceedings of Second International Workshop on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation (ICA2000)*, (s. 585-590). Helsinki, Finland.
- Kato, H., Nagahara, Y., Araki, S., Sawada, H., & Makino, S. (2006). Parametric-Pearson-based independent component analysis for frequency-domain blind speech separation. *14th European Signal Processing Conference*, (s. 1-5). Florence.
- Liu, X., Wang, H., Huang, M., & Yang, W. (2019). An improved second-order blind identification (SOBI) signal de-noising method for dynamic deflection measurements of bridges using ground-based synthetic aperture radar (GBSAR). *Applied Sciences*, (s. 3561-3561).
- Miettinen, J., Nordhausen, K., & Taskinen, S. (2017). Blind source separation based on joint diagonalization in R: The packages JADE and BSSasymp. *Journal of Statistical Software*.
- Rainieri, C. (2014). Perspectives of second-order blind identification for operational modal analysis of civil structures. (s. 1-9). Shock and Vibration.
- Sahonero, G., & Calderon, H. (2017). A comparison of SOBI, FastICA, JADE and infomax algorithms. *Proceedings of The 8th International Multi-Conference on Complexity*.
- Tan, L. (2007). *Digital Signal Processing: Fundamentals and Applications*. Academic Press.





# Comparative Analysis of the Effects of the Substrate Material and Deltoid Shaped Slots on Patch Antennas for 5G Networks at 37 GHz and 39 GHz\*

Bariş Gürçan Hakanoğlu<sup>1\*\*</sup>, Burak Koç<sup>2</sup>, Şekip Esat Hayber<sup>3</sup>, Hüsnü Yalduz<sup>4</sup>, Mustafa Türkmen<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Kirsehir Ahi Evran University, Vocational School of Kaman, Electronics and Automation Dept., Kirsehir, Turkey (ORCID: 0000-0002-5157-8414)

<sup>2</sup> Ankara University, Institute of Accelerator Technologies, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0001-9774-4126)

<sup>3</sup> Kirsehir Ahi Evran University, Engineering-Architecture Faculty, Electrical-Electronics Eng. Dept., Kirsehir, Turkey (ORCID: 0000-0003-0062-3817)

<sup>4</sup> Hitit University, Vocational School of Technical Sciences, Electronics and Automation Dept., Corum, Turkey (ORCID: 0000-0001-9776-3896)

<sup>5</sup> Erciyes University, Engineering Faculty, Electrical-Electronics Eng. Dept., Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-5257-8256)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf53)

**ATIF/REFERENCE:** Hakanoğlu, B. G., Koç, B., Hayber, Ş. E., Yalduz, H. & Türkmen, M. (2020). Comparative Analysis of the Effects of the Substrate Material and Deltoid Shaped Slots on Patch Antennas for 5G Networks at 37 GHz and 39 GHz. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 405-411.

## Abstract

In this study two rectangular patch antennas with deltoid shaped slots are proposed. It is aimed to show the effects of the slots for different frequencies and different dielectrics. The antennas are designed for 37 GHz and 39 GHz which are among the projected 5G frequencies in millimeter wave bands. For the designs RT5880 and RO3003 dielectric substrates are selected for each antenna to obtain the effects of the materials. At different operating frequencies and different substrate materials, the deltoid shaped slots result in different amounts of improvements in return loss levels. The antenna with the slots designed with RT5880 has a return loss reduction of 18.81 dB for 37 GHz and 16.37 dB for 39 GHz which means a progress in  $S_{11}$  levels of 44.47% for 37 GHz and 36.14% for 39 GHz. The antenna with the slots designed with RO3003 has a return loss reduction of 25.17 dB for 37 GHz and 27.54 dB for 39 GHz which means a progress in  $S_{11}$  levels of 58.44% for 37 GHz and 78.80% for 39 GHz. The results can give a good insight for antenna designers how the antennas react to same modifications at different frequencies for different substrate materials in millimeter wave bands.

**Keywords:** 5G, millimeter wave, low return loss, slot effects, patch antenna.

## 5G Ağları için Alttaş Malzemesi ve Deltoid Şekilli Yuvaların Yama Antenler Üzerindeki Etkilerinin 37 GHz ve 39 GHz'de Karşılaştırmalı Analizi

## Öz

Bu çalışmada deltoid şekilli yarıklara sahip iki dikdörtgen yama anten önerilmiştir. Farklı frekanslar ve farklı alttaşlar için yarıkların etkilerinin gösterilmesi amaçlanmaktadır. Antenler, milimetre dalga bantlarında öngörülen 5G frekansları arasında yer alan 37 GHz ve

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Corresponding Author: Kirsehir Ahi Evran University, Vocational School of Kaman, Electronics and Automation Dept., Kirsehir, Turkey, ORCID: 0000-0002-5157-8414, [bghakanoglu@ahievran.edu.tr](mailto:bghakanoglu@ahievran.edu.tr)

39 GHz için tasarlanmıştır. Tasarımlar için RT5880 ve RO3003 dielektrik alttaşlar, malzemelerin etkilerini elde etmek üzere her anten için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Farklı çalışma frekanslarında ve farklı alttaş malzemelerinde, deltoid şekilli yarıklar, geri dönüş kayıplarında farklı seviyelerde iyileşmeler sağlar. RT5880 ile tasarlanan yarıklara sahip antenin geri dönüş kayıplarında, 37 GHz için 18,81 dB ve 39 GHz için 16,37 dB iyileşme elde edilmiştir. Bu değerler yüzde olarak 37 GHz için %44,47 ve 39 GHz için %36,14'lük bir iyileşmeye karşılık gelir. RO3003 ile tasarlanan yarıklara sahip antenin geri dönüş kayıplarında, 37 GHz için 25,17 dB ve 39 GHz için 27,54 dB iyileşme elde edilmiştir. Bu değerler benzer şekilde yüzde olarak 37 GHz için %58,44 ve 39 GHz için %78,80'lik bir iyileşme anlamına gelir. Sonuçlar, anten tasarımcıları için, antenlerin milimetre dalga bantlarındaki farklı alttaş malzemeleri için farklı frekanslarda aynı modifikasyonlara nasıl tepki verdiğini göstermesi açısından önem taşımaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** 5G, milimetre dalga, düşük geri dönüş kaybı, yarık etkileri, yama anten.

## 1. Introduction

The increasing demand for faster mobile communication has resulted in searching for new technologies and standards. The latest improvements bring with them the higher demand for bandwidth and faster data transmission where today's latest technology, fourth generation long term evolution, 4G LTE, won't be able to accommodate. So, the wireless communication will use the bands which have never been utilized before and a new name which is fifth generation or 5G (Agiwal et al., 2016). 5G wireless communications are expected to significantly increase speed and data rates, and support the connection of billions of devices, including autonomous vehicles and smart appliances, through Internet of Things (IoT) (Rozenfeld, 2017). Federal Communication Commission (FCC) approved the allocation of large bandwidths at 28, 37 and 39 GHz in July 2016 (Federal Communication Commission Website, 2016). 5G communication will therefore create the need to investigate newer and more efficient designs for antennas. Due to their number of merits like low cost, easy fabrication and compatible dimensions with a variety of surfaces, microstrip patch antennas are popular choices for 5G communication systems. A major disadvantage of such antennas, however, is their limited bandwidth. This drawback can be overcome with different methods such as etching slots on the radiating patch or on the ground plane. For example, it has been found that introducing T and U-shaped slots on a microstrip patch antenna designed for S band produced enhanced return loss levels (Mishra et al., 2016). In recent studies, a circular slot is etched on a circular microstrip patch antenna to achieve low return loss levels at 5.8 GHz for wide-band applications (Ayyappan et al., 2016). Furthermore, defected ground method is used for gain and bandwidth enhancement of a coplanar waveguide fed patch antenna for wide-band applications (Saxena et al., 2016). Moreover, it is attained dual-band operations for Wireless Fidelity (Wi-Fi) and Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMax) applications using C-slot on a rectangular microstrip patch antenna (Yassin et al., 2014).

There are myriad studies and applications in wideband frequencies to improve characteristics of the antennas in terms of bandwidth and return loss. However, there are few proposals for millimeter wave (mm-wave) bands. In recent studies, a rectangular microstrip patch antenna is proposed with rectangular slot on the radiating part resonating at 10.15 GHz (Verma et al., 2016). A T-shaped patch antenna with defected ground plane is studied for 5G wireless networks which operates in multiple frequencies between 25.1 GHz and 37.5 GHz (Jilani & Alomainy, 2016). Additionally, the design issues for 5G broadband is investigated for a rectangular patch at 28 GHz and 60 GHz (Outerelo et al., 2015). It is clear that more advanced designs are required for mm-wave band to meet the demands of high bandwidth and efficient transmission.

In this study, we search for the effects of deltoid shaped slots on rectangular patch antennas at mm-wave frequencies. In addition, the effects are tested for two different dielectric materials. First, we design reference antennas operating at 37 GHz using the substrates RT5880 and RO3003 and reference antennas at 39 GHz using the substrates RT5880 and RO3003. These types of substrates are chosen for mm-wave designs because of their operating capability at wide frequency ranges. RT5880 substrates are glass microfiber reinforced polytetrafluoroethylene (PTFE) composites and RO3003 substrates are ceramic-filled PTFE composites (RT5870/5880 & RO3003 Data sheet). For improved radiation characteristics, we propose deltoid-shaped slots on the radiating parts of the antennas. Consequently, at both frequencies for both substrate materials it is obtained significant return loss decreases.

## 2. Materials and Method

The antenna prototype is shown in Figure 1. Reference antennas are designed separately on two different dielectric substrates which are Rogers RT5880 and RO3003 having relative permittivity of 2.2 and 3, respectively. For all models the dimensions of the substrates are optimized as  $W_{\text{subs}} \times L_{\text{subs}} = 10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$ , denoting the width with  $W_{\text{subs}}$  and the length with  $L_{\text{subs}}$ . For each substrate, we design two antennas for two different resonant frequencies. In order to perform a good comparison between the results physical heights of these substrates are chosen commercially available and almost equal to each other which are 0.254 mm for RT5880 and 0.25 mm for RO3003. After determining the operating frequency and the type of the substrate, the width and the length of the patch can be calculated using Equations 1-4 (Balanis, 2005).

$$W_p = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left( 1 + 12 \frac{h}{W_p} \right)^{-2} \quad (2)$$

$$\frac{\Delta L_p}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff}+0.3)\left(\frac{W_p}{h}+0.264\right)}{(\epsilon_{eff}-0.258)\left(\frac{W_p}{h}+0.8\right)} \tag{3}$$

$$L_p = \frac{v_0}{2f_r\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L_p \tag{4}$$

In the equations W is the width of the patch and L is the length of the patch. In addition,  $\epsilon_{eff}$  shows effective dielectric constant and  $\Delta L$  shows the length extension due to the fringing effects. All optimized dimensions for different substrates and frequencies are shown in Tables 1-3.

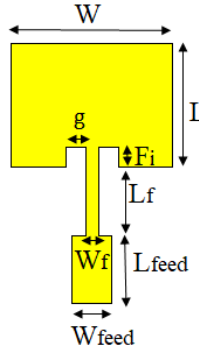


Figure 1. Reference antenna model for 37 GHz and 39 GHz operating patch antennas

Table 1. Optimized dimensions for the antennas with RT5880 dielectric substrate ( $\epsilon_r=2.2$ )

$f_r$ (GHz)	L (mm)	W (mm)	$L_{feed}$ (mm)	$L_f$ (mm)	$W_f$ (mm)
37	3.32	4.28	1.80	1.81	0.17
39	2.48	3.28	1.36	1.37	0.26

Table 2. Optimized dimensions for the antennas with RO3003 dielectric substrate ( $\epsilon_r=3$ )

$f_r$ (GHz)	L (mm)	W (mm)	$L_{feed}$ (mm)	$L_f$ (mm)	$W_f$ (mm)
37	2.87	3.79	1.54	1.55	0.14
39	2.14	2.87	1.16	1.17	0.16

Table 3. Optimized dimensions which are the same for all antenna prototypes

$f_r$ (GHz)	$F_i$ (mm)	g (mm)	$W_{feed}$ (mm)	
			$\epsilon_r=2.2$	$\epsilon_r=3$
37	0.40	0.40	0.78	0.63
39	0.40	0.40	0.78	0.63

For improved return loss levels, we propose deltoid shaped slots on the radiating part. Deltoid is composed of two isosceles triangles which gives us the possibility to control the operating frequency and return loss level by changing the dimensions of the diagonals. In the beginning the deltoid shaped slots are designed symmetrically having one corner on the face center point of the patch. Figure 2 shows the antenna with deltoid shaped slots.

Here diagonal\_y denotes the shorter diagonal in y-direction and diagonal\_x denotes the longer diagonal of the deltoid in x-direction. In addition, parameter distance\_x denotes the spacing between the slots and parameter distance\_y denotes the distance to the reference point in y-coordinate. All these parameters affect the performance of the antenna. So, a detailed parametric analysis is performed to attain the best results beginning from distance\_x=0 mm, distance\_y=0 mm diagonal\_y=0.001 mm and diagonal\_x=0.1 mm. To see the effects of the slots for different 5G frequencies the analysis is conducted for four antennas separately which are designed for 37 GHz and 39 GHz with two different dielectrics RT5880 and RO3003.

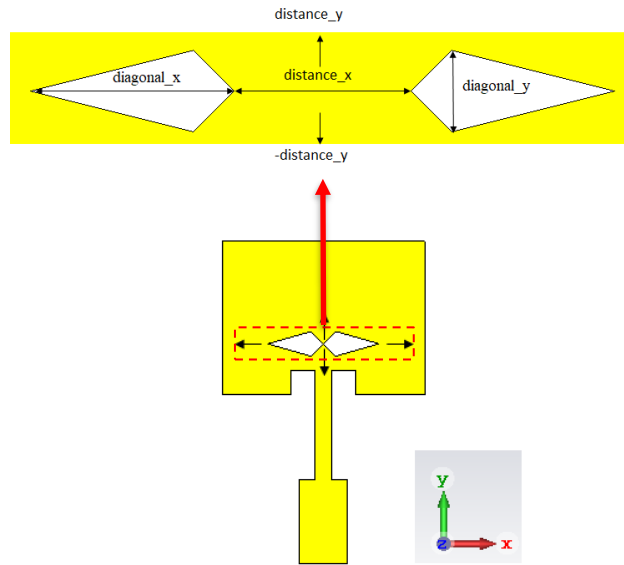


Figure 2. Proposed model with deltoid shaped slots for 37 GHz and 39 GHz operating patch antennas

### 3. Results and Discussions

The antennas are designed and optimized using the software CST Microwave Studio (Computer Simulation Technology, 2016). Figure 3 and Figure 4 show the reflection coefficient results of the conventional rectangular patch antennas and the reflection coefficient results of the proposed antennas with the dielectric substrate RT5880 and RO3003, respectively. For the substrate RT5880 the reference antennas resonate exactly at 37 GHz and 39 GHz with return loss levels of -42.30 dB and -45.29 dB, respectively. In addition, 10 dB bandwidths are 1.17 GHz for 37 GHz and 1.29 GHz for 39 GHz antenna. After the slots are etched and performed a detailed optimization return loss levels have decreased to -61.11 dB for 37 GHz and -61.66 dB for 39 GHz. The bandwidths for both frequencies have remained the same. For the antennas with the slots there occurred small frequency shifts, 37 GHz antenna resonates at 36.87 GHz and 39 GHz antenna resonates at 38.86 GHz.

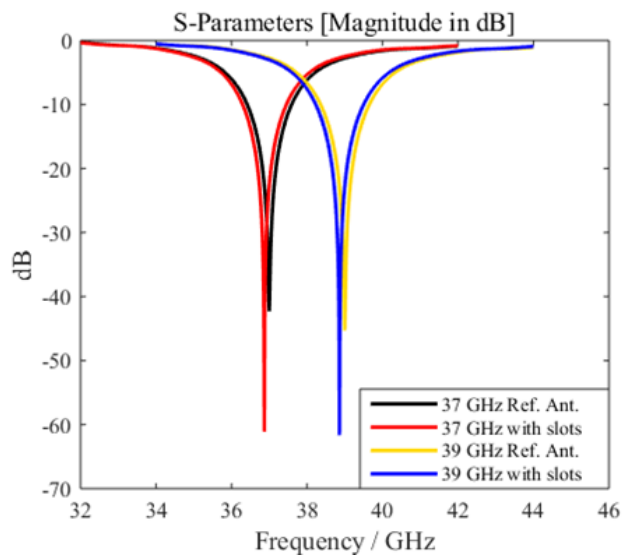


Figure 3.  $S_{11}$  results of the antennas with the substrate of RT5880 ( $\epsilon_r=2.2$ ,  $h=0.254$  mm).

The reference antennas designed with the dielectric substrate RO3003 without the slots have return loss levels of -43.07 dB for 37 GHz and -34.95 dB for 39 GHz. When the same procedure is applied with the slots the return loss levels has decreased to -68.24 dB for 37 GHz and -62.49 dB for 39 GHz. For both designs with RO3003 with and without the slots the bandwidths are 0.98 GHz for 37 GHz antennas and 1.07 GHz for 39 GHz antennas.  $S_{11}$  results are shown in Figure 4 both for the reference antennas and the proposed antennas. There occurred small frequency shifts also here, 37 GHz antenna resonates at 37.15 GHz and 39 GHz antenna resonates at 38.94 GHz.

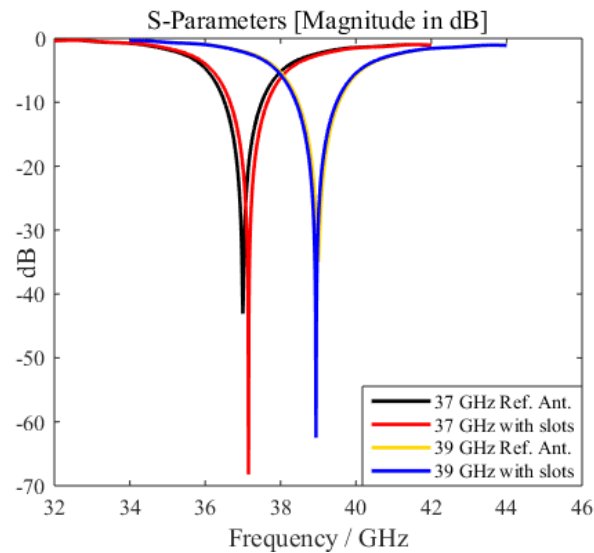


Figure 4.  $S_{11}$  results of the antennas with the substrate of RO3003 ( $\epsilon_r=3$ ,  $h=0.25$  mm)

From the figures, it can clearly be concluded that the return loss reductions with higher dielectric substrate has been more than the reductions with RT5880 for both frequencies. Figure 5-8 show the far field patterns for the proposed antennas. While main lobe magnitude for 37 GHz antenna with RO3003 substrate increases by 0.08 dBi compared to the antenna with RT5880 substrate, 39 GHz antenna with RO3003 has 0.04 dBi lower main lobe magnitude level compared to the antenna with RT5880 substrate. In addition, both 37 GHz antenna and 39 GHz antenna with RT5880 substrate have higher value of 3 dB angular width than the antennas with RO3003.

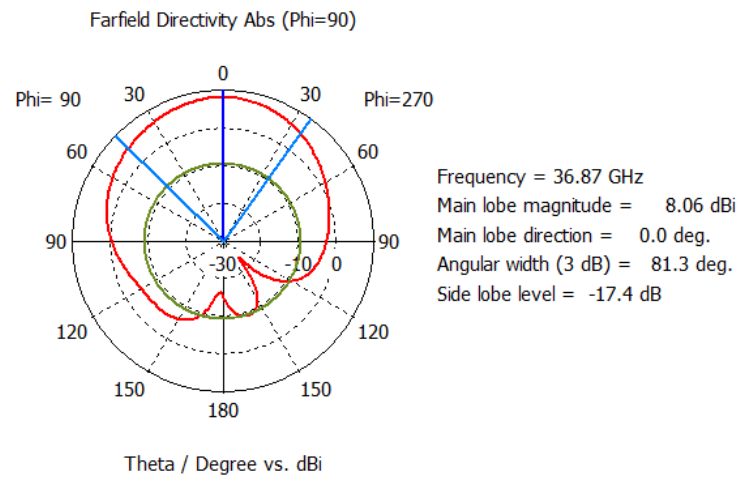


Figure 5. Far field patterns of 37 GHz antenna with deltoid shaped slots (RT5880)

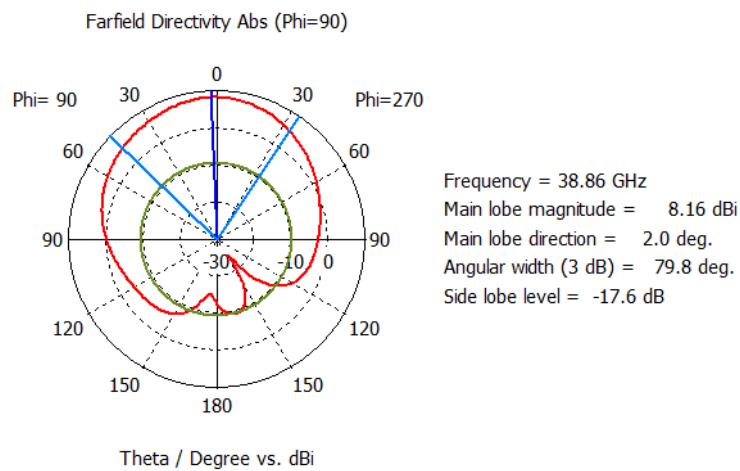


Figure 6. Far field patterns of 39 GHz antenna with deltoid shaped slots (RT5880)



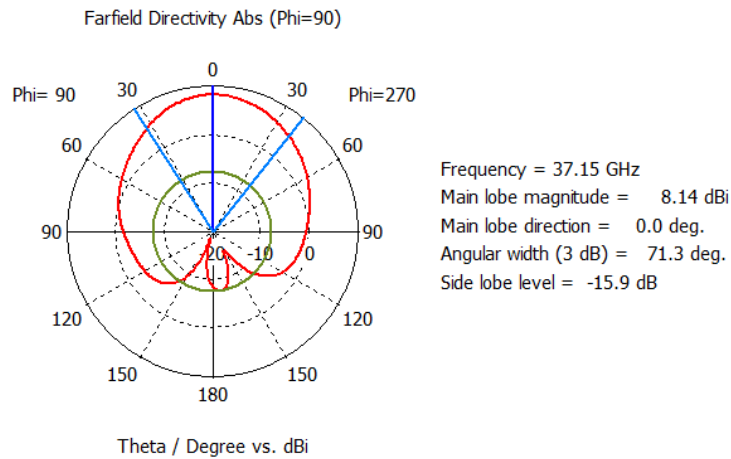


Figure 7. Far field patterns of 37 GHz antenna with deltoid shaped slots (RO3003)

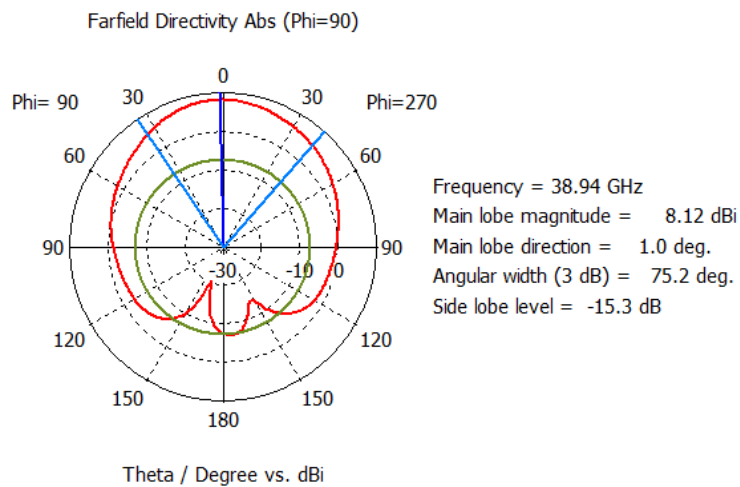


Figure 8. Far field patterns of 39 GHz antenna with deltoid shaped slots (RO3003)

## 4. Conclusions

The effects of the deltoid shaped slots on rectangular patch antennas are investigated for two different operating frequencies and for two different dielectric substrates. The selected frequencies are 37 GHz and 39 GHz which are among the projected 5G spectrum and the selected dielectrics are RT5880 with permittivity of 2.2 and RO3003 with permittivity of 3. For both design frequencies, it is obtained return loss level reductions with different amounts. At both design frequencies, the structures with RO3003 resulted in more  $S_{11}$  level reductions than the structures with RT5880. This study proposes both a new design of patch antennas and compare them between different frequencies and materials. The improved results are given in detail and from different points of view. The aim of this study is not only creating a novel structure but also to show that the designed structure can be used with other dielectrics and at other operating frequencies as well.

## References

- Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617-1655.
- Ayyappan, M., Manoj, B., & Rodrigues, S. (2016, March). Low return loss circular microstrip patch antenna at 5.8 GHz for wide-band applications. In *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)* (pp. 3023-3026). IEEE.
- Balanis, C. A. (2005) *Antenna Theory Analysis and Design*, New Jersey: J. Wiley & Sons.
- Computer Simulation Technology (CST) Microwave Studio, Ver. 2016, Framingham, MA, USA, 2016.
- Federal Communication Commission Website. (2016). Available: <https://www.fcc.gov>
- Jilani, S. F. & Alomainy, A. (2016) Millimeter-wave t-shaped antenna with defected ground structures for 5g wireless networks. *Loughborough Antennas & Propagation Conference (LAPC)*, Loughborough, UK.
- Mishra, S., Wankhade, P., & Sahu, A. (2016, March). Design and analysis of T and U shaped slots with truncated corner rectangular microstrip patch antenna for return loss enhancement. In *2016 Symposium on Colossal Data Analysis and Networking (CDAN)* (pp. 1-7). IEEE.

- Outerelo, D. A. Alejos, A. V. Sanchez, M. G. & Isasa, M. V. (2015) Microstrip antenna for 5g broadband communications: overview of design issues,” International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting, Vancouver, BC, Canada.
- Rozenfeld, M. (2017). Getting to Know 5G. IEEE The Institute, 41(1).  
RT5870/5880, RO3003 High Frequency Laminates Data Sheet. Rogers Corporation, AZ, USA.
- Saxena, A., Joshi, S., Gupta, A., Saxena, S., & Kumar, D. (2016, May). Gain and bandwidth enhancement of CPW-fed patch antenna for Wideband applications. In 2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT) (pp. 1622-1625). IEEE.
- Verma, S., Mahajan, L., Kumar, R., Saini, H. S., & Kumar, N. (2016, September). A small microstrip patch antenna for future 5G applications. In 2016 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO) (pp. 460-463). IEEE.
- Yassin, A. A. Saeed, R. A. & Mokhtar, R. A. (2014) Dual-band microstrip patch antenna design using c-slot for wi-fi and wi-max applications. International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE), Kuala Lumpur, Malaysia.



# NSGA-II Algorithm For The Reallocation Problem In Land Consolidation<sup>1</sup>

Zeynep Ortaçay<sup>1\*\*</sup>, Harun Uğuz<sup>1</sup>, Hüseyin Haklı<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Computer Engineering, Konya Technical University, 42075 Konya, Turkey (ORCID: 0000-0003-3563-0435)

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Necmettin Erbakan University, 42140 Konya, Turkey

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf54)

**ATIF/REFERENCE:** Ortaçay, Z., Uğuz, H. & Haklı, H. (2020). NSGA-II Algorithm for the Reallocation Problem in Land Consolidation. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 412-417.

## Abstract

To solve problems encountered in real life, we sometimes need optimization algorithms. Some of these problems have single objective, while others have multiple objectives. If there is a single objective, the problem is defined as a single-objective optimization problem and if there are more than one objective it is called multi-objective optimization problem. Today, lands are fragmented and scattered. This makes agriculture difficult and costly. To prevent these problems, Land Consolidation (LC) studies are being carried out. The reallocation stage, which is part of LC, can be defined as a multi objective optimization problem.

In this study, one of the multi objective optimization techniques, NSGA-II algorithm, is applied to the reallocation problem. The results are comparable with the studies in the literature.

**Keywords:** Multi-Objective optimization algorithm, NSGA-II, Land Consolidation, Reallocation.

## Arazi Toplulaştırma Çalışmasındaki Dağıtım Problemi İçin NSGA-II Algoritması

### Öz

Gerçek hayatta karşımıza çıkan problemlerin çözümleri için bazen optimizasyon algoritmalarına ihtiyaç duyarız. Bu problemlerin bazıları tek bir amaca sahip olurken bazıları da birden fazla amaca sahiptirler. Eğer tek bir amaç varsa, problem “tek amaçlı optimizasyon problemi” birden fazla amaç var ise “çok amaçlı optimizasyon problemi” olarak tanımlanır.

Günümüzde arazilere parçalı ve dağınık haldedirler. Bu da tarım yapmayı zor ve maliyetli hale getirmektedir. Bu sorunların önüne geçmek için Arazi Toplulaştırma (AT) çalışmaları yapılmaktadır. AT aşamalarından biri olan dağıtım aşaması da çok amaçlı optimizasyon problemi olarak tanımlanabilir.

Bu çalışmada dağıtım problemine çok amaçlı optimizasyon tekniklerinden biri olan NSGA-II algoritması uygulanmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar ile kıyaslanabilir sonuçlar elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çok Amaçlı Optimizasyon Algoritması, NSGA-II, Arazi Toplulaştırma, Dağıtım.

<sup>1</sup> This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Sorumlu Yazar: Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimler Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, ORCID: 0000-0003-3563-0435, zortacay@ktun.edu.tr

## 1. Introduction

Most of the problems we encounter in real life are problems that has multiple objectives(Konak, Coit, & Smith, 2006). It is difficult to find a single and specific solution to such problems (Konak et al., 2006). If there are conflicts in the objectives of the question, that is, if one objective is minimized and the other is maximized, the complexity increases further.

Multi-Objective Optimization (MOO) Algorithms seek to find a good balance between such conflicting objectives. The MOO algorithms generate an acceptable set of solutions, taking all the objectives of the problems with multiple objectives into account (Deb, 2014). There is no single solution in MOO algorithms, they output a data set with different acceptable solutions called Pareto optimal solutions (Deb, 2014). Pareto optimal solution set consists of solutions that are noninferior to other solutions(Gao et al., 2008). The decision-maker makes a selection from these acceptable solutions (Sağ & Çunkaş 2009). This decision maker can be a method or someone who is an expert of the subject. Therefore, in multi objective optimization, there are 2 important processes: An optimization process to find pareto optimal solutions and a decision process to select one of the solutions (Deb, 2014). In recent years, many MOO algorithms have been proposed (Deb, Agrawal, Pratap, & Meyarivan, 2000). Some of these algorithms are VEGA(Schaffer, 1986), MOGA(Murata & Ishibuchi, 1995), NPGA(rey Horn, Nafpliotis, & Goldberg, 1994), NSGA-II(Deb, Pratap, Agarwal, & Meyarivan, 2002), SPEA2 (Zitzler, Laumanns, & Thiele, 2001), MSOPS (Hughes, 2003) and OMOEA-II (Zeng, Yao, Kang, & Liu, 2005). NSGA-II algorithm has been applied to the problems such as LC Interview (Ozsari 2018), multi-period inventory-redundancy allocation in a series-parallel system(Alikar, Mousavi, Ghazilla, Tavana, & Olugu, 2017), supply chain (Bandyopadhyay & Bhattacharya, 2013; Bhattacharya & Bandyopadhyay, 2010; Javanshir, Ebrahimnejad, & Nouri, 2012) , green vehicle routing(Jemai, Zekri, & Mellouli, 2012), facility location (Bhattacharya & Bandyopadhyay, 2010).

The aim of this study is to obtain optimum solution for the reallocation problem, which is a part of land consolidation, by using NSGA-II algorithm. The performance of this algorithm is compared with the results obtained by the technician and the results of the Haklı thesis (Haklı, 2017) . The multi-objective optimization algorithms used in this study, search solutions according to two objectives. These objectives are to have less overflow in the blocks and place the parcels to their preferences.

The following sections of the study are identified as follows: In the second part, NSGA-II and its algorithm are explained. In the third chapter, basic information about the MOO problem, reallocation step of land consolidation, is given. In the fourth chapter, the formulation of the problem is explained. In the fifth chapter, the results are given and compared with results of other studies.

## 2. Material and Method

### 2.1. Material

In Turkey, lands are fragmented, small and shapeless, disorganized. Due to this reason it is difficult and costly to do agriculture in these lands. There are many precautions to prevent these problems. One of the most important of them is the land consolidation study(Takka, 1993). The main purpose of this study is to enable farmers to produce more easily, which plays an important role in the development of the country (Girgin, 1982). Land consolidation process basically consists of 6 steps: Rating, Block Planning, Interview, Reallocation, Parceling, Reporting.

In this study, reallocation step of LC is discussed. Reallocation is the process of placing each parcel in blocks, considering the preferences made during the interview phase. Some pre-processing operations are performed before proceeding with the method. These operations are as follows:

1. Parcels with fixed facility remain in place. They are not included in reallocation.
2. The parcels that can be placed in their first preferences are directly placed in block and are not included in the method.
3. After the first 2 steps, the remaining parcels are merged.

Performing the reallocation process should be in accordance with the preferences and the blocks should not exceed their capacity. If all parcels are placed in their preferred locations, excessive overflows occur in the blocks. Therefore, some parcels are placed in their preference, while others are not. Here, the block overflow and preference balance must be well done.In this study Üçhüyük, which is in Çumra district of Konya province, and Ekinözü, which is in Karaman province, lands were determined as the area to be studied. General information about these lands is given in Table 1.

Table 1. General information of Ekinözü and Üçhüyük lands

	ÜÇHÜYÜK	EKİNÖZÜ
<b>Enterprises</b>	275	409
<b>Blocks</b>	17	99
<b>Parcels</b>	407	1689
<b>Facilities</b>	71	115
<b>Total Area (ha)</b>	875.69	3177.68

Ekinözü village is about three times larger than Üçhüyük village. Üçhüyük village has 17 blocks while Ekinözü village has 99 blocks. Thus it can be easily observed how the algorithms used will behave according to the size of the data.

## 2.2. Method

### NSGA-II ALGORITHM

Various algorithms are designed to solve multi-objective optimization problems using Genetic Algorithm (Agarwal & Nanavati, 2016). One of the most reliable and widely used algorithm is Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) (Deb et al., 2002). This algorithm was proposed in 2002, to eliminate computational complexities and weaknesses during the individual selection of the original NSGA algorithm proposed by Srinivas and Deb (Deb et al., 2002). With three important features that guides the literature, NSGA-II algorithm is one of the most popular MOO algorithms (Sağ, 2008).

- Fast non-dominated sorting approach.
- Fast crowding distance computation
- Crowd comparison operator

The NSGA-II algorithm starts with random population generation. Then the fitness values of each individual in the population are calculated. Sorting according to the domination criterion is performed by using these fitness values. After that, the parent pool is created for cross-over and mutation. For this purpose, tournament selection is made with the help of crowding distance prediction procedure. Next, two point crossover (Figure 1) and single point mutation (Figure 2) are performed. The resulting new population is combined with the existing population, sorted according to the domination criterion, and crowding distance estimates are calculated. Afterwards with the help of these values, individuals that will pass to the next generation are selected. This process is repeated until the stopping criterion is met.

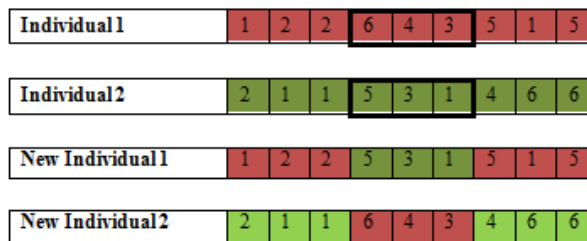


Figure 1. Two point crossover

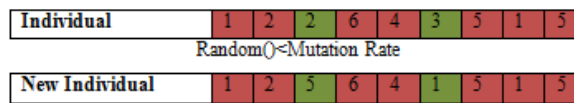


Figure 2. Single point mutation

### SOLUTION OF REALLOCATION PROBLEM USING NSGA-II

Since the reallocation process, which is a step of LC, has more than one objectives as block occupancy rate and preferences, it can be defined as a multi objective optimization problem. The overflowing or empty areas of the blocks is one objective and the preferences of the parcels is another. The smaller the absolute values of the overflowing and empty areas of the blocks, the better the suitability. And if the blocks to which the parcels are assigned are among the preferences of that parcel the suitability is better. The objective functions used in this study are as follows.

First objective function: Returns the ratio of the absolute sums of the overflow or empty areas to the number of blocks, as shown in Equation (2).

$$TA(j) = BA(j) - \sum_{i=1}^b PA(j)(i) \quad (1)$$

$$Obj_1 = sum(TA(j)/BA(j)) \quad (2)$$

$b$ : Number of parcels placed to  $j$ th block

$TA(j)$ : Increased or decreased area of  $j$ th block after placement

$PA(j)(i)$ : total of area of parcels placed in  $j$ th block

*Second objective function:* Table 2 shows the penalties for each parcel according to how they are placed to their preferences. According to this table, the mathematical formula of the second objective function is given in Equation 3.



Table 2. Preference Penalties

<b>PREFERENCE</b>	<b>PENALTİES</b>
1. Preference	0
2. Preference	0.1
3. Preference	0.3
None	1

$$Obj_2 = (\sum_{i=1}^{PS} PPP(i))/PN \quad (3)$$

PN : Number of parcels

PPP(i): Penalty points of ith parcel.

The second objective function is the division of total penalties that parcels take according to whether they are placed to their preferences or not, to the number of parcels. The population generated for land reallocation is as in Figure 3. Which parcel placed in which block is shown in population.

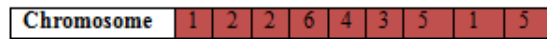


Figure 3. Chromosome Structure

### 3. Results

Interview lists of Üçhüyük and Ekinözü lands were filled by the enterprises themselves. The NSGA-II algorithm was run 30 times for 1000 and 2500 iterations. The number of individuals was defined as 100, the mutation rate was 0.08 and the crossing rate was 0.9. As the result of experimental studies, these are the most suitable values. In the results, the average preference success percentages were shown as pre-method (TBY1) and post-method (TBY2). In addition, the results of Genetic Algorithm(GA),Scatter Search(SS) and Differential Evolution (DE) in Haklı's doctoral dissertation, which he completed in 2017, were compared with obtained results[19]. In this study, the expert system included in the thesis of Haklı is used to reset the overflow areas in the blocks as a result of the reallocation process [19].

#### 3.1. Üçhüyük Land

Üçhüyük is a small village compared to Ekinözü in terms of area and number parcels. The results of 1000 and 2500 iterations for Üçhüyük land are given in Table 3. When these results were examined, DE is the most successful algorithm for both 1000 and 2500 iterations in pre-method. Right after are, SS and NSGA-II algorithms. But for post-method, DE algorithm is in the first place as of preference success while NSGA-II algorithm is in second. GA algorithms success is always worse than other two.

Table 3. Results of Üçhüyük land's preference success

	GA(Haklı, 2017)		DE(Haklı, 2017)		SS(Haklı, 2017)		NSGA-II	
	TBY1(%)	TBY2(%)	TBY1(%)	TBY2(%)	TBY1(%)	TBY2(%)	TBY1(%)	TBY2(%)
<b>1000</b>	71.85	73.38	91.35	89.48	86.99	85.01	84.5	86.3
<b>2500</b>	74.89	75.88	91.4	89.7	88.72	86.73	86.11	89

Reallocation with minimum number of parcels obtained as a result of 30 runs with 2500 iterations, is discussed. The results of the single objective optimization method presented in the Haklı's thesis were compared with these results. These comparisons are presented in Table 4. In this table, post-method number of parcels and average parcel sizes are given. As the result of the land reallocation process, it is aimed to decrease the number of parcels and to increase the average parcel size. When the results in Table 4 are examined, NSGA-II algorithm has the most successful result with 233 parcels and average parcel size as 29228.1. GA method has the least successful results of all methods.

Table 4. Average parcel number of Üçhüyük land and comparison of parcels according to parcel size

	<b>Cadastre Status (Haklı, 2017)</b>	<b>GA(Haklı, 2017)</b>	<b>DE(Haklı, 2017)</b>	<b>SS(Haklı, 2017)</b>	<b>NSGA-II</b>
<b>Number Of Parcels</b>	265	255	236	236	233
<b>Average Parcel Size</b>	28025.31	26706.47	28856.57	28856.57	29228.1

### 3.2. Ekinözü Land

Ekinözü is a big village compared to Üçhüyük village. The results of 1000 and 2500 iterations for Ekinözü land are given in Table 5. For Ekinözü land, SS algorithm is the most successful algorithm for pre-method preference with 1000 and 2500 iterations. Then comes the NSGA-II algorithm. In this field, GA algorithm gave the least successful results. NSGA-II algorithm is seen as the most successful algorithm in terms of post-method preference success. It is followed by the SS algorithm. Multi objective optimization algorithm has been observed to give better results in large-scale terrains.

Table 5. Results of Ekinözü land's preference success

	<b>GA(Haklı, 2017)</b>		<b>DE(Haklı, 2017)</b>		<b>SS(Haklı, 2017)</b>		<b>NSGA-II</b>	
	<b>TBY1 (%)</b>	<b>TBY2 (%)</b>	<b>TBY1 (%)</b>	<b>TBY2 (%)</b>	<b>TBY1 (%)</b>	<b>TBY2 (%)</b>	<b>TBY1 (%)</b>	<b>TBY2 (%)</b>
<b>1000</b>	67.61	70.68	76.6	74.94	78.06	76.45	76.9	77.43
<b>2500</b>	68.11	70.59	76.27	74.07	80.64	78.56	78.31	79.41

Reallocation with minimum number of parcels obtained as a result of 30 runs with 2500 iterations is discussed. The results of the single-objective optimization method presented in the Haklı's thesis are compared with these results. These comparisons are presented in Table 6. In this table, the number of parcels and average parcel sizes after the method are given. According to the results in Table 6, the SS algorithm has the most successful result with 483 parcels and 48932.03 average parcel size. The NSGA-II algorithm is the second successful algorithm with a parcel number of 511 and average parcel size of 46250.82. The GA algorithm has the worst success with 534 parcels.

Table 6. Results of Ekinözü land's preference success

	<b>Cadastre Status (Haklı, 2017)</b>	<b>GA (Haklı, 2017)</b>	<b>DE (Haklı, 2017)</b>	<b>SS (Haklı, 2017)</b>	<b>NSGA-II</b>
<b>Number Of Parcels</b>	1130	534	517	483	511
<b>Average Parcel Size</b>	20915.19	44258.75	45714.07	48932.03	46250.82

### 3. Conclusion

In this study, the basic NSGA-II algorithm was applied to the reallocation problem which is one of the LC stages. Also, for the first time in the literature a multi-objective optimization algorithm has been applied on this problem.

Comparable results with studies that applies the single objective optimization to solve the reallocation problem on Ekinözü and Üçhüyük lands, have been obtained. In the results of the comparison, the NSGA-II method is generally in the first or second place. In future studies, this problem and results can be analyzed by using different multi objective algorithm.

### Reference

- Agarwal, A., & Nanavati, N. (2016). *Association rule mining using hybrid GA-PSO for multi-objective optimisation*. Paper presented at the 2016 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research (ICIC).
- Alikar, N., Mousavi, S. M., Ghazilla, R. A. R., Tavana, M., & Olugu, E. U. (2017). Application of the NSGA-II algorithm to a multi-period inventory-redundancy allocation problem in a series-parallel system. *Reliability Engineering & System Safety*, 160, 1-10.
- Bandyopadhyay, S., & Bhattacharya, R. (2013). Applying modified NSGA-II for bi-objective supply chain problem. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24(4), 707-716.

- Bhattacharya, R., & Bandyopadhyay, S. (2010). Solving conflicting bi-objective facility location problem by NSGA II evolutionary algorithm. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 51(1-4), 397-414.
- Deb, K. (2014). Multi-objective optimization. In *Search methodologies* (pp. 403-449): Springer.
- Deb, K., Agrawal, S., Pratap, A., & Meyarivan, T. (2000). A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization: NSGA-II. Paper presented at the International conference on parallel problem solving from nature.
- Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 6(2), 182-197.
- Gao, X., Chen, B., He, X., Qiu, T., Li, J., Wang, C., & Zhang, L. (2008). Multi-objective optimization for the periodic operation of the naphtha pyrolysis process using a new parallel hybrid algorithm combining NSGA-II with SQP. *Computers & Chemical Engineering*, 32(11), 2801-2811.
- Girgin, İ. (1982). Arazi Toplulaştırmasında En Uygun Parsel Dağılım Deseninin Saptanması Üzerine Bir araştırma. *Doçentlik Tezi, AÜ Ziraat Fakültesi (Yayınlanmamış), Ankara.*
- Haklı, H. (2017). *Arazi toplulaştırma için optimizasyon tabanlı yeni bir dağıtım ve parselasyon modelinin geliştirilmesi*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Hughes, E. J. (2003). *Multiple single objective Pareto sampling*. Paper presented at the The 2003 Congress on Evolutionary Computation, 2003. CEC'03.
- Javanshir, H., Ebrahimnejad, S., & Nouri, S. (2012). Bi-objective supply chain problem using MOPSO and NSGA-II. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 3(4), 681-694.
- Jemai, J., Zekri, M., & Mellouli, K. (2012). *An NSGA-II algorithm for the green vehicle routing problem*. Paper presented at the European Conference on Evolutionary Computation in Combinatorial Optimization.
- Konak, A., Coit, D. W., & Smith, A. E. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering & System Safety*, 91(9), 992-1007.
- Murata, T., & Ishibuchi, H. (1995). *MOGA: Multi-objective genetic algorithms*. Paper presented at the IEEE international conference on evolutionary computation.
- Ozsarı , Ş. (2018). *Arazi Toplulaştırma Optimizasyon Tabanlı Mülakat* Selçuk Üniversitesi,
- rey Horn, J., Nafpliotis, N., & Goldberg, D. E. (1994). *A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization*. Paper presented at the Proceedings of the first IEEE conference on evolutionary computation, IEEE world congress on computational intelligence.
- Sağ, T. (2008). *Çok kriterli optimizasyon için genetik algoritma yaklaşımları*. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Sağ, T., & Çunkaş , M. (2009). Çok Amaçlı Genetik Algoritmalar İçin Bir Çevrimdışı Performans Değerlendirmesi. *5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09)*.
- Schaffer, J. D. (1986). SOME EXPERIMENTS IN MACHINE LEARNING USING VECTOR EVALUATED GENETIC ALGORITHMS (ARTIFICIAL INTELLIGENCE, OPTIMIZATION, ADAPTATION, PATTERN RECOGNITION).
- Takka, S. (1993). Arazi Toplulaştırma. *Kültür Teknik Derneği Yayınları*(1).
- Zeng, S., Yao, S., Kang, L., & Liu, Y. (2005). *An efficient multi-objective evolutionary algorithm: OMOEA-II*. Paper presented at the International Conference on Evolutionary Multi-Criterion Optimization.
- Zitzler, E., Laumanns, M., & Thiele, L. (2001). SPEA2: Improving the strength Pareto evolutionary algorithm. *TIK-report*, 103.



## Mekânsal Bulanık Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi\*\*

Mithat Zeydan<sup>1\*\*</sup>, Bülent Bostancı<sup>2</sup>, Burcu Oralhan<sup>3</sup>, Defne Eroğlu<sup>4</sup>, Ulaş Aydın<sup>5</sup>

<sup>1\*\*</sup> Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bolu, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9459-146X)

<sup>2</sup>Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2255-2503)

<sup>3</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8905-0140)

<sup>4</sup>NetCAD Yazılım A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-3195-1621)

<sup>5</sup>NetCAD Yazılım A.Ş., Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0186-6028)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf55)

**ATIF/REFERENCE:** Zeydan, M., Bostancı, B., Oralhan, B., Eroğlu, D. & Aydın, U. (2020). Mekânsal Bulanık Karar Destek Sisteminin Geliştirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 418-429.

### Öz

Bu araştırmanın temel amacı, CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) tabanlı ÇKKV (Çok Kriterli Karar Verme) yöntemleriyle bir Mekansal Karar Destek Sistemi (MKDS) geliştirmektir. MKDS, mekansal problemlerin çözümünde karar vermeye yardımcı olmak için tasarlanmış bilgisayar tabanlı bir sistemdir. Bu sistemler, karar vericilere mekansal ve öznel bilgilerin birleştirildiği çözüm uzayında çoklu mekansal kriterleri kullanarak en uygun seçeneğin belirlenmesini sağlamaktadır. Ayrıca, raster ve konuma dayalı farklı alanlardaki bilimsel araştırmalarda sıkça tercih edilmektedir. CBS ile analizler yapılırken değerlendirme kriterlerinin birden fazla olması, süreci kompleks hale getirmektedir. Günümüzde, CBS bazlı çalışmalar kapsamında en uygun yerin belirlenmesi için, çok kriterli karar verme modelleri ile mekansal analizleri entegre ederek harita çözümünü destekleyebilecek mimariler yaygın değildir. Bu sebeple, CBS teknolojilerinin karar verme süreçlerinde mekansal karar vermeye yönelik çözümler sunabilme kapasitesi yetersizdir.

Bu kapsamda NetCAD firması ile yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik bir model geliştirilmiş ve NetCAD Mimari Analiz modülü altında yapıyı entegre eden bir program oluşturulmuştur. Yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterlerin ağırlıkları Bulanık ÇKKV metotlarından Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL ve evrimsel algoritma modellerinden Fuzzy CMA-ES ile hesaplanmıştır. Problemlerde yer alan alternatiflerin seçim ve sıralama aşaması Fuzzy TOPSIS metodu ile çözümlenmiştir. Belirtilen süreçlerin tamamında CBS temelli yazılım ürünü olan NetCAD mimarda C sharp programlama dili ile kullanılarak arayüzler oluşturulmuş ve analiz modülüne entegre edilmiştir. Sonrasında, bağımsız bir değişkenin farklı ağırlık değerlerinin sonucu nasıl etkilediği duyarlık analizleri ile belirlenmiştir. Sonuç olarak, nokta, alan ve piksel bazlı tematik haritalar üretilmiştir. Raster harita şeklinde oluşturulan katmanları birleştiren ve sıralandıran TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Weighted Overlay, WLC gibi yöntemler kullanılarak karşılaştırmalı uygunluk haritası üretilmiş ve bu haritalar üzerinde en uygun yer seçimini esas alan bir model geliştirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** CBS, MKDS, Bulanık, AHP, DEMATEL, CMA-ES.

## Development of Spatial Fuzzy Decision Support System

### Abstract

The main purpose of this research is to develop a Spatial Decision Support System (SDSS) with Geographic Information System (GIS) based Multiple Criteria Decision Making (MCDM) methods. SDSS is a computer-based system designed to assist decision making in solving a spatial problem. These systems allow decision makers to select the most suitable option using multiple spatial criteria in the solution space where spatial and attribute information are combined. Besides, it is frequently preferred in various working areas of scientific research based on raster and location. However, the fact that the evaluation criteria are more than one while

\*\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

making analyzes with GIS complicates the process. Today, architectures that can support the map solution that combines spatial analysis with multi-criteria decision-making models are not common to determine the most suitable location within the scope of GIS based studies. For this reason, the capacity of GIS technologies to offer solutions for spatial decision making in decision making processes is insufficient. In this context, a model for making thematic maps with Netcad company was developed in terms of location selection and evaluation and a program integrated in the NetCAD Software was produced under the NetCAD Architectural Analysis module. The weights of the criteria determined according to location selection and evaluation problems were calculated with Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Weighted Linear Combination, Weighted Overlay and Fuzzy CMA-ES from evolutionary algorithm models. The selection and ranking stage of the alternatives in the problems was resolved with the Fuzzy TOPSIS method. Then, how different weight values of an independent variable affect the result was determined with sensitivity analysis. All of the processes mentioned were interfaced and integrated into the analysis module using C sharp programming language in NetCAD architect, which is a GIS based software product. As a result, point, area and pixel based thematic maps were produced. A comparative suitability map provided that using MCDM Methods such as TOPSIS, Fuzzy TOPSIS, Weighted Overlay, WLC which combine and sort layers in the form of a raster map was produced. Comparative suitability map production was provided by using methods and a model based on the most suitable location selection was developed on these maps.

**Keywords:** GIS, SDSS, Fuzzy, AHP, DEMATEL, CMA-ES.

## 1. Giriş

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), birçok planlama süreci aşaması içeren güçlü bir araçtır. Bu aşamalar; bölge ile ilgili tanımlama ve analiz, süreçte yer alan değişkenler arasındaki ilişkilerin gözlemlenmesi, alternatiflerin üretilmesi veya önerilenlerin değerlendirilmesini içermektedir. Çok Kriterli Karar Verme (ÇKKV) yöntemleri ise bir karar verme probleminde belirlenen kriterlere göre oluşturulan farklı alternatifleri tanımlamak, değerlendirmek, sıralamak ve seçmek için kullanılmaktadır. Bu sebeple CBS ve ÇKKV mekansal karar alma sistemlerinde daha iyi sonuçların elde edilmesinde ortak kaygıyı paylaştıkları için entegrasyonları önemlidir (Voogd 1983; Jankowski 1995; Barredo 1996; Malczewski 1999; Bosque-Sendra ve Garc'ia 2000; Dai ve diğerleri 2001; Joerin ve diğerleri 2001). Mekansal çok kriterli karar problemi, kalitatif ve kantitatif ölçütlerle tanımlanan bir çok alternatif içermektedir. Mekansal çok kriterli analiz, coğrafi bileşenin dahil edilmesiyle alışlageldik ÇKKV tekniklerinden farklıdır. İki önemli konu karar analizi için önem arz etmektedir. Birincisi CBS bileşeni (örneğin, veri toplama, depolama, geri alma, manipülasyon ve analiz yeteneği), ikincisi ise ÇKKV analizi bileşeni (örneğin, kümelere ayırarak karar alternatiflerinin içine mekansal veri ve karar vericilerin tercihlerinin konumlandırılması) olarak tanımlanmıştır (Carver, 1991; Jankowski, 1995). Coğrafi yer seçimi kararı yerleşim yeri seçeneklerinin tanımlanmasını, analizini, değerlendirilmesini ve seçimini içerecek şekilde verilmektedir (Yang ve Lee, 1997). Bir yer seçimi kararı, bazı adımları içerecek şekilde yapılandırılmaktadır (Ertuğrul ve Karakaşoğlu, 2008). Bu adımlar:

- Yer seçimi alternatiflerinin değerlendirilmesinde kullanılacak olan kriterlerin belirlenmesi,
- Önemli ve etkin kriterlerin tanımlanması ve yer seçimi alternatiflerinin geliştirilmesi,
- Alternatiflerin değerlendirilmesi ve yer seçimi kararının verilmesidir (Erden ve Coşkun, 2011).

Çalışmada ÇKKV ile entegre edilen CBS teknolojisi 1980'lerden başlayarak özellikle mekansal verilerin elde edilmesinde, yönetilmesinde ve analiz edilmesinde yeni bir bilgi işleme teknolojisi olarak ortaya çıkmıştır (Erden ve Coşkun, 2011). Coğrafi boyut içeren çalışmalarda ÇKKV yöntemlerinin tek başına kullanılması ciddi eksiklikler ortaya çıkarmaktadır (Jankowski, 1995). Bu eksiklikler, mekândaki heterojenliği göz önünde bulundurarak değerlendirme imkânı tanıyan MKDS tekniği ile büyük ölçüde giderilmektedir (Malczewski, 1999). MKDS tekniği, değerlendirme kriterlerinin oluşturduğu kümeler ile karar verici tercihlerine ek olarak, kriter değerlerinin ve alternatiflerin mekanda göstereceği farklılıkları da göz önünde bulundurulmaktadır. MKDS tekniğinin uygulanması, ÇKKV teknikleriyle CBS'nin birlikte kullanımıyla gerçekleştirilebilmektedir. Bu yaklaşım subjektif değerler ve tercihlerin, coğrafi özellikler ile birleşimindeki eksiklikleri büyük ölçüde azaltmaktadır (Mohit ve Ali, 2006). ÇKKV teknikleri ve konum verilerine dayalı CBS entegreli bugüne kadar çok sayıda çalışma yapılmıştır (Jakimavičius ve Burinskiene, 2009; Malczewskia, 1996; Bakhtiarifar ve diğerleri, 2011). CBS ve ÇKKV tekniklerinin birlikte kullanılmasının katkısı yaygın olarak çalışmalarda belirtilmektedir (Arentze ve diğerleri 1996; Johnston 1999; Yeh 1999; Fotheringham ve Wegener 2000; Lukashev ve diğerleri, 2001; Esmaelian ve diğerleri, 2015). CBS-ÇKKV yaklaşımlarının en dikkat çekici özelliklerinden biri çevre / ekoloji, ulaşım, kentsel / bölgesel planlama, atık yönetimi, hidroloji, tarım, ormancılık, jeoloji veya site seçimi gibi bir çok alanda kullanılabilir olmasıdır (Malczewski, 2006). Ayrıca kentsel yönetimlerde taşıma, hava kalitesi, sürdürülebilirlik, su yönetimi, atık yönetimi, altyapı yönetimi, acil durum yönetimi, doğal kaynak yönetimi, bölgesel planlama ve afet yönetimi gibi birçok alanda bir karar destek tekniği olarak da uygulama alanı bulmuştur (Cowen 1988; Densham ve Goodchild, 1989).

Malczewski tarafından 2006 yılında yayınlanan 1990-2004 yılları arasını inceleyen literatür araştırmasında her geçen gün CBS ve ÇKKV entegrasyonuna yönelik çalışmaların hızla arttığı ve artacağı belirtilmiştir. Mekansal Karar Destek Sistemi (MKDS) çalışmaları incelendiğinde farklı temalar üzerine durulan birçok çalışmanın literatürde yer aldığı görülmektedir. Rodrigues, çalışmasında, kentsel altyapı planlamalarına karar verebilmek için esnek ve kullanıcı dostu çevrede yerel ve devlet kurumlarına tavsiye vermesi amaçlanan bir CBS tabanlı çok kriterli mekansal karar destek sistemi sunmaktadır (Coutinho-Rodrigues, Simão ve Antunes, 2011). Wann-Ming Wey 2007 yılında Taiwan'da şehir yenilenmesine yönelik projelerin seçim sorunu için bulanık delphi metodu, AHP ve sıfır-bir hedef programlama temelli bir metod önermişlerdir. J.K. Yuan ve ark. 2010 yılında yine benzer bir konu için Porter'in elmas modelini uygulamışlar ve kriterlerin önceliklerini Bulanık Promethee yöntemi ile değerlendirmişlerdir. A.B.D. Ulaştırma Bakanlığı, Delaware Devlet karayolları üzerinde araçların boy ve kilolarını baz alarak, hareketlerini yönetmek için web tabanlı bir mekansal karar destek sistemi geliştirmiştir. Bu sistem, ağ optimizasyonu teknikleri ve Delaware'in bugünkü ve



gelecekteki ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla sağlam, yüksek performanslı ve ölçeklenebilir bir sistem sağlamak için ağ optimizasyon teknikleriyle J2EE web mimarisi entegre edilmiştir. Yeni tasarlanan sistem çok sayıda aciliyeti olan ve gelecek için ihtiyaç duyulabilecek faydalar sağlayarak, mevcut manuel süreçlerin haftadan saniyeye kadar hesaplanmasına olanak sağlanmaktadır. Bu sayede karayolu maliyetlerinin azaltılması planlanmakta ve hızla değişen koşullara karşı potansiyel güvenlik önlemi alınabileceği düşünülmektedir (Ray, 2007). Kullanıcı dostu web tabanlı mekânsal karar destek sistemlerinden biri de bir ulaşım ağına yönelik tasarlanmıştır. Çalışma, araç rotalama probleminin çözümünde en uygun araç yollarını tespit edebilmek için hazırlanmıştır. Web Tabanlı Mekansal Karar Destek Sistemi (WMKDS Google Maps™) ile haritalık ve ağ verileri birleştirilmekte, bireysel araç rota haritaları oluşturmak için karınca koloni algoritması, meta sezgisel olarak yazarlar tarafından geliştirilmiştir (Santos, Coutinho-Rodrigues ve Antunes, 2011). Moghadam ve arkadaşları kentsel alanlar bağlamında kalitatif ve kantitatif kriterler içeren yeni bir mekânsal çok kriterli karar destek sistemi geliştirmişlerdir (Moghadam ve diğerleri, 2016). 2012'de yapılan bir çalışmada ise rasyonel kent planlamasında farklı potansiyel alanların belirlenmesi için Fuzzy Topsis yönteminin kullanılması önerilmiştir (Torkamani ve diğerleri, 2012).

Raju ve arkadaşları, 2000, ELECTRE TRI ve diğer ÇKKV tekniklerini kullanarak sürdürülebilir su kaynakları planlaması için çok kriterli bir analiz uygulamıştır. Antunes ve arkadaşları, 2011, sulama yönetimi alternatiflerinin değerlendirilmesi için AHP ve SMCE (Sosyal Çok Kriterli Değerlendirme) kullanan katılımcı bir, çok kriterli analiz sürecini geliştirmiştir. Van Calcker ve arkadaşları, 2006 Multi-Attribute Utility Theory (MAUT) yöntemini, Hollanda süt çiftliklerinde sürdürülebilirliğin ekonomik, sosyal ve ekolojik yönleriyle değerlendirilmesi için uygulamıştır. Dantsis ve arkadaşları, 2010 iki farklı Yunanistan bölgesinde çiftliklerin sürdürülebilirlik düzeyini değerlendirmek ve karşılaştırmak için Multi-Attribute Value Theory (MAVT) yöntemini kullanmıştır. Gómez-Limón ve Riesgo, 2009 ve Santos vd., 2011, tarımsal sürdürülebilirliğin değerlendirilmesinde AHP toplama yöntemini uygulamıştır (Bu parantez içindeki kaynakları niye verdik? Yukarda saymışız zaten) (Silva ve diğerleri, 2014; Jelokhani-Niaraki ve Malczewski, 2015; Hassan ve diğerleri, 2013; Mohd Shamsuddin ve diğerleri, 2013; Bali ve diğerleri, 2015).

2016 yılında yapılan bir çalışmada ekoturizmin strateji geliştirme ve yönetiminde planlama uzmanlarına önemli bir destek sağlanması amacıyla ekoturizmin sürdürülebilir kalkınması için bölgesel uygunluğunun belirlenmesi için güvenilir bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Çok Kriterli Karar Analizi (MCDA) 'nın Bulanık Karar Verme Denemesi entegrasyonu ile geliştirilen model Sırbistanda uygulanmıştır. Ekoturizm potansiyellerinin uygunluk sınıflarını tahmin etmek ve haritalamak için oluşturulan 4 küme ve 16 kriter Bulanık DEMATEL yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir. Nihai uygunluk haritası Ağırlıklı Doğrusal Kombinasyonun (WLC) uygulanmasıyla elde edilmiştir. Modelin istikrarlı ve uygun olduğu duyarlılık analizi ile oluşturulan 4 uygunluk sınıfında (Oldukça Uygun (S1), Orta Derecede Uygun (S2), Marjinal Uygun (S3) ve Uygun Değil (N)) değerlendirilmiştir (Gigović ve diğerleri, 2016). Benzer bir çalışma 2013 yılında (Dashti ve diğerleri, 2013) turizm için uygunluk haritası CBS destekli Ağırlıklı Lineer Kombinasyon (WLC) kullanılarak oluşturulmuştur. Mahdavi and Niknejad'ın (2014) yılında yaptığı ekoturizmi değerlendiren çalışmada Delphi tekniği ile belirlenen temel ve alt kriterler AHP ve bulanık AHP ile karşılaştırılmıştır. Bali'nin 2015 yılında Hazar denizi civarında en uygun ekoturizm bölgesinin seçimi için yaptığı çalışmada Bulanık Mantık ve CBS temelli basit bir SDSS modeli geliştirmiştir. Johnson 2005'te yazdığı web-tabanlı karar destek sistemi yazılımında, çok kriterli karar verme tekniklerinden PROMETHEE'yi kullanarak konut birimi ve komşuluk seçiminde müşterilere yönelik değerlendirme çalışması yapmıştır (Johnson, 2005).

Güneydoğu İspanya'da Cartagena (Murcia Bölgesi) bölgesindeki fotovoltaik güneş enerjisi santrallerinin en uygun yerleşim değerlendirmesini yapabilmek için CBS ve ÇKKV birlikte uygulanmıştır. Çalışmada kullanılan kriterler mevzuatta yer alan (planlama yönetmelikleri, korunan alanlar, karayolu ağları, demiryolları, su yolları, dağlar, vb.) belirleyicilerden elde edilmiştir. Bu kriterler konum, jeomorfolojik, çevresel ve iklimsel kriterlerdir (Sánchez-Lozano ve diğerleri, 2013). Yenilenebilir enerji alanında ise CBS ve ÇKKV entegre eden çalışmalar mevcuttur. (Defne ve diğerleri, 2011; Charabi ve Gastli, 2011; Mari, 2011; Uyan, 2013; Aydın ve diğerleri, 2013). 2011'de Charabi ve Gastli tarafından ESRI ArcMap 9.3'te entegre edilen Boroushaki ve Malczewski tarafından geliştirilen Bulanık Mantıksal Sıralama Ağırlığı Ortalaması (FLOWA) modülü kullanılmıştır. Fotovoltaik uygun alan seçiminde (i) Güneş ışınımı (ii) sınırlama alanları ve (iii) büyük yollara yakınlık kriterlerinin kullanıldığı görülmüştür. İran'da potansiyel rüzgar hatlarını belirlemek için (Arıza mesafesi, taşkın hattına olan mesafe, kıyı şeridinden uzaklık), sosyal (Kentsel alana uzaklık, kırsal alana uzaklık, karayollarına mesafe, havaalanına mesafe) ve ekonomik (Rüzgar hızı, yükseklik, jeoloji, eğim) olmak üzere 11 kriter incelenmiştir. Çalışma da bulanık verilere dayanarak grafik türleri Doğrusal / Simetrik ve Sigmoidal / Monotonik artan ve azalan fonksiyonlar olarak belirlenmiştir ve sonuç olarak bulanık haritalar oluşturulmuştur. (Nasehi ve diğerleri, 2016).

Literatürde yoğunlukla üzerinde çalışılan CBS ve ÇKKV yöntemlerinin dört olası entegrasyon modu literatürde yer almaktadır (Goodchild, 1992; Chakhar ve Martel, 2003; Jankowski, 1995; Malczewski, 1999, 2006, 2010; Chakhar ve Mousseau, 2008): (i) entegrasyon yok, (baskın) (ii) gevşek entegrasyon (dolaylı entegrasyon), (iii) sıkı entegrasyon (dahili) ve (iv) tam entegrasyon. ÇKKV ve CBS entegrasyon yönü bakımından da sınıflandırılabilir. Bunlar (i) ana yazılım olarak GIS'le tek yönlü entegrasyon, (ii) ana yazılım olarak ÇKKV aracıyla tek yönlü entegrasyon, (iii) iki yönlü Entegrasyon ve (iv) Dinamik Entegrasyondur. Bazı ÇKKV yöntemleri, 90'lı yıllarda ticari ve açık kaynaklı olarak gevşek entegrasyon modu ile GIS yazılımında geliştirilmiştir. Öncelikle Visual Basic, C, C ++, Python ve diğerleri gibi programlama dilleriyle uygulama programlarının yazılmasına izin veren makrolar geliştirilmiştir. Bu sayede platformdaki eklentileri hazırlamak, derlemek ve çalıştırmak için sağlanan araçlar geliştirilmiş oldu (Sugumaran ve Degroote, 2011) ÇKKV çözümleri için Expert choice, DECISION PAD, PROMCALC, Microqualiflex ve birçok matematiksel programlama (LINDO) yazılımları kullanılırken, CBS'de IDRISI, ArcGIS, SPANS, TNT-GIS v.b. bir çok programın kullanıldığı belirtilmiştir (Malczewski, 2006). Literatürde CBS tabanlı ÇKKV yöntemlerine yönelik çok sayıda çalışma yapılmış olmasına rağmen, ÇKKV bileşenleri günümüzde yalnızca birkaç CBS programına (örneğin, ARCGIS, IDRISI, ILWIS, QUANTUM, DECERNS, GRASS, Common GIS vb.) entegre edilebilmiştir. ÇKKV-CBS entegrasyonunda yaygın olarak Ağırlık Toplama / Boolean Yerleşimi, İdeal / Referans Noktası, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve Outranking yöntemleri (ELECTRE ve

PROMETHEE) (Malczewski, 2006) geliştirilmiştir. Örneğin ELECTRE TRI yöntemi ile CBS yazılımına entegrasyonu, Sobrie (2011) ve Sobrie ve diğerleri, 2012 tarafından QUANTUM yazılımında, Python programlama dili kullanarak ELECTRE TRI algoritmasını uygulayan bir eklenti ile geliştirilmiştir. Çok kriterli mekansal karar verme sürecinde duyarlılık analizine yönelik ise 2004 yılında yapılan literatür çalışmasında incelenen 28 makalenin sadece 17'sinde yani % 61'inde duyarlılık analizi gerçekleştirildiği görülmektedir. Duyarlılık analizi uygulayan (bahsedilen 17 makalenin 14'ü) makalelerin % 82'sinde kullanılan analiz matematiksel programlama ile sadece giriş faktör ağırlıklarını değiştirerek sonuçların önemli ölçüde değişip değişmediğini test etmeye dayanmaktadır (Delgado ve diğerleri, 2004).

Literatürde birçok araştırmaya konu olan CBS ve ÇKKV yöntemlerinin entegrasyonuna yönelik çalışmaların birçoğunun farklı platformlarda analizlerinin yapılarak yorumlandığı, yazılımsal entegrasyonunun sağlanmasında yetersizliklerin olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada amaç CBS tabanlı bulanık ÇKKV teknikleri (Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy verilere dayalı CMA-ES) kullanılarak model bazlı bilimsel esasları içeren tematik haritalar üretilme sürecinin yazılımsal entegrasyonunun sağlanmasıdır. Bu kapsamda çalışmada birinci bölümde literatür taramasını içeren Giriş Bölümü, ikinci bölümde araştırmanın amaçlarının, sınırlılıklarının ve araştırma modelinin paylaşıldığı Materyal ve Metot, üçüncü bölümde araştırmanın detaylarının paylaşıldığı Uygulama ve son bölümde ise çalışmada elde edilen sonuçları içeren ve değerlendiren Sonuçlar ve Tartışma sunulmaktadır.

## **2. Materyal ve Metot**

### **2.1. Araştırmanın Amacı**

Bu araştırmanın temel amacı, CBS tabanlı ÇKKV yöntemleriyle bir MKDS (Mekansal Karar Destek Sistemi-SDSS-Spatial Decision Support System) geliştirmektir. Bu çerçevede, yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterler (kriterlere göre değişebilecek parametreler) ile bulanık ÇKKV metotları (ve/veya hibrid metotlar) ve CMA-ES algoritması kullanılarak, NetCAD firması işbirliğinde yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik bir model geliştirilmesini ve Netcad Mimar'da Analiz modülü altında bir program oluşturulmasını sağlamaktır.

Çalışmada, GIS tabanlı bulanık ÇKKV tekniklerinden Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS, Fuzzy verilere dayalı CMA-ES algoritmaları kullanılarak model bazlı bilimsel esasları içeren tematik haritalar üretilmektedir. Bulanık mantığa dayalı konumsal ve konumsal olmayan ÇKKV yöntemleri ile yer seçimi ve değerlendirme yapabilecek CBS tabanlı bir harita yazılımı geliştirilecektir. Çalışma ile bir taraftan, literatürde yoğunlukla kullanılan CBS-MKDS entegrasyonuna yönelik tek bir platform üzerinde uygulamanın yapılabileceği bir araç geliştirilmesinin yanısıra farklı bulanık ÇKKV metotlarının uygulanabilmesine imkan sağlanarak modele bağlı olarak elde edilecek farklı tematik haritalar oluşturulmasına olanak sağlanacaktır. Uygulama bu açıdan CBS-MKDS konularında araştırma yapan veya yapmak isteyen akademisyen, uzman, araştırmacılar ile yönetici konumundaki karar vericiler için fonksiyonel ve kolay kullanılabilir bir araç olacaktır önem arz etmektedir.

### **2.2. Araştırmanın Sınırlılıkları**

Netcad Mimar, her türlü mekansal ve mekansal olmayan veriyi kullanarak, hazır operatörler yardımıyla ard arda oluşturulan iş akışları sonucunda, konumsal analiz ve sentez modellerinin kolaylıkla oluşturulabildiği model tasarımcısıdır. Mekansal Karar Destek Sistem Modülü, Netcad ürünlerinden biri olan Mimar yazılımı için bir modül olarak tasarlanmıştır. Mimar, operatörler yardımı ile iş akışları oluşturma, yönetme ve düzenlemede kullanılan bir uygulamadır. İş akışları tasarlanabilmekte ve sonuç çıktıları elde edilebilmektedir. Mekansal KDS çalışmasında birden çok yöntemin kullanıldığı ve büyük bir iş akışının olduğu düşünüldüğünde Mimar ürünü, proje için son derece uygun bir iş aracı olarak karşımıza çıkmaktadır.

CBS tabanlı bulanık ÇKKV tekniklerinden literatürde araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, Fuzzy TOPSIS ve yeni bir evrimsel algoritma olan Fuzzy verilere dayalı CMA-ES algoritması mimari yapıya entegre edilecektir. Sisteme kaydedilen sayısal ve /veya dilsel verilerin bulanık ölçeğe dönüştürülmesi üçgensel üyelik fonksiyonu kurallarına göre belirlenmiştir. Ayrıca bu algoritmaları ve Netcad Mimar yapısında mevcut durumda yer alan sınıflandırma ve ağırlıklı katmanlama gibi yöntemlerde dahil edilerek karşılaştırmalı performans kıyaslamaları yapılmasına imkan sağlanacaktır. Tematik haritaların üretiminde Netcad mimarda yer alan enterpolasyon yöntemleri kullanılacaktır.

### **2.3. Araştırmanın Yöntemi ve Modeli**

Bu çalışma ile bulanık mantığa dayalı konumsal ve konumsal olmayan ÇKKV yöntemleri ile yer seçimi ve değerlendirme yapabilecek CBS tabanlı bir harita yazılımı geliştirilecektir. Veri tabanı programlarından veri aktarımları, ağırlık belirleme amaçlı tablo verisi ya da mekansal öznitelik verisi, raster harita verilerinin aktarımı ve vektör harita verilerinin aktarımına yönelik sistem tasarlanmıştır.

Araştırma modeli Şekil.1'deki gibi tasarlanmıştır. Netcad yazılımına veriler manuel veya farklı platformlardan, farklı formatlarla aktarılabilir. Verilerin ön işleme aşaması tamamlandıktan sonra verilere yönelik bir standardizasyon işlemi gerçekleştirilecektir. Bu alanda kullanıcı yazılıma yüklediği verilerin sınır özelliklerinin tanımlanmasını yapacaktır. Sisteme kaydedilen sayısal ve /veya dilsel verilerin bulanık ölçeğe dönüştürülmesi sağlanacaktır. Bulanık kurallar üçgensel üyelik fonksiyonlarına göre belirlenmiştir. Raster haritaların üretilmesinde vektörden rastera, rasterdan rastera ve fonksiyon kullanılarak rastera dönüştürülebilmektedir. Vektörden rastera dönüştürülmesinde IDW, Kriging, RBF gibi enterpolasyon yöntemlerinden faydalanılmaktadır.

Sisteme tanımlanan değişkenlerin uzmanlara dayalı ağırlıklarının belirlenmesinde Fuzzy AHP, Fuzzy DEMATEL, OWA gibi algoritmalar kullanılırken, modele dayalı ağırlıkların belirlenmesinde Fuzzy verilere dayalı CMA-ES evrimsel algoritması kullanılacaktır. Fuzzy AHP yöntemi uygulandığında ise tutarlılık indeksi (CI Consistency Index) hesaplaması ayrıca yapılacaktır. Bulanık ağırlıkları belirlenen değişkenlere yönelik durulaştırma işlemi CFCS yöntemi ile yapılacaktır. Katmanların entegrasyonunda ise Netcad Mimar üzerinde yer alan ağırlıklı katmanlama yöntemlerinin yanısıra FTOPSIS yöntemi ve WLC geliştirilerek sisteme entegre edilecektir. Sonuç olarak yer seçimi ve değerlendirme bazlı uygunluk haritaları üretilecektir. Kullanıcı tarafından talep edildiği takdirde değişkenlerin etkisinin değerlendirilmesine yönelik duyarlılık analizlerinin yapılabilmesi içinde mimar üzerinde bir modül geliştirilecektir. Uygunluk haritalarının oluşturulmasında değişkenlerin ağırlıklarının hesaplanması için mimara entegre edilen algoritmalarında ayrıca performans kıyaslaması nokta bazlı veriler için RMSE, FTOPSIS, WLC yöntemlerinin ve hücre bazlı veriler için ROC analizlerinin yapılabilmesine yönelik yazılım geliştirilecektir. Sonuçların değerlendirilmesi, karşılaştırılması, doküman, tablo, rapor ve harita (uygunluk haritası) şeklinde çıktı alınabilmesi sağlanacaktır. Belirtilen araştırmanın planlanmış modeli Şekil.1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. Araştırmanın Modeli

### 3. Uygulama

NetCAD ile yer seçimi ve değerlendirme amaçlı tematik haritaların yapılmasına yönelik geliştirilen model kapsamında, Netcad Mimari Analiz modülü altında yapıyı entegre eden bir program oluşturulmuştur. Mekânsal KDS olarak adlandırılan modül oluşturulmaya başlanmış ve proje dahilinde geliştirilen her operatör bu modül altında toplanılmıştır.

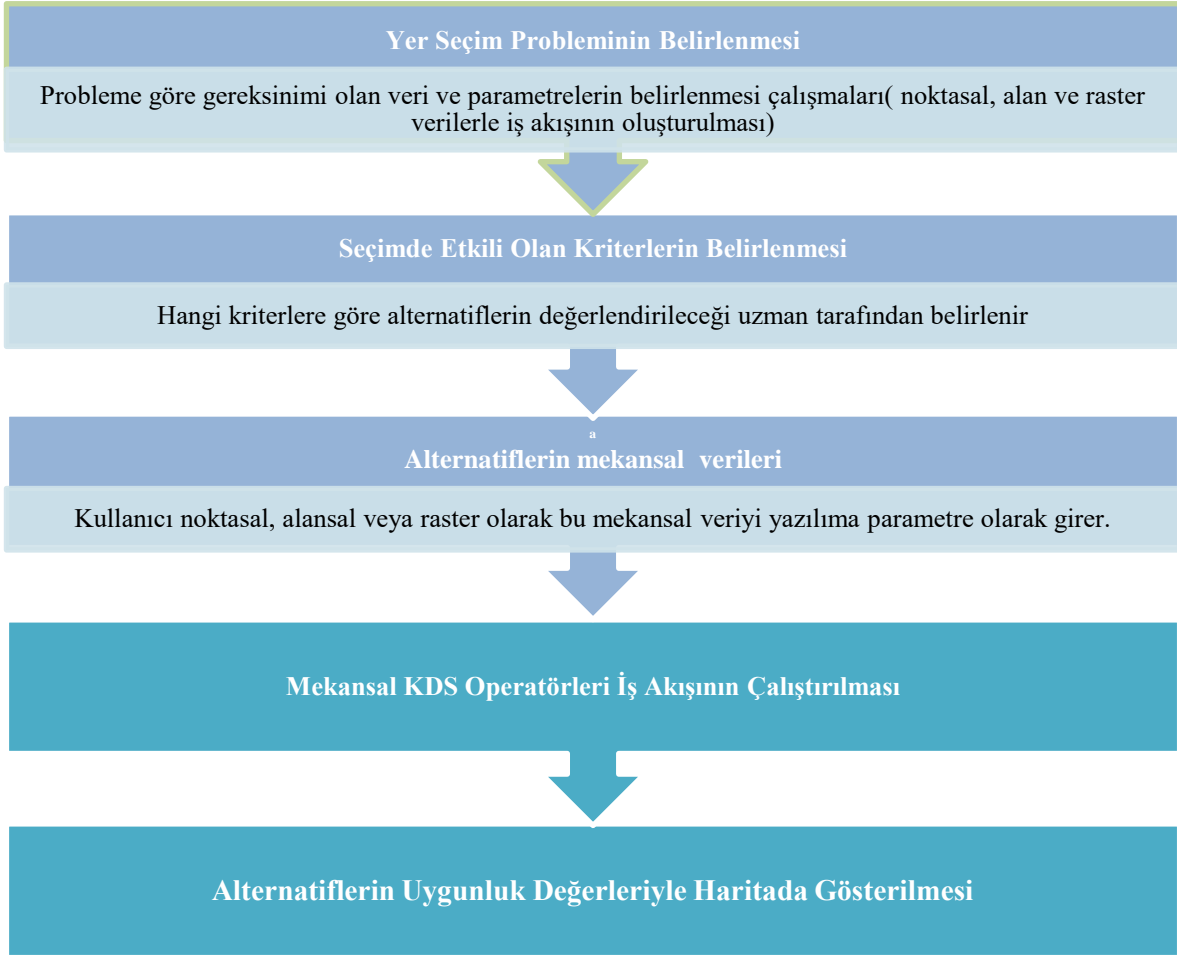
Yer seçim ve değerlendirme problemlerine göre belirlenen kriterlerin ağırlıkları Bulanık ÇKKV metodlarından

- Fuzzy AHP,
- Fuzzy DEMATEL,
- Fuzzy CMA-ES ile hesaplanmıştır.

Problemlerde yer alan alternatiflerin seçim ve sıralama aşaması Fuzzy TOPSIS metodu ile çözümlenmiştir. Belirtilen süreçlerin tamamı CBS temelli yazılım ürünü olan NetCAD mimarda C sharp programlama dili ile kullanılarak arayüzler oluşturulmuş ve analiz

modülüne entegre edilmiştir. Mekansal KDS modülündeki operatörler, daha önceki dönemlerde belirlenen problemlerin (örneğin; adayların noktasal veri olması ya da operatörlerin raster verilerle çalışır olması gibi), çözümündeki adımları gerçekleştirecek şekilde geliştirmeleri yapılmaktadır.

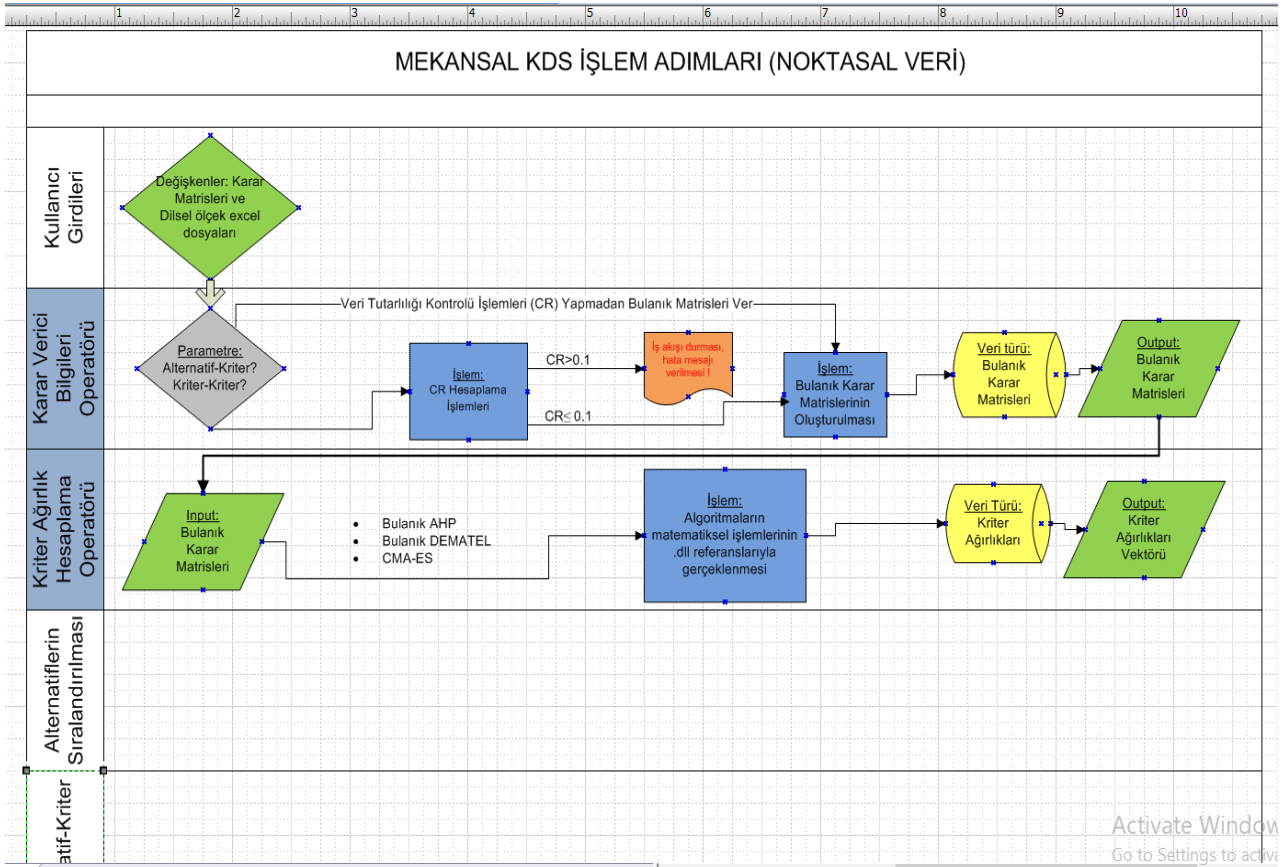
Geliştirme sürecinde; her bir operatörün sadece spesifik bir görevi yerine getirmesi, bu görevi yerine getirmek için de spesifik türde parametre ve girdilerle çalışması ve gene spesifik bir türde çıktı üretmesi planlanmıştır. Böylece sadece çıktısı ve girdisi aynı tür olan operatörler bağlanabilmektedir. Bir operatör diğer operatör için girdi oluşturacak şekilde iş akışı kurgulanmıştır. Burada hangi operatörlere ihtiyaç duyulduğu (işlem adımlarının belirlenmesi) ve bu operatörlere ait spesifik parametre, girdi ve çıktılarının belirlenmesinde ise iş paketi kapsamında yapılan çalışmalardan yararlanılmıştır. Aşağıda yer alan akışta mekânsal karar verme probleminin çözümünde izlenmesi gereken işlem adımları Şekil.2’de verilmektedir.



Şekil 2. MKDS İşlem Adımları

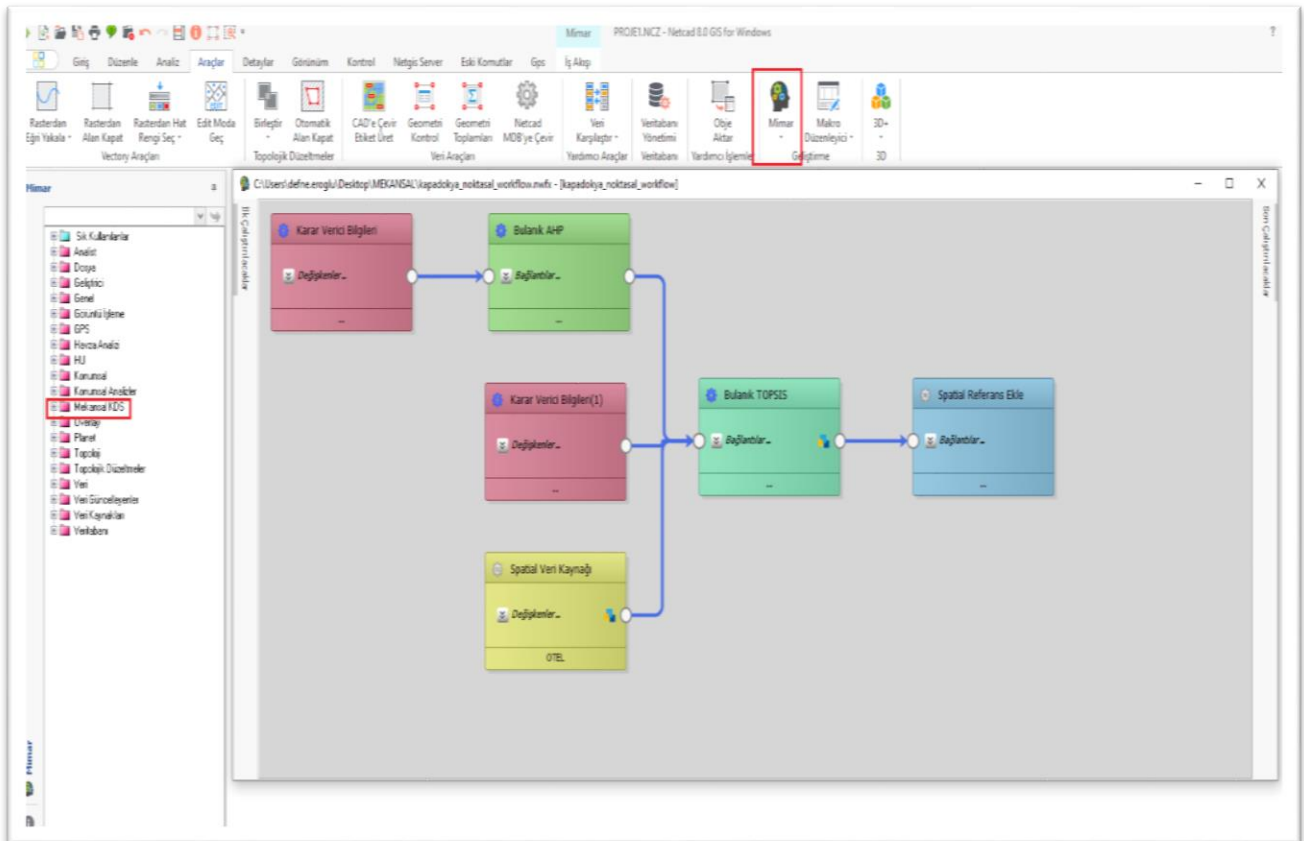
Belirtilen akış grafiğindeki ilk üç açık renkli mavi kutucuklar özellikle daha önceki dönemde yapılan çalışmalar olup, operatörlerin tanımlanmasında ve parametrelerinin oluşturulmasında bu adımlar gözlenmektedir. Çalışma bir örnek vaka üzerinden yer seçimine yönelik uygulanmıştır. Karar problemine uygun olarak özgün veri setleri hazırlanmış, veri analizi ve parametre çalışmaları yapılmıştır. Alternatifler için bölgenin uydu görüntüsünden x, y koordinatları elde edilmiş olup, mekânsal olarak noktasal veriler, alternatif bilgilerin diğer sözel verileriyle beraber \*.shp dosyasında saklanmıştır. Çalışma döneminde örnek vaka senaryolarına bağlı olarak Netcad Mimar’da Mekansal KDS modülü operatörleri geliştirilmiştir. Geliştirilen Mekansal KDS modülü operatörünün tüm yöntemleri içeren detaylı akış şeması Şekil.3’te yer almaktadır.





Şekil.3 Mekansal KDS Modülü Operatörleriyle Mimar İş Akışı

Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS yöntemlerine göre geliştirilen Mekansal KDS modülü operatörünün vaka odaklı akış şeması Şekil.4'te sunulmaktadır. Örnek vaka çalışması için uydu görüntüsü referanslara eklenerek entegrasyon sağlanmıştır.

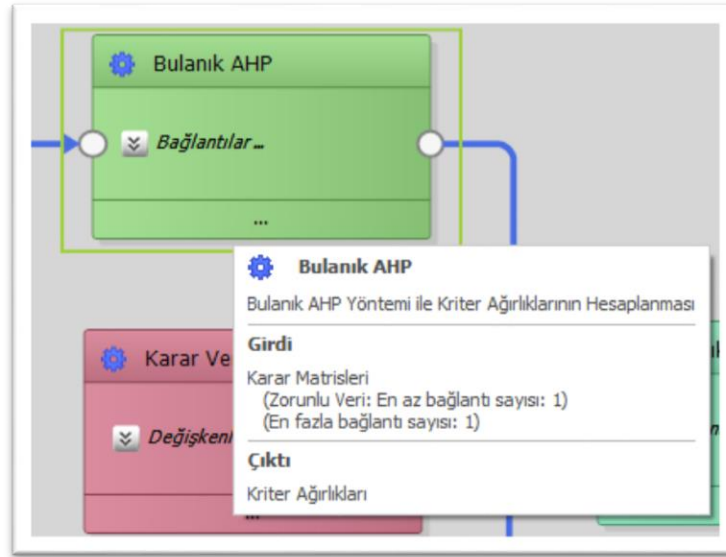


Şekil.4 Fuzzy AHP ve Fuzzy TOPSIS Örnek Vaka İş Akışı



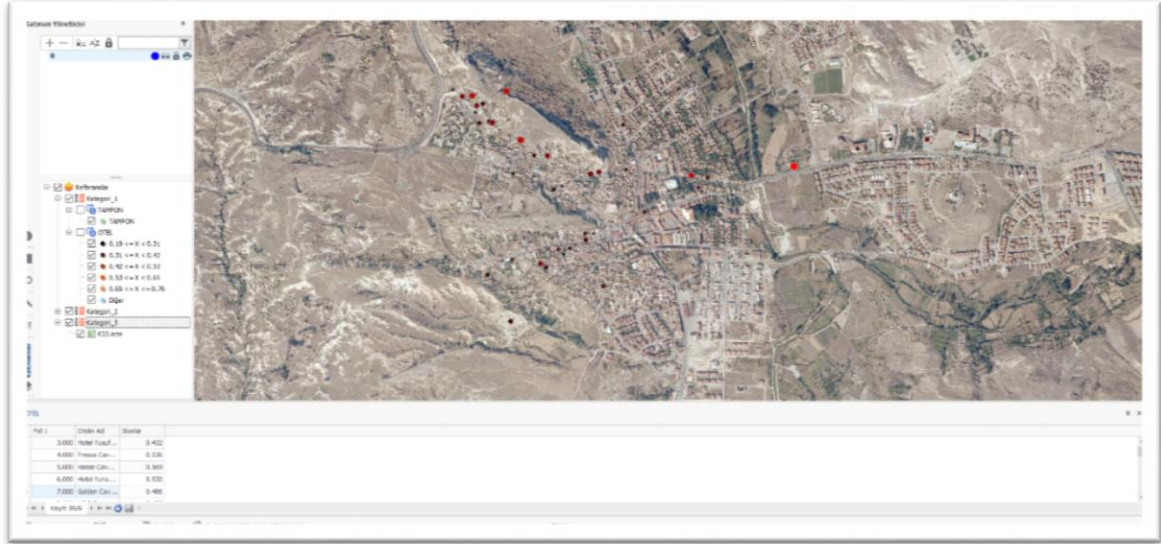
Geliştirilen karar verici bilgileri operatöründe önemli parametreler aşağıdaki gibi oluşturulmuştur:

- Karar Verici Dosya Adı: Kullanıcı, dilsel ifadelerle oluşturulmuş uzman görüş matrislerini (iş paketi kapsamında örnek olarak çalışılan formatta), birden fazla uzman görüşlerini excel formatında buradan yükler.
- Dilsel Ölçek Dosya Adı: Karar Verici Dosyasında, uzman görüşleri matrislerinde kullanılan, dilsel değerler için karşılıkları olan bulanık değer bilgilerinin excel formatında alınmasıdır.
- Operatör dilsel ifadelerle dayanan uzman görüşleri dosyalarını, karar verici dosyalarını, dilsel ölçek bilgisine göre bulanık karar matrislerine dönüştürür.
- Kullanım Türü (Kriter-Kriter/Alternatif-Kriter): Bu değişkenin tanımlanmasının sebebi, literatürde Saaty tarafından önerilen 'Kriter-Kriter' ikili karşılaştırma matrislerinin, tutarlılık oranı ön koşulunun olmasıdır. Matrisin tutarlılık oranı 0.1'den küçük ya da eşit ise uygun bir veri olarak algoritmalarda kullanılır, aksi halde subjektif değerlendirme veri uygun değildir. Operatörün burada verinin kontrol edilmesi işleminde gerçekleştiği matematiksel koşullar için yapılan işlemler iş paketi kapsamında çalışılarak tamamlanmıştır. Burada TO (Tutarlılık Oranı) hesaplanmasında; önce ikinci eşitlik için 'Karar Verici Bilgileri' operatörünün kullandığı, C#'da ilgili numerik işlemler yazılmıştır. Burada bulanık matrisin öz değerleri (eigenvalue) hesaplanması yapılır, öz değerler hesaplandıktan sonra maksimum olan alınır ve kriter sayısı, n ile arasındaki fark alınarak kriter sayısının bölünmesiyle tutarlılık indeks değeri hesaplanır. Tutarlılık indeks değerinin rastlantısal( random) indeks' e oranıyla ise tutarlılık oranı elde edilmiş olunur. Bu işlem sadece FAHP ile ağırlık belirleme aşamasında yapılmaktadır. Operatör TO 0.1'den büyük ise bulanık karar matrisleri çıktısını vermez ve hata mesajı verir; küçük veya eşit ise bulanık karar matris, birden fazla uzmana ait karar dosyaları eklenmiş ise çoklu karar matrislerini verir. Burada operatörün çıktısının türü Bulanık karar matrisleridir ve bu türde girdi kabul eden operatörlere bağlanabilir durumdadır (Şekil 5).
- Bulanık AHP Operatörü Netcad Mimar'da çalışan bu operatör şu şekilde geliştirilmiştir: girdi olarak bulanık karar matrislerini alır, görev olarak Bulanık AHP algoritma işlemlerini yapar, kriter ağırlıklarını hesaplar ve 'kriter ağırlıkları vektörü' türünde de çıktı verir. Bu şekilde operatörün ardından gelecek bir başka operatörün, girdisi 'kriter ağırlıkları vektörü' türünde tanımlanmış ise sadece bu operatöre bağlanabilir. Daha sonrasında Bulanık TOPSIS algoritmasında, adayların derecelendirilmesi işlemlerinden alternatif-kriter uzman değerlendirme matrisinin normalizasyonu sürecinde kriter ağırlıkları vektörü kullanılır. Dolayısıyla geliştirilecek olan TOPSIS operatöründe input'lardan biri mutlaka 'kriter ağırlıkları vektörü' olmalıdır.



Şekil.5 Mekansal KDS Bulanık AHP Operatörü

- Bulanık TOPSIS Operatörü; Mekânsal seçimde, adayların uygunluklarının derecelendirilmesinde, en son uygulanan bulanık algoritma ile bulanık TOPSIS işlemlerini gerçekleştirmektedir. Bu operatörde girdi olarak seçimin yapılmasındaki kriter ağırlıklarının önem ağırlıkları ile uzman görüşüne dayalı alternatiflerin kriterlere göre sözel değerlendirmeleri gerekir. Seçim mekânsal ise, adayların noktasal olduğu durum senaryosunda, konum verileri de burada girdi olarak kullanılır. Çıktı olarak ise uydu haritası bazlı bir konumsal veri tablosu verilir. Daha önce alınan konumsal veri tablosundan farklı olarak burada Bulanık TOPSIS operatörü skor değerleri kolonu ekler ve yeni tabloda skor değerleri de olur (Şekil 6). Daha sonra istenilirse sınıflandırma yöntemi ile skor değerleri gruplara ayrılabilir ve enterpolasyon yöntemleri ile de nokta bazlı verilerden raster haritalar üretilebilir.



Şekil.6 Alternatiflerin Skor Değerlerine Göre Haritada Gösterilmesi

Araştırma kapsamında geliştirilen karar verici bilgileri Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS operatöründe çalışma şekli detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Çalışmada aynı şekilde Bulanık DEMATEL ve Bulanık CMA-ES operatörleri süreçleri de benzer şekilde NetCAD Mimariye entegre edilmiştir. Çalışmanın ilerleyen döneminde ise bağımsız bir değişkenin farklı ağırlık değerlerinin sonucu nasıl etkilediği duyarlık analizleri ile belirlenecektir. Sonuç olarak, nokta, alan ve piksel bazlı tematik haritalar üretilecektir. Raster harita şeklinde oluşturulan katmanları birleştiren ve sıralandıran TOPSIS, Bulanık TOPSIS, Weighted Overlay, WLC gibi yöntemlerde kullanılarak karşılaştırmalı uygunluk haritası üretilmiş ve bu haritalar üzerinde en uygun yer seçimini esas alan bir model geliştirilmiş olacaktır.

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Bu çalışmada mekansal ve bulanık çok kriterli karar verme yöntemlerini entegre eden bir mekansal karar destek sistemi geliştirilmiştir. Bu sistem ile NetCAD Mimar'a Bulanık AHP, Bulanık DEMATEL, Bulanık CMAES ve Bulanık TOPSIS yöntemlerinin entegre edilmesi sağlanmıştır. Mekan bazlı problemlerin çözümlenmesinde kullanılacak bir model geliştirilerek, uygulamalarda kolaylıkla kullanılabilir. Bu modül karar vericilerin mekansal probleme yönelik tespit ettikleri kriterlerin ağırlıklarının hesaplanmasını ve alternatiflerin performanslarının sıralamasını yapabilmektedir. Tüm modeller için örnek vaka çalışmaları ile uygulamalar test edilmiştir. Bu makalede sadece Bulanık AHP ve Bulanık TOPSIS algoritmalarının kullanıldığı modele yer verilmiştir. Geliştirilen modül, CBS 'nin fonksiyonel yapısının ÇKKV yöntemleri ile tek bir sistem üzerinden takip ve analiz edilebildiği özel bir sürece ve öneme sahiptir. Bu sistemin görsel altyapısının bulunması ile karar vericinin çözmek istediği problemin kavranması kolaylaştırmaktadır. Karar verici NetCAD Mimar üzerinde mevcut bulanık olmayan algoritmalarla, araştırma kapsamında geliştirilen bulanık algoritmalarla yönelik sonuçları karşılaştırabilmektedir. Bu sayede farklı algoritmalar denenerek çözüme ulaşılan problemin sonuçlarının tutarlılığı kıyaslanabilecektir, tematik haritalar bu modellere göre oluşturulabilecek ve karar vericilerin güven seviyesi artırılmış olacaktır. Ayrıca araştırmacılar için problemlerin çözümünde farklı platformların kullanılma ihtiyacı olmamasından dolayı araştırmacılara zaman tasarrufu sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK TEYDEB 1501 Proje No:3170954 ile desteklenmektedir.

#### Kaynakça

- Antunes, P., Karadzic, V., Santos, R., Beça, P. & Osann, A., (2011). Participatory multicriteria analysis of irrigation management alternatives: the case of the Caia irrigation district, Portugal. *Int. J. Agric. Sustain.* 9 (2), 334–349.
- Arentze T.A., Borgers A.W.J. & Timmerman H.J.P., (1996). Integrating GIS into planning process. In: Fisher M, Scholten HJ, and Unwin D (eds), *Spatial Analytical Perspectives on GIS*, pp 187–98. *Taylor & Francis, London, UK*.
- Aydin, N. Y., Kentel, E., & Duzgun, H. S. (2013). GIS-based site selection methodology for hybrid renewable energy systems: A case study from western Turkey. *Energy conversion and management*, 70, 90-106.
- Bakhtiarifar, M., Mesgari, M. S., Karimi, M. & Chehrehgani, A. (2011). Land use change modeling using multi-criteria decision analysis and GIS. *Journal of Environmental Studies*, 37(58); 43- 52.
- Bali, A., Monavari, S.M., Riazi, B., Khorasani, N. & Kheirkhah Zarkesh, M., (2015). A spatial decision support system for ecotourism

- development in Caspian hyrcanian mixed forests ecoregion. *Bol. Ciênc. Geod.* 21 (2), 340–353.
- Barredo JI. (1996). *Sistemas de Información Geográfica y Evaluación Multicriterio en la ordenación del territorio*. Ra-Ma, Madrid, Spain.
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2008). Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. *Computers & Geosciences*, 34(4), 399-410.
- Bosque-Sendra J & García RC. 2000. El uso de los sistemas de información geográfica en la planificación territorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 20:49– 67.
- Carver, S. J. (1991). Integrating multi-criteria evaluation with geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 5(3), 321-339.
- Chakhar, S. & Martel, J.M., (2003). Enhancing geographical information systems capabilities with multicriteria evaluation functions. *J. Geograp. Inform. Decis. Anal.* 7, 47–71.
- Chakhar, S. & Mousseau, V., (2008). Generation of spatial decision alternatives based on a planar subdivision of the study area. In: Yetongnon, K., Chbeir, R., Dipanda, A. (Eds.), *Advanced Internet Based Systems and Applications, Lecture Notes in Computer Science*, 4879, pp. 137–148.
- Charabi, Y. & Gastli, A. (2011). PV site suitability analysis using GIS-based spatial fuzzy multi-criteria evaluation. *Renewable Energy*, 36(9), 2554-2561.
- Cowen, T. (Ed.). (1988). *The theory of market failure: A critical examination*. George Mason University Press.
- Dai F.C., Lee C.F. & Zhang X.H. (2001). GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: *A case study*. *Engineering Geology* 61:257–71.
- Dantsis, T., Douma, C., Giourga, C., Loumou, A. & Polychronaki, E.A., (2010). A methodological approach to assess and compare the sustainability level of agricultural plant production systems. *Ecol. Ind.* 10, 256–263.
- Dashti, S., Monavari, S. M., Hosseini, S. M., Riazi, B., & Momeni, M. (2013). Application of GIS, AHP, Fuzzy and WLC in island ecotourism development (Case study of Qeshm Island, Iran). *Life Science Journal*, 10(1), 1274-1282.
- Delgado, M. G., & Sendra, J. B. (2004). Sensitivity analysis in multicriteria spatial decision-making: a review. *Human and Ecological Risk Assessment*, 10(6), 1173-1187.
- Densham, P. J., & Goodchild, M. (1989). Spatial decision support systems: A research agenda. *Unknown Journal*, 707-716.
- Defne, Z., Haas, K. A., & Fritz, H. M. (2011). GIS based multi-criteria assessment of tidal stream power potential: A case study for Georgia, USA. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2310-2321.
- Erden, T., & Coşkun, M. Z. (2011). Acil durum servislerinin yer seçimi: Analitik Hiyerarşi Yöntemi ve CBS entegrasyonu. *İTÜDERGİSİ/d*, 9(6).
- Ertuğrul, İ., & Karakaşoğlu, N. (2008). Comparison of fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methods for facility location selection. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 39(7-8), 783-795.
- Esmaelian, M., Tavana, M., Santos Arteaga, F. J., & Mohammadi, S. (2015). A multicriteria spatial decision support system for solving emergency service station location problems. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(7), 1187-1213.
- Fotheringham AS & Wegener M. (2000). *Spatial Models and GIS*. Taylor & Francis, London, UK.
- Gigović, L., Pamučar, D., Lukić, D., & Marković, S. (2016). GIS-Fuzzy DEMATEL MCDA model for the evaluation of the sites for ecotourism development: A case study of “Dunavski ključ” region, Serbia. *Land Use Policy*, 58, 348-365.
- Gómez-Limón, J.A. & Riesgo, L., (2009). Alternative approaches to the construction of a composite indicator of agricultural sustainability: an application to irrigated agriculture in the Duero basin in Spain. *J. Environ. Manage.* 90, 3345–3362.
- Goodchild, M.F., (1992). Geographical information science. *Int. J. Geograp. Inform. Syst.* 6 (1), 31–45.
- Hassan, H. A., El-Bakry, H. M., & Allah, H. G. A. (2013). Design of Multi-Criteria Spatial Decision Support System (MC-SDSS) for Animal Production. *IAES International Journal of Artificial Intelligence*, 2(3), 117.
- Jakimavičius, M., & Burinskiene, M. (2009). A GIS and multi-criteria-based analysis and ranking of transportation zones of Vilnius city. *Technological and Economic Development of Economy*, 15(1), 39-48.
- Jankowski P. 1995. Integrating geographical information systems and multiple criteria decision-making methods. *International J Geographical Information Systems* 9:251–273.
- Jelokhani-Niaraki, M., & Malczewski, J. (2015). A group multicriteria spatial decision support system for parking site selection problem: *A case study*. *Land Use Policy*, 42, 492-508.

- Joerin F, Th'eriault M, & Musy A. (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land-use suitability assessment. *International J Geographical Information Sci* 15:153–74.
- Johnston J. (1999). Geography and GIS. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, et al. (eds), *Geographical Information Systems*, vol II, pp 39–47. *John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, USA*.
- Johnson, M. P. (2005). Spatial decision support for assisted housing mobility counseling. *Decision Support Systems*, 41(1), 296-312.
- Juan, Y. K., Roper, K. O., Castro-Lacouture, D., & Kim, J. H. (2010). Optimal decision making on urban renewal projects. *Management Decision*, 48(2), 207-224.
- Lukashe A.F., Droste R.L. & Warith M.A. (2001). Review of Expert Systems (ES), Geographic Information System (GIS), Decision Support System (DSS), and their applications in landfill design and management. *Waste Management & Res* 19:177–85.
- Mahdavi, A., & Niknejad, M. (2014). Site suitability evaluation for ecotourism using MCDM methods and GIS: Case study-Lorestan province, Iran. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences*, 4(6), 425-437.
- Malczewski, J. (1996). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 955-971.
- Malczewski, J., (1999). *GIS and Multicriteria Decision Analysis*. John Wiley & Sons, New York.
- Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. *International Journal of Geographical Information Science*, 20(7), 703-726.
- Malczewski, J., (2010). Multiple criteria decision analysis and geographic information systems. In: Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds.), *Trends in Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer; New York, pp. 369–395.
- Mari, R., Bottai, L., Busillo, C., Calastrini, F., Gozzini, B., & Gualtieri, G. (2011). A GIS-based interactive web decision support system for planning wind farms in Tuscany (Italy). *Renewable Energy*, 36(2), 754-763.
- Moghadam, S. T., Delmastro, C., Lombardi, P., & Corgnati, S. P. (2016). Towards a new integrated spatial decision support system in urban context. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 223, 974-981.
- Mohit, M. A., & Ali, M. M. (2006). Integrating GIS and AHP for land suitability Analysis for Urban Development in a Secondary City of Bangladesh. *Jurnal alam Bina*, 8(1), 1-20.
- Mohd Shamsuddin, N. H., bin Othman, M. S., & bin Selamat, M. H. (2013). Identifying of Potential Crime Area Using Analytical Hierachy Process (AHP) and Geographical Information System (GIS). *International Journal of Innovative Computing*, 2(1).
- Nasehi, S., Karimi, S., & Jafari, H. (2016). Application of Fuzzy GIS and ANP for Wind Power Plant Site Selection in East Azerbaijan Province of Iran.
- Raju, K.S., Duckstein, L. & Arondel, C., (2000). Multicriterion analysis for sustainable water resources planning: a case study in Spain. *Water Resour. Manage* 14, 435–456.
- Ray, D. (2007). *A game-theoretic perspective on coalition formation*. Oxford University Press.
- Coutinho-Rodrigues, J., Simão, A., & Antunes, C. H. (2011). A GIS-based multicriteria spatial decision support system for planning urban infrastructures. *Decision Support Systems*, 51(3), 720-726.
- Sánchez-Lozano, J. M., Teruel-Solano, J., Soto-Elvira, P. L., & García-Cascales, M. S. (2013). Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 544-556.
- Santos, L., Coutinho-Rodrigues, J., & Antunes, C. H. (2011). A web spatial decision support system for vehicle routing using Google Maps. *Decision Support Systems*, 51(1), 1-9.
- Silva, S., Alçada-Almeida, L., & Dias, L. C. (2014). Development of a Web-based Multi-criteria Spatial Decision Support System for the assessment of environmental sustainability of dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 108, 46-57.
- Sugumaran, R. & Degroote, J., (2011). *Spatial Decision Support Systems – Principles and practices*. Taylor & Francis Group.
- Sobrie, O. (2011). Implementation of the ELECTRE TRI multicriteria method in an Open Source Geographical Information System. *In 73rd Meeting of the European Working Group Multiple Criteria Decision Aiding (MCDA '73)*, University of Corsica.
- Sobrie, O. & Pirlot, M., (2012). Implementation of the ELECTRE TRI in an Open Source GIS. *European Working Group, Multiple Criteria Decision Aiding, Newsletter. Series 3, n 26, Fall 2012*.
- Sobrie, O., Pirlot, M. & Joerin, F., (2013). Intégration de la method d'aide à la décision ELECTRE TRI dans un système d'information géographique open source. *Rev. Int. Géomat*. 23 (1), 13–38.
- Torkamani, F., Fallah, S., & Saadatmand, M. (2012). How urban managers can use DSS to facilitate decision making process: an application of fuzzy TOPSIS. *Journal of American Science*, 8(5), 162-173.

- Uyan, M. (2013). GIS-based solar farms site selection using analytic hierarchy process (AHP) in Karapinar region, Konya/Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 11-17.
- Van Calker, K., Berentsen, P., Romero, C., Giesen, G. & Huirne, R.,(2006). Development and application of multi-attribute sustainability function for Dutch dairy farming systems. *Ecol. Econ.* 57, 640–658.
- Voogd H. (1983). *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning*. Pion Limited, London, UK.
- Yang, J., & Lee, H. (1997). An AHP decision model for facility location selection. *Facilities*.
- Yeh AG-O. (1999). Urban planning and GIS. In: Longley PA, Goodchild MF, Maguire DJ, et al. (eds), *Geographical Information Systems*, vol II, pp 877–88. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Wann-Ming Wey, K.-Y. W. (2007). Interdependent urban renewal project selection under the consideration of resource constraints. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 35(1), 122 - 147.





# EECP Sistem Uygulamasında St Segmentinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi \*

Hanife Satoğlu Hasbenlioğlu<sup>1†</sup>, Kemal Kaya<sup>2</sup>, Kenan Danışman<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Klinik Mühendisliği Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1254-422X)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf56)

**ATIF/REFERENCE:** Satoğlu Hasbenlioğlu, H., Kaya, K. & Danışman, K. (2020). EECP Sistem Uygulamasında St Segmentinin Yapay Sinir Ağları ile Belirlenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 430-435.

## Öz

Bu çalışmada gelişmiş harici karşı darbe (External Enhanced Counter Pulsation-EECP) cihazının işaret işleme biriminin kardiyovasküler dolaşımın diyastol faz başlangıcını hatasız biçimde tespit edebilmesini sağlamak için elektrokardiyogram (EKG) işaretinin ST parçasının segmentasyonu gerçekleştirilmiştir. EECP cihazı özellikle miyokard iskemisinin non-invazif tedavisinde kullanılmaktadır. Cihaz (EKG) işaretini analiz etmekte ve kan dolaşımının diyastol fazında hastanın alt uzuvlarına bağlı manşonları şişirerek haricen basınç uygulamaktadır. Dolaşımın sistol fazında ise manşonlar söndürülerek harici basıncın ortadan kaldırılması suretiyle sistemik vasküler rezistansın azalması sağlanmaktadır. Bu etki kalbin art yükünün (afterload) düşmesine yol açar. EKG işaretinin QRS parçası ventrikülün (karıncık) kasılmasını başlatır. Bir başka ifadeyle QRS dalgasının ortaya çıkışından hemen sonra kalp kasılması yani sistol fazı başlar. T dalgasının ortaya çıkışını takiben ventrikülün kasılması son bulur. Dolayısıyla EECP cihazının doğru zamanda devreye girmesini sağlamak için ST dalga kompleksinin tespit edilmesi bir zorunluluktur.

Yapılan çalışmada ST segmentasyonu için Physio.net'in sağlamış olduğu MIT-BIH Arrhythmia Database kullanılmıştır. Sisteme yüklenen işaretler öncesinde ön işleme tabi tutularak gürültülerden ve baseline kaymalarından arındırılmıştır. Gürültü eliminasyonu ve baseline kayması düzenlenen işaretin P, Q, R, S ve T noktaları tespit edilmiştir. Tespit edilen bu noktalardan P, Q ve R noktalarıyla birlikte bu noktalarla ilişkili 7 nokta daha giriş işaretlerini oluşturarak 10 girişli ve S, T noktalarını belirleyecek şekilde 2 çıkışlı bir ara katmanlı bir yapay sinir ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yapıda k cross validation (k katlamalı çaprazlama) yöntemi kullanılmıştır. Sistem eğitiminde sabit eğitim algoritması, farklı k katsayıları, farklı nöron sayıları ve farklı transfer fonksiyonları kullanılarak en iyi yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Sabit olarak seçilen eğitim algoritması Levenberg-Marquardt'dır. Yapılan çalışma sonucunda k katlama değeri 5 olarak belirlenmiştir. 25 nöronun kullanıldığı gizli katman için logsig tipi transfer fonksiyonu ve çıkış için poslin tipi transfer fonksiyonu kullanılarak en küçük hatayı veren yapı elde edilmiştir..

**Anahtar Kelimeler:** EECP, Yapay Sinir Ağları, ST Segmentasyonu

## Determination of St Segment in EECP System Application by Artificial Neural Networks

### Abstract

In this study in order to detect start of diastole phase of blood circulation by signal processing unit of EECP (enhanced external counterpulsation device) device segmentation of ST part of ECG (electrocardiogram) signal has been done. EECP device is especially being used in the non invasive treatment of myocardial ischemia. Device analyses ECG signal and then in the diastole phase applies external pressure to lower extremities by inflating the cuffs with air weared by patient on his/her lower extremities. In the systole

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

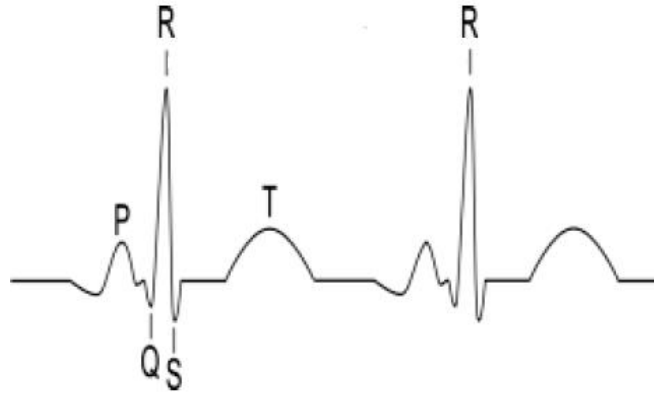
† Sorumlu Yazar: Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye, [hanife.satoglu@gmail.com](mailto:hanife.satoglu@gmail.com)

phase systemic vascular resistance decreases when the device deflates the cuffs which removes external pressures on extremities. This also results in reduce of heart's afterload. QRS wave initiates to contraction of heart's ventricles. In other words the systole phase begins shortly after the appearance of QRS wave. The ventricle's contraction is ended following the appearance of T wave. Hence, it is required to detect ST complex of the ECG signal correctly so as to run the EECF at exact time intervals. MIT-BIH Arrhythmia Database provided by Physio.net is used for ST segmentation. Firstly, the signals, which are loaded at system, are subjected to pre processing and purify the baseline shifting. After this operation P, Q, R, S and T dots are detected. In the detected dots of P, Q, R and the other 7 relevant dots, which are near to P, Q and R dots, are selected and giving the system as 10 input. The other dots S and T are creates the 2 outputs. Current used structure is a neural network artificial and has 10 inputs, 2 outputs and one layer. At this study, it is used to k cross validation. For system training it is used stabil train algorithm, different neuron number and different transfer functions. The stabil train algorithm is Levenberg-Marquardt. At the end of study folding value k is determined as 5. The structure that results in smallest error is acquired through a hidden layer of 25 neurons of which transfer function is in type of logsig and a poslin type transfer function for the output. .

**Keywords:** EECF, Neural Network Artificial, ST Segmentation

## 1. Giriş

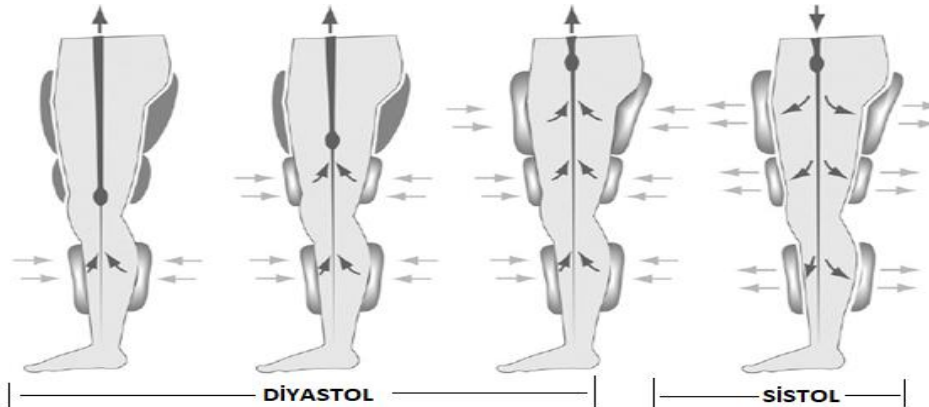
Kalp hastalıkları, bulaşıcı olmayan hastalıklar içerisinde Türkiye ve Dünyada ilk sırada yer almakta ve bu hastalık sebebiyle her yıl binlerce kişi hayatını kaybetmektedir. Kalp hastalıklarının teşhisinde kullanılan en önemli tıbbi cihaz EKG cihazıdır. EKG cihazı, hastanın göğsünün farklı yerlerine yerleştirilen probalar vasıtasıyla kalbin elektriksel aktivitesini ölçüp kaydeden, oldukça düşük maliyetli non-invasive bir cihazdır. EKG sinyali, band genişliği 0,05 Hz ile 100 Hz arasında değişen tipik olarak tepeden tepeye genlik değeri 5 mV'olan bir AC sinyaldir [1]. EKG işareti, Şekil 1'de görüldüğü gibi P, Q, R, S ve T noktalarının belirlediği tepe ve çukurlardan oluşmaktadır. Hastalık teşhisinde bu noktaların konumlarına ve durumlarına bakılarak yorum yapıp tedavi yöntemleri geliştirilmektedir.



Şekil 1: EKG İşareti

EECF'de bu süreçte geliştirilmiş olan EKG tabanlı non-invasive bir yöntemdir. Bu yöntem 1950'li yılların başlarında Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılmaya başlanmıştır. EECF'nin ilk kullanım amacı miyokard iskemisi olan hastalarda miyokardın oksijen ihtiyaç miktarını ayarlamayı amaçlamıştır. İlerleyen zamanlarda bu tedavi yöntemi kalp krizi ve inme geçiren hastalarda da kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde diğer kalp hastalıkları için de EECF yöntemi kullanılarak tedavide ne kadar başarılı olduğu araştırılmaktadır [2, 3, 4].

EECF yöntemi, Şekil 2'de gösterildiği gibi bacaklara bağlanan manşonların sırasıyla sıkılıp gevşetilmesi ilkesine göre çalışmaktadır. Vücutun kalp haricindeki tüm organ ve dokuları sistol fazında kanlanırken kalbin kendisi diyastol fazında kanlanır. Sistol fazında cihaz manşon basıncını azaltarak sistemik vasküler rezistansın azalmasını sağlar. Bu etki ise kalbin art yükünün (afterload) düşmesine yol açar. QRS dalgası ventrikülün kasılmasını başlatır. Bir başka ifadeyle QRS dalgasının ortaya çıkışından hemen sonra sistol başlar. T dalgasının ortaya çıkışını takiben ventrikülün kasılması son bulur ve manşonlar gevşer.



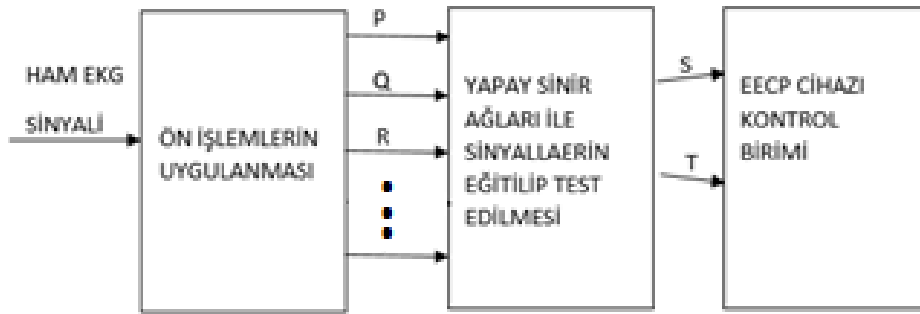
Bu çalışmada, EECP cihazının manşonlarının ST dalgasının başlangıcında sıkılıp sonunda ise gevşetilmesi için gerekli olan ST segmentasyon verisinin EKG sinyalleri üzerinden yapay sinir ağı ile elde edilmesi amaçlanmıştır. EECP, girişimsel bir yöntem olmadığı gibi farmakolojik bir tedavi biçimi de değildir. EECP tedavisinin çeşitli etki mekanizmaları olduğu düşünülmektedir. Bunlar; endotel fonksiyonda iyileşme, kolateral damar oluşumu, ventrikül fonksiyonunda gelişme, oksijen tüketiminde iyileşme, aterosklerozda gerileme ve periferde egzersize benzer antrenman etkisi olarak değerlendirilmektedir. Yarattığı hemodinamik etkiler intra aortik balon pompasının (Intra-aortic Balloon Pump - IABP) yarattığı etkilere benzer. Bununla birlikte IABP'den farklı olarak EECP venöz dönüşte de artış sağlamaktadır [5].

EECP'nin yol açtığı akut hemodinamik etkilerden yola çıkarak etki mekanizması üzerine şöyle bir hipotez geliştirilmiştir: EECP venöz dönüşü artırmakta, diyastolik takviye sağlamakta kardiyak debiyi ve koroner kan akışını yükseltmektedir. Tüm bu faktörler damar içi kayma geriliminin artmasına sebep olmaktadır. Kayma gerilimi ise bilindiği üzere anjiyojenesis tetiklemekte ve vazoaaktif maddeler yoluyla vasküler fonksiyonun iyileşmesine yol açmaktadır [6].

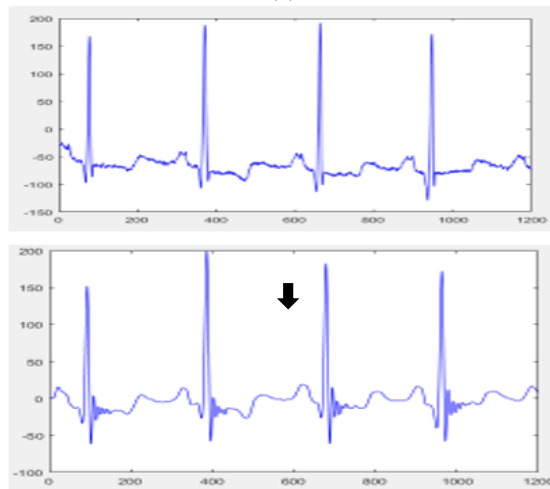
## 2. Materyal ve Metot

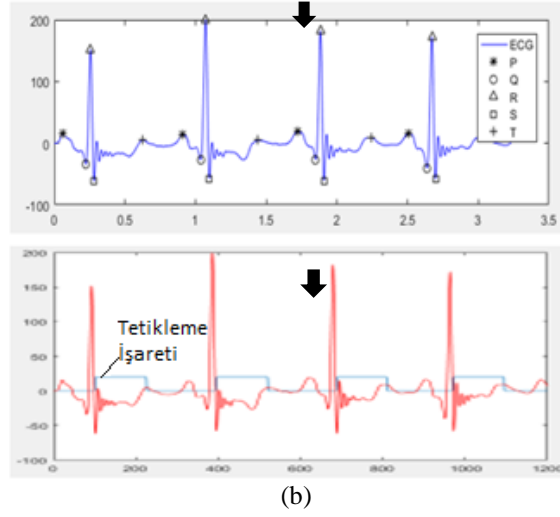
Bu çalışmada yapay sinir ağının eğitilmesi ve test edilmesinde PhysioNet'in sağlamış olduğu MIT-BIH Arrhythmia dataları kullanılmıştır. Datalar iki kanallı olup 47 adet yarım saatlik kayıtlardan oluşmaktadır. Bu kanallardan mML2, ve 45 adet sinyal kullanılmıştır. Çalışma, 20000000 adet veri ile çalıştırılarak sonuçları incelenmiştir. Üzerinde çalışılan bu veriler 11 bit çözünürlükte 10mV aralığında olup saniyede 360 örnekleme şeklinde sayısallaştırılmıştır. Belirtilen sinyaller MATLAB R2016b programıyla işlenmiştir.

Yapılan çalışmada üç temel adım izlenmiştir. Bu adımlardan ilki ön işleme ile ham sinyaldeki gürültü eliminasyonu ve baseline kaymalarını engellenmesidir. İkinci adım ile sinyalin P, Q, R, S, T noktalarının tespiti yapılmıştır. Son adımda ise ST noktaları elde edilmiştir. (Şekil 3)



(a)





Şekil 3: Uygulanan metodun blok gösterimi(a) ve program üzerindeki uygulaması(b)

## 2.1. Ön İşleme

Ön işlemeye baseline'ın sıfıra oturtulmasıyla başlanmıştır. İşaretin baseline'ı sıfıra oturtmak için 9 seviyeli, 8 dizili Daubechies wavelet dönüşümü kullanılmıştır.

Baseline'ı sıfıra oturtulan işaret, 60 Hz şebeke girişim gürültüsünden arındırılmak için çentik (notch) filtre ile diğer gürültülerden arındırılmak için ise band durduran ve alçak geçiren butterworth filtrelerinden geçirilmiştir.

## 2.2. P, Q, R, S ve T Noktalarının Saptanması

Yapılan çalışmada, üzerinde işlem yapılacak olan sinyalin gürültü eliminasyonu yapıp ve baseline'ı da sıfıra oturtulduktan sonra EKG işaretindeki noktalar tespit edilmiştir. Bu noktaların tespitinde işaretin ön hazırlık aşamasında Pan ve Tompkins yöntemi kullanılmıştır [7]. Ancak tepe ve çukurların saptanmasında daha farklı bir yol izlenmiştir.

Ön işlemden geçirilen sinyal PQRST noktalarının belirlenebilmesi için yeni işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu işlemlerden ilki, bir AC sinyal olan EKG sinyalinin içinde bulunan DC bileşenlerden arındırılması işlemidir. Genlik değerlerinin 0-1 arasında ifade edilmesi değerlendirme yaparken kolaylık sağlayacağı için sinyale normalizasyon işlemi uygulanmıştır. Normalize edilen sinyal, sırasıyla alçak ve yüksek geçiren filtrelerden geçirilmiştir. Daha sonra kareleme işlemi ve ardından da kayan pencere integratörü uygulanmıştır.

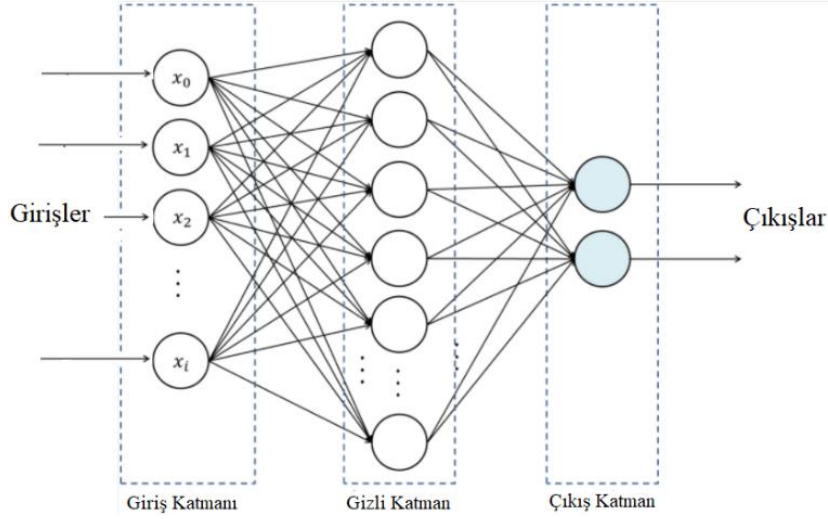
Yapılan bu işlemlerden sonra Pan ve Tompkins Algoritması'ndan farklı bir algoritma kullanılarak PQRST noktaları saptandı. Kullanılan bu algoritmada öncelikle işaretler her QRS dalgasına göre sol ve sağ bölgeler şeklinde sınıflandırılır. Ardından sol ve sağ olarak belirlenen bölgelerden sol bölge sonunun 60 birim daha solundaki yerde minimum işaret bulunarak P bölgesi olarak belirlenir. Sol ve sağ bölgeler arasında kalan maksimum tepelik de R tepesi olarak alınır. Sol kısım ile R tepesi arasında kalan bölgedeki minimum nokta Q bölgesi olarak belirlenir. R tepesiyle sağ bölge arasında kalan minimum nokta S bölgesi olarak alınır. Geriye kalan T bölgesinin tespitinde ise sağ bölge başlangıcından 125 birim daha sağ kısım arasındaki maksimum tepelik de T noktası olarak belirlenir [8]. Belirlenen tüm bu bölgeler Şekil-2(b) de görüldüğü gibi farklı simgelerle işaretlenerek EECF için gerekli olan tetikleme işareti elde edilir.

## 2.3. St Segmentasyonu

Bu çalışmada ST segmentasyonu işlemi için yapay sinir ağlarından faydalanılmıştır. Yapay sinir ağları, biyolojik sinir ağlarından esinlenerek oluşturulan nümerik işlemler yardımıyla öğrenme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu öğrenme işlemi ile ekonomi, tıp, mühendislik, endüstri gibi günlük hayatta karşılaştığımız birbirinden farklı doğrusal olmayan problemlerin çözümünde kullanılmaktadır [9,10,11].

Doğrusal olmayan sistem karakteristiklerini en az hata ile modelleyebilme potansiyeline sahip olmalarından dolayı yapay sinir ağları, fonksiyon yaklaşırma (eğri uydurma) alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları kullanılarak ölçüm sisteminin kalibrasyon verisinden kolayca elde edilebilen ve öğrenme verisi olarak da adlandırılan giriş-çıkış veri çiftinden doğrudan olması da dolaylı olarak giriş çıkış ilişkisini ortaya koyan F fonksiyonu elde edilir [10].

Yapay sinir ağları, giriş katmanı, ara katman ve çıkış katmanı olmak üzere üç ana kısımdan meydana gelmektedir (Şekil 4).



Şekil 4. MLP Yapay Sinir Ağının Yapısı

Yapay sinir ağlarını eğitmek için kullanılacak birçok eğitim algoritması mevcuttur. Bu algoritmaların en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir;

- Levenberg-Marquardt (trainlm)
- BFGS Quasi-Newton (trainbfg)
- Resilient Backpropagation (trainrp)
- Scaled Conjugate Gradient (trainscg)
- Conjugate Gradient with Powell/Beale Restarts (traincgb)
- Fletcher-Powell Conjugate Gradient (traincgf)
- Polak-Ribière Conjugate Gradient (traincgp)
- One Step Secant (trainoss)
- Variable Learning Rate Backpropagation (traingdx)

Bu algoritmaların içerisinde en çok tercih edilen algoritma, fazla hafıza gerektirmesine rağmen hızlı olmasından dolayı geri beslemeli bir yapıya sahip olan Levenberg-Marquardt algoritmasıdır. Ağın eğitilmesi aşamasında kullanılan transfer fonksiyonları ise;

Gizli katman transfer fonksiyonları:

- Hyperbolic tangent sigmoid transfer function (tansig)
- Log-sigmoid transfer function (logsig)
- Elliot symmetric sigmoid transfer function (elliotsig)

Çıkış transfer fonksiyonları:

- Linear transfer function (purelin)
- Positive linear transfer function (poslin)
- Saturating linear transfer function (satlin)
- Symmetric saturating linear transfer function (satlins)

Oluşturulan algoritmada, doğrusal olmayan 10 girişli, 2 çıkışlı yapay sinir ağı k katlamalı çapraz doğrulama ile eğitilerek test edilmiştir. Oluşturulan yapay sinir ağına girişler P, Q, R, ile bu noktalara yakın 7 farklı nokta, çıkışlar ise S ve T noktalarıdır. K katlamalı çapraz doğrulama, veri setini parçalara ayırma yöntemlerinden biridir. Bu yöntem, veriyi belirlenen bir k sayısına göre eşit parçalara böler, her bir parçanın hem eğitim hem de test için kullanılmasını sağlar, böylelikle dağılım ve parçalanmadan kaynaklanan sapma ve hataları minimuma indirir [12].

Bu çalışmada k katsayısını 2, 5, 10, 15 olarak, farklı gizli katman nöron sayıları, farklı eğitim algoritmaları ve transfer fonksiyonları kullanılarak en optimum sonucu veren yapı elde edilmeye çalışılmıştır. Hata analizinde test ortalama karesel hata (mse, mean squared error) değerleri irdelenmiştir.

K katlama değerleri irdelenirken optimum transfer fonksiyonlarını belirleyebilmek için parametrelerden sadece birini değiştirip diğer parametreleri sabit tutarak ağ eğitilmiş ve test mse değerleri kaydedilmiştir.

İkinci adımda elde edilen verilerle en uygun gizli katman nöron sayısı belirlenmiştir. Bu adımda hem logsig, purelin hem tansig, poslin hem de logsig, poslin şeklinde değişik kombinasyonlar kullanılarak en uygun gizli katman nöron sayıları için çalışma yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Optimum Transfer Fonksiyonları ve Değişik Nöron Sayılarının Eğitim Sonucu Hata Değerleri (Test mse)



Gizli Katman Transfer Fonk.	Çıkış Transfer Fonk.	Eğitim Algoritması.	Gizli Katman Nöron Sayısı	Fold Sayısı	Test Hatası (MSE)
logsig	purelin	trainlm	10	5	2,96E-04
logsig	purelin	trainlm	15	5	2,52E-04
logsig	purelin	trainlm	20	5	2,32E-04
logsig	purelin	trainlm	25	5	2,31E-04
tansig	poslin	trainlm	10	5	3,20E-04
tansig	poslin	trainlm	15	5	2,99E-04
tansig	poslin	trainlm	20	5	2,55E-04
tansig	poslin	Trainlm	25	5	2,75E-04
logsig	poslin	trainlm	10	5	2,80E-04
logsig	poslin	trainlm	15	5	2,48E-04
logsig	poslin	trainlm	20	5	2,44E-04
logsig	poslin	trainlm	25	5	2,23E-04

Yapılan çalışma sonucunda optimum k katlama değeri 5, optimum transfer fonksiyonları da sırasıyla gizli katman transfer fonksiyonu için logsig, çıkış transfer fonksiyonu için ise poslin olarak belirlenmiştir. Gizli katmanda ise 25 nöron kullanılarak en küçük test hata değeri Tablo-1'den de görüleceği gibi  $2,23 \times 10^{-4}$  olarak elde edilmiştir.

#### 4. Sonuç

Sonuç olarak bu çalışmada, EKG işaretinin yapay sinir ağları kullanılarak ST segmentasyonu yapılmıştır. Elde edilen ST parçası, EECP sistemi kontrol biriminde tetikleme sinyali olarak kullanılarak manşonların zamanında sıkılıp gevşetilmesi işleminde kullanılabilir.

#### Kaynakça

- [1] K. Surekha and B. Patil, "QRS Complex Compression Of ECG Signal Using Hybrid Transform," Bangalore, India, 20-21 Sept. 2013.
- [2] O. Soran, "A New Treatment Modality in Heart Failure Enhanced External Counterpulsation (EECP)," *Cardiology in Review*, vol. 12, no. 1, pp. 15-20, 2004.
- [3] A. Mokhlessi, M. Khalilzadeh, A. Moghimi and H. Soleiman, "EECP and Flow Rate of Coronary Arteries in Human Blood Circulation Model," in *In 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering*, Berlin, 2008.
- [4] S. YAVAŞ, "Güçlendirilmiş Eksternal Kontrpulsasyon (EECP)," *Türkiye Klinikleri Cardiovasc Sci*, vol. 3, no. 19, pp. 165-173, 2007.
- [5] O. SORAN, "Enhanced External Counterpulsation Therapy in Coronary Artery Disease Management," in *Scientific Basis of Healthcare Angina*, CRC Press, 2011, p. 174.
- [6] M. A. SILVER, "The Role of Enhanced External Counterpulsation in Heart Failure Management," in *Heart Failure, Device Management*, Wiley Backwell, 2010, p. 151.
- [7] P. JIAPU and W. J. TOMPKINS, "A Real Time QRS Detection Algoritm," *IEEE transactions on biomedical engineering*, pp. 230-236, march 1985.
- [8] M. Bassiouni, E. El-Dahshan and W. K. e. al., "Intelligent hybrid approaches for human ECG signals identification," *Springer*, no. 12, pp. 941-949, 2018.
- [9] E. Öztemel, *Yapay Sinir Ağları*, İstanbul: Papatya Yayıncılık Eğitim, 2012.
- [10] İ. Dalkıran and K. Danışman, "E-Tipi Termal Çiftin Çıkışının Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Sinir Ağları ile Doğrusallaştırılması," *IEEE 14. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, pp. 1-4, 2006.
- [11] H. Erkamaz, M. Özer and İ. Orak, "Detection of directional eye movements based on the electrooculogram signals through an artificial neural network," *Chaos, Solitons & Fractals*, pp. 225-229, May 2015.
- [12] E. Şirin, "Bir Bakışta K-Fold Cross Validation," *Veri Bilimi Okulu*, 29 Ağustos 2017. [Online]. Available: <https://www.veribilimiokulu.com/bir-bakista-k-fold-cross-validation/>. [Accessed 29 Aralık 2019].



# Anomaly Detection in Bitcoin Prices using DBSCAN Algorithm\*\*

Ahmet Şakir Dokuz<sup>1\*</sup>, Mete Çelik<sup>2</sup>, Alper Ecemiş<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1775-0954)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-1488-1502)

<sup>3</sup> Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye (ORCID: 0000-0001-5455-0006)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf57)

**ATIF/REFERENCE:** Dokuz, A. Ş., Çelik, M. & Ecemiş, A. (2020). Anomaly Detection in Bitcoin Prices using DBSCAN Algorithm. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 436-443.

## Abstract

Blockchain is an emerging technology which is also behind the Bitcoin digital money. Daily bitcoin transactions are increasing due to the popular and widespread investments. The increase of Bitcoin related datasets and this increased big dataset requires novel approaches and methods to analyze using data mining techniques. In addition, fluctuations and anomalies in the bitcoin prices could mean a great deal to economists and discovering anomalies in bitcoin prices is important. In this study, anomaly detection in Bitcoin prices is performed based on the change of Bitcoin price difference and the change of Bitcoin price difference in percentage with respect to previous day using 8-years of Bitcoin price dataset of the period of 2012-2019. First, the dataset is pre-processed and unnecessary columns are deleted. Then, 2 different datasets are created by using daily bitcoin prices, i.e. bitcoin price difference dataset and bitcoin price difference in percentage dataset. After that, for detecting anomalous price changes, DBSCAN algorithm and statistical method are used, and the performance of the algorithms are evaluated. The results show that the DBSCAN algorithm and statistical method successfully detects anomalies in bitcoin prices for both of the datasets. However, the DBSCAN algorithm performs better than the statistical method which could detect anomalies even they are close to the normal daily price changes. Also, in this study, bitcoin price difference dataset and bitcoin price difference in percentage dataset are compared and the differences of the results for both datasets and their reasons are explained.

**Keywords:** Bitcoin price, Blockchain, Data mining, Anomaly detection, DBSCAN Algorithm, statistical approach

## DBSCAN Algoritması Kullanarak Bitcoin Fiyatlarında Anormallik Tespiti

### Öz

Blokzincir, bitcoin dijital para biriminin de alt yapısını oluşturan yeni bir teknolojidir. Popüler ve yaygın yatırımlar sayesinde günlük gerçekleştirilen bitcoin işlem sayısı gün geçtikçe artmaktadır. Bitcoin verisi her geçen gün artmakta ve dolayısıyla artan büyük bitcoin verisinin analizi ve madenciliği için yeni veri madenciliği yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak, Bitcoin fiyatındaki dalgalanmalar ve anormal fiyat değişimleri ve bu değişimlerdeki anormalliklerin keşfi ekonomistler için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 2012-2019 yıllarına ait 8 yıllık bitcoin fiyat veri kümesi kullanılarak bitcoin fiyat farkı ve bitcoin fiyatı yüzdesel farkı olmak üzere iki farklı veri kümesi oluşturulup, anormallik tespiti gerçekleştirilmiştir. Öncelikle veri kümesi ön işlem aşamasından geçirilerek gereksiz sütunlar çıkarılmıştır ve daha sonra günlük fiyat farkları kullanılarak veri setleri oluşturulup, DBSCAN algoritması ile anormallik tespiti yapılmıştır. Ayrıca bu çalışmada DBSCAN algoritmasının sonuçları istatistiksel yöntemin sonuçları ile karşılaştırılıp, tartışılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, DBSCAN algoritması ve istatistiksel metodun bitcoin fiyatlarındaki anormallikleri her iki veri kümesinde de başarıyla tespit edebildiği görülmüştür. Bununla birlikte DBSCAN algoritması normal günlük fiyat değişimlerine yakın olan anormal fiyat değişimlerini de keşfedebildiği için istatistiksel metottan daha iyi performans

\* Corresponding Author: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Niğde, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1775-0954

\*\*This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

göstermiştir. Ayrıca, bu çalışmada bitcoin fiyat farkı veri kümesi ve bitcoin fiyatı yüzdesel farklı veri kümesi karşılaştırılmış ve her bir veri kümesi için olan sonuçlar ve sebepleri tartışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bitcoin fiyatı, Blokzincir, Veri madenciliği, Anormallik tespiti, DBSCAN algoritması, İstatistiksel yöntem

## 1. Giriş

Blockchain is a network protocol that provides transfer of assets online without requiring a mediator, such as banks (Melanie, 2017). Bitcoin is an electronic money which is based on blockchain technology and is proposed by Satoshi Nakamoto in 2008 (Nakamoto, 2008).

Bitcoin gained attention from financial and economics domains due to its ability to transform current payment and money systems (Böhme et al., 2015). The increase in bitcoin transactions led the increase of bitcoin related datasets. Analysis of such datasets requires data analysis and data mining techniques.

However, bitcoin has several challenges. First of all, due to the decentralized nature and anonymity of bitcoin, there is a challenge against illegal transactions and cyber attacks (Sas & Mara, 2017). In addition, the accumulation of data from day to day creates the problem of scalability. Also, fluctuations in bitcoin prices complicate the future bitcoin price prediction and create abnormal situations.

Anomaly detection is the process of discovering instances in the datasets which are different than the rest of the instances (Agrawal & Agrawal, 2015). Anomaly detection provides information about unexpected behaviors of people, devices, and data-related objects. In this study, anomaly detection has been used to get insight about the fluctuations of bitcoin prices. The prices of bitcoin could change dramatically because there is no stable and protected market for bitcoin. Because of this reason, bitcoin can be seen as illegal or treated as unreliable investment tool (Id et al., 2019).

In the literature, Id et al. performed anomaly detection in five biggest digital money platforms to observe abnormal activities and resulted that the anomalous activities could be linked with price manipulation and money laundering (Id et al., 2019). Dokuz et al. analyzed daily, hourly, and monthly aspects of bitcoin data (Dokuz et al., 2019). Thai and Lee detected suspected users and transactions in bitcoin dataset using machine learning methods (Lee & Edu, 2016). Monamo et al. detected fraud activities in bitcoin transactions using k-means 2clustering algorithm (Monamo et al., 2016). Bartoletti et al. used machine learning algorithms for detection of bitcoin addresses that are related to Ponzi schemes (Bartoletti et al., 2018). Sayadi et al. performed anomaly detection in bitcoin electronic transactions using machine learning algorithms (Sayadi, Rejeb, & Choukair, 2019). In the study, one-class SVM algorithm and k-means clustering algorithm are used for anomaly detection. Baek et al. detected DDOS attacks in 22 network using deep learning methods, and the authors claim that this method could be applied to other blockchain systems (Baek et al., 2019).

In this study, anomaly detection in bitcoin prices is performed using two methods, namely DBSCAN algorithm and statistical method. The selected bitcoin price dataset is 8-years dataset and belongs to the period of 2012-2019. First, the dataset is pre-processed and unnecessary columns are deleted. After that, for detecting anomalous daily changes, DBSCAN algorithm and statistical method are used, and then the performances of the algorithms are evaluated.

The rest of this study is organized as follows. Section 2 presents the dataset of this study, and introduces DBSCAN and statistical anomaly detection methods. Section 3 presents the results of the used methods. Section 4 presents the conclusions.

## 2. Material and Method

In this section, first bitcoin price dataset which is used in this study is explained, and then DBSCAN and statistical anomaly detection methods are introduced.

### 2.1. Bitcoin Price Dataset

In this study, 8-years of daily bitcoin price dataset which is belong to the period of January 2012 to December 2019 (Investing, 2020). The original dataset has 2921 instances and contains 7 columns, such as, date, now, open, high, low prices, volume, and change percentage. In this study, we only used daily price information and so other columns are removed from the dataset.

The daily price values of bitcoin between 2012-2019 is shown in Figure 1. As can be seen in the figure, bitcoin prices have fluctuations, especially in the years of 2018 and 2019. It has reached its highest values in 2018 and it is also increased in 2019



Fig. 1 Bitcoin price (\$) between 2012-2019

In this study, bitcoin price data is prepared in 2 different ways, i.e. daily bitcoin price difference and daily bitcoin price in percentage difference, and analyses are performed. The daily bitcoin price difference dataset is prepared using the bitcoin price difference between current and previous day as shown in Equation (1). The daily bitcoin price in percentage difference dataset is prepared using the bitcoin price difference between current and previous day divided by bitcoin price for current day as shown in Equation (2).

$$z_i = x_i - x_{i-1} \tag{1}$$

$$q_i = \frac{x_i - x_{i-1}}{x_i} \tag{2}$$

In the equations,  $z_i$  presents daily bitcoin price difference on  $i^{\text{th}}$  day,  $q_i$  presents daily bitcoin price difference in percentage for the  $i^{\text{th}}$  day,  $x_i$  presents bitcoin price on the  $i^{\text{th}}$  day and  $x_{i-1}$  presents the bitcoin price on the  $i-1^{\text{th}}$  day.

## 2.2. DBSCAN Algorithm

DBSCAN is a density-based clustering algorithm (Ester et al., 1996). DBSCAN is a clustering algorithm. However, it successfully discovers anomalies based on the user given algorithm parameters of neighboring radius  $Eps$  and minimum number of points  $minpts$ . (Khan et al., 2014) (Çelik et al., 2011) (Ozekes et al., 2018).

There are three types of points in DBSCAN algorithm to perform clustering and to detect anomalies, i.e. core point, border point, and noise point (Khan et al., 2014). If point  $p$  satisfies the minimum  $minpts$  threshold within  $N_{Eps}$ , (Equation 3), point  $p$  is called as core point. If point  $p$  do not satisfy the minimum  $minpts$  threshold within  $Eps$  distance, however point  $p$  directly density-reachable from a core point, then  $p$  is called as border point. If point  $p$  do not satisfy the minimum  $minpts$  threshold within  $Eps$  distance and if  $p$  is not a border point, then  $p$  is called as noise or anomaly point (Chen, Gao, & Li, 2010). For any point  $p$ , the number of neighboring points are calculated based on Equation 3: In the equation,  $D$  is dataset,  $Eps$  is radius,  $N_{Eps}$  is neighbourhood radius and  $p$  is an arbitrary point which is selected from the dataset. Dist is usually selected as Euclidean distance.

$$N_{Eps} = \{q \in D \rightarrow dist(p, q) < Eps\} \tag{3}$$

The anomaly detection method with DBSCAN algorithm which is used in the study is given in Algorithm 1.

---

### Algorithm 1. DBSCAN Anomaly Detection Method

---

**Inputs:**

- $Eps$ : Distance threshold
- MinPts: Minimum neighbor count threshold

**Output:** Anomalous price differences

1. data = readData()
  2. dataset = preprocessingData(data)
  3. anomalies = applyDBSCAN(Eps, MinPts, dataset)
  4. **return** anomalies
-

When the steps of the Algorithm 1 are examined, the dataset is read at step 1. At step 2, the raw data is preprocessed using the *preprocessingData* function and unnecessary columns are deleted. At step 3, DBSCAN algorithm is applied on the prepared dataset with *Eps* and *MinPts* threshold parameters and anomalous price differences are detected. At step 4, detected anomalous prices are returned as the algorithm output.

### 2.3. Statistical Method

The statistical method is based on the assumption that the data are normally distributed. The normal distribution depends on 2 different variables called average ( $\mu$ ) and standard deviation ( $\sigma$ ) (Tan et al., 2005). While performing anomaly detection with normal distribution, it is common practice to accept values between  $\mu \pm 2\sigma$  and  $\mu \pm 3\sigma$  as normal and other cases as abnormal (Çelik et al., 2011).

The anomaly detection with statistical method which is used in the study is given in Algorithm 2.

---

**Algorithm 2.** Statistical Anomaly Detection Method

---

**Inputs:**

- $\mu$ : Mean
- $\sigma$ : Standard deviation
- $\beta$ :  $\sigma$  multiplier coefficient

**Output:** Anomalous price differences

1. data = readData()
  2. dataset = preprocessingData(data)
  3. upperlimit =  $\mu + \beta \sigma$ , lowerlimit =  $\mu - \beta \sigma$
  4. **for** x:each instance from dataset
  5.     **if** ( lowerlimit > x || x > upperlimit )
  6.         anomalies.add(x)
  7. **return** anomalies
- 

When the steps of Algorithm 2 are examined, the dataset is read at step 1. At step 2, the raw data is preprocessed using the *preprocessingData* function and unnecessary columns are deleted. At step 3, upper and lower limits of the dataset are determined for anomaly detection. In steps 4, 5 and 6, each data in the dataset is compared with the upper and lower limits, and the values that are not between these two limits are detected abnormally. At step 7, detected anomalous prices are returned as the algorithm output.

## 3. Results and Discussion

This section presents the experimental results of this study. Experiments are carried out using 2 different datasets as presented in Section 2.1. These datasets are evaluated by statistical method and DBSCAN algorithm, and the results are evaluated.

### 3.1. Experiments on Bitcoin Price Difference in Percentage

The purpose of the bitcoin price percentage difference experiments is to evaluate the changes in bitcoin prices in percentage and to discover anomalies in the dataset. The average ( $\mu$ ) is calculated as 0.00449 and the standard deviation ( $\sigma$ ) is calculated as 0.082298 for the statistical method. In addition,  $\mu \pm \sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  and  $\mu \pm 3\sigma$  are selected for the detection of anomalous price differences in percentage and the anomalies are presented in Figure 3.

When the results in Figure 3 are analyzed, it is observed that as the standard deviation coefficient increases, there is a decrease in the number of abnormal points detected. In addition, when looking at the results of  $\mu \pm \sigma$ , it is observed that the values that should be normal are detected abnormally. In  $\mu \pm 3\sigma$  results, it is seen that abnormal points are overlooked and detected normally. As a result, it can be said that the most efficient abnormality detection for analytical experiments is carried out in the range of  $\mu \pm 2\sigma$ .

When the daily bitcoin price in percentage difference data is analyzed, it is observed that the largest percentage change is realized on 24.02.2014 with a daily difference of 3.36% and the second biggest percentage change is on 20.02.2014 with a rate of 1.29%. In this case, the closeness of the dates with high percentage change draws attention. In this context, when the fluctuations of bitcoin price data in Figure 1 in February 2014 are analyzed, it is seen that there is a significant decrease in bitcoin price. When the reason for the price decrease is analyzed, it is known that Mt.Gox company, which dominated the entire bitcoin market at that time, was hacked and the statement made accordingly (Blockonomi news, 2019).



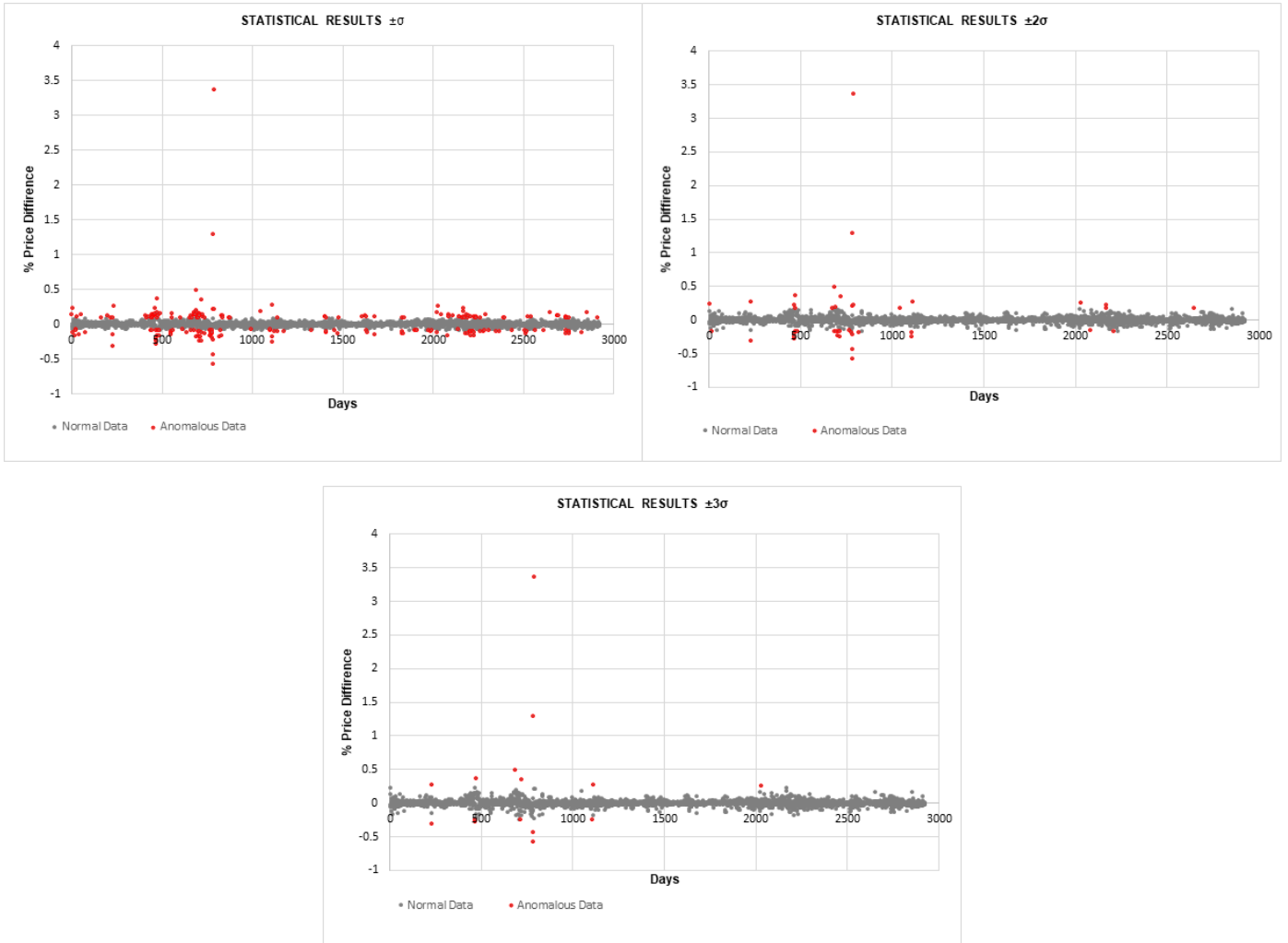


Fig. 3 Statistical results with daily bitcoin price in percentage difference dataset for  $\pm \sigma$ ,  $2\sigma$  and  $3\sigma$  (Red color represent anomalies)

In the experiment carried out using the DBSCAN algorithm with the daily bitcoin price in percentage difference dataset, it is determined that the most efficient result is obtained when the parameters are  $Eps=0.16$  and  $MinPts=20$ , and the test results are given in Figure 4. As can be seen in Figure 4, the DBSCAN algorithm has successfully detected abnormal points.

When DBSCAN results are compared with  $\mu \pm 2\sigma$  results where the statistical method is the most successful, it is seen that the statistical method overlooked some points such as the point on 23.10.2019. The reason for this can be said that the statistical method distinguishes points in a linear range and the DBSCAN algorithm in a density-based range.

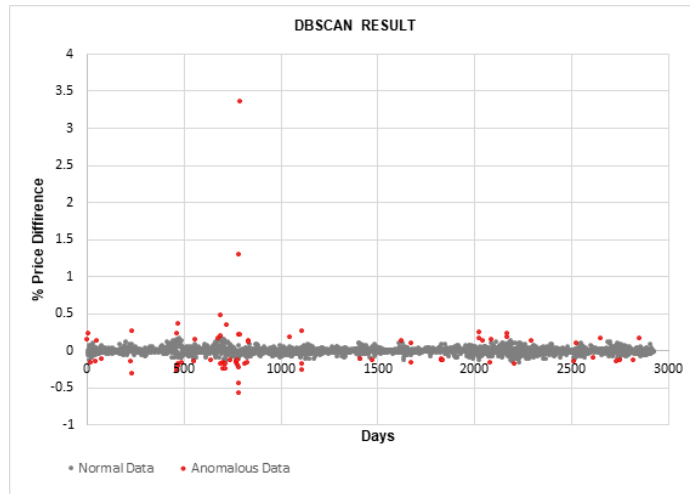


Fig. 4 DBSCAN result with daily bitcoin price in percentage difference dataset

### 3.2. Fiyat Farkı Deneyleri (Experiments on Bitcoin Price Difference)

The purpose of bitcoin price difference experiments is to determine the daily price changes that will be considered anomalies in bitcoin prices. The  $\mu$  is calculated as 2557.87 and the  $\sigma$  is calculated as 3611.95 for statistical method. For the detection of abnormalities,  $\mu \pm \sigma$ ,  $\mu \pm 2\sigma$  and  $\mu \pm 3\sigma$  parameters are selected and the detected anomalies are presented in Figure 5.

When the results in Figure 5 are analyzed, it is seen that as the standard deviation coefficient increases, there is a decrease in the number of abnormal points detected. However, the most successful result for statistical method appears to be within  $\mu \pm 2\sigma$ .

In the experiment carried out using the DBSCAN algorithm with the Bitcoin price difference data set, it is determined that the most efficient result is detected when the parameters are Eps 0.03 and MinPts 30, and the test results are given in Figure 6. When the results in Figure 6 are examined, it is possible to say that the DBSCAN algorithm has successfully detected anomalies.

When DBSCAN results are compared with  $\mu \pm 2\sigma$  results where the statistical method is the most successful, it is seen that the statistical method overlooked some abnormal points such as points on 09.01.2019, 23.02.2019 and 10.04.2019. The reason for this can be said that the statistical method distinguishes points in a linear range and the DBSCAN algorithm in a density-based range.

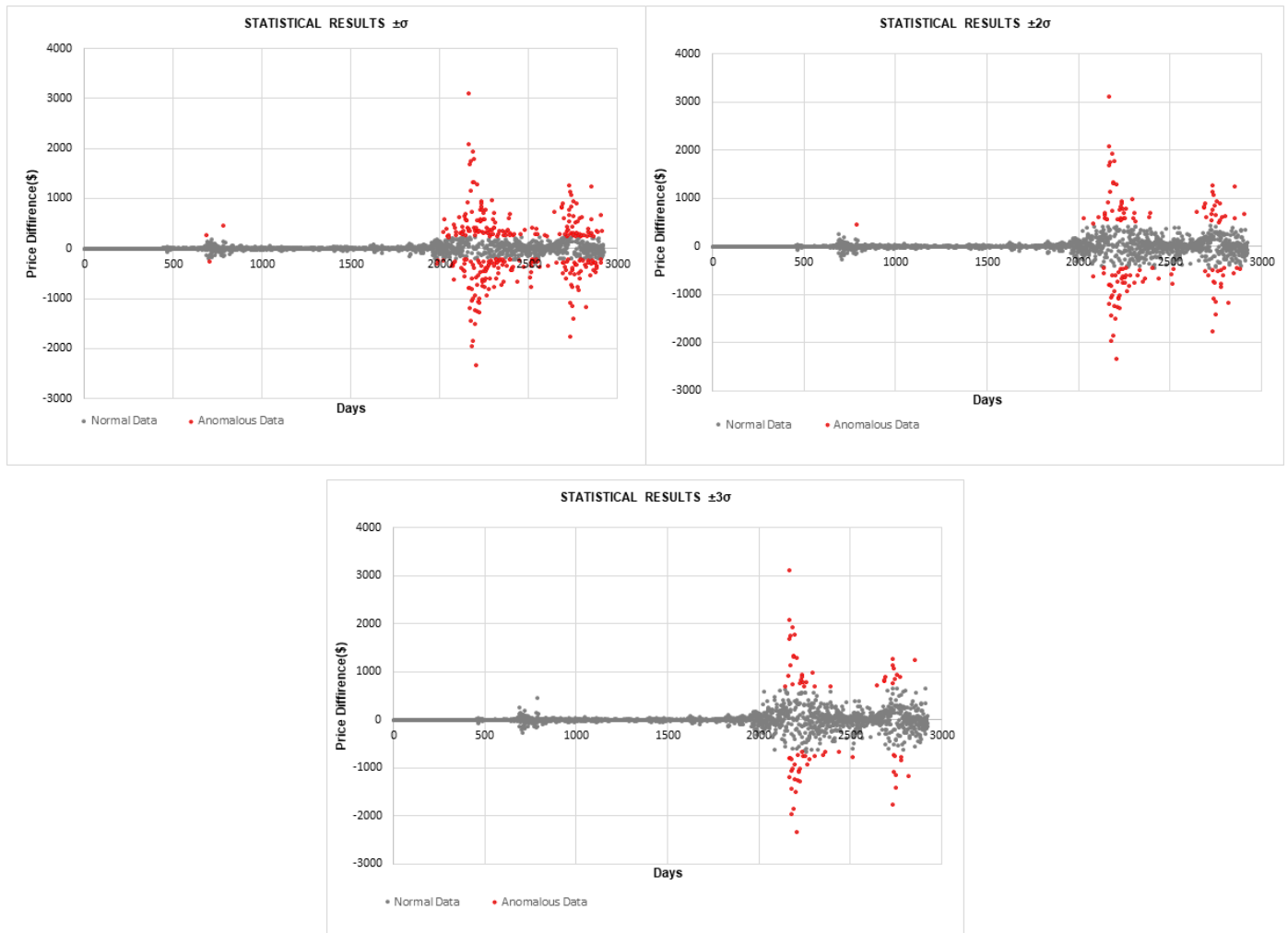


Fig. 5 Statistical results with bitcoin price difference dataset for  $\pm \sigma$ ,  $2\sigma$  and  $3\sigma$  (Red color represent anomalies)

When the price difference dataset characteristic is analyzed, it is seen that the highest daily positive price change is realized with \$ 3100.7 on 06.12.2017 and the highest daily negative price change is realized with \$ -2335.5 on 15.01.2018. The fact that the highest positive and negative variation is in the close range of dates shows the severity of the bitcoin price fluctuation in this period. It can also be said that the period with the highest fluctuation in prices is between 2018-2019.

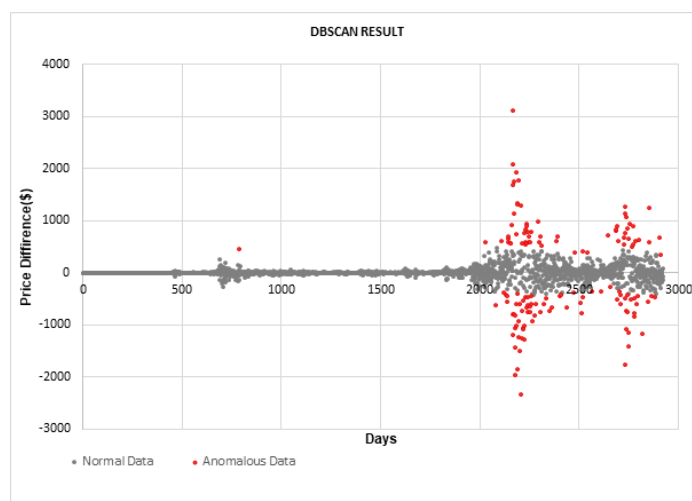


Fig. 6 DBSCAN result with bitcoin price difference dataset

## 4. Conclusions

Bitcoin is one of the popular digital coins which also have many suspects and manipulations in its prices. The changes in bitcoin prices could be sudden and detection of these anomalous changes could benefit many insights to investors and financial experts. In this study, anomaly detection in bitcoin prices is performed based on the changes of bitcoin prices with respect to previous day using 8-years of bitcoin price dataset of the period of 2012-2019. DBSCAN algorithm and statistical method are used for anomaly detection and the performance of the algorithm is evaluated. The results show that using one-day price difference is beneficial for extracting anomaly detection in bitcoin prices. DBSCAN algorithm had a good performance on detecting anomalous price fluctuations.

When the bitcoin price difference in percentage dataset and the bitcoin price difference dataset are compared, it is seen that abnormal points are concentrated in the bitcoin price difference in percentage in February 2014, and in the bitcoin price difference dataset between 2018 and 2019. Although both datasets are produced from bitcoin price dataset, abnormalities in 2018-2019 cannot be detected properly in the bitcoin price difference in percentage dataset. The reason for this is that the daily price change increases with the increase in bitcoin price value and this is not reflected in the percentage change.

## Reference

- Agrawal, S., & Agrawal, J. (2015). Survey on Anomaly Detection using Data Mining Techniques. *Procedia - Procedia Computer Science*, 60, 708–713. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.220>
- Baek, U.-J., Lee, M., Park, J., & Kim, M. (2019). DDoS Attack Detection on Bitcoin Ecosystem using. *Ecosystem Using Deep-Learning*. In *2019 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 1–4.
- Bartoletti, M., Pes, B., & Serusi, S. (2018). Data mining for detecting Bitcoin Ponzi schemes. *Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT)*, 75–84.
- Blockonomi news. (2019). Retrieved February 1, 2020, from <https://blockonomi.com/mt-gox-hack/>
- Böhme, R., Christin, N., Edelman, B., & Moore, T. (2015). *Bitcoin: Economics, Technology, and Governance*. 29(2), 213–238.
- Çelik, M., Dadaşer-Çelik, F., & Dokuz, A. Ş. (2011). Anomaly detection in temperature data using DBSCAN algorithm. *INISTA 2011 - 2011 International Symposium on INnovations in Intelligent SysTems and Applications*, 91–95. <https://doi.org/10.1109/INISTA.2011.5946052>
- Chen, M., Gao, X. D., & Li, H. F. (2010). Parallel DBSCAN with Priority R-tree. *ICIME 2010 - 2010 2nd IEEE International Conference on Information Management and Engineering*, 3, 508–511. <https://doi.org/10.1109/ICIME.2010.5477926>
- Dokuz, A. Ş., Ecemiş, A., & Celik, M. (2019). Hourly , Daily , and Monthly Analysis of Big Dataset of Bitcoin Blocks. *International Conference on Engineering Technologies (ICENTE'19)*.
- Ester, M., Kriegel, H.-P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Kdd*, 96(34), 226–231.
- Id, F. S., Sun, X., Gao, J., Xu, L., Shen, H., & Cheng, X. (2019). *Anomaly detection in Bitcoin market via price return analysis*. 6(14). Investing. (2020). Retrieved February 1, 2020, from [www.investing.com](http://www.investing.com)
- Khan, K., Rehman, S. U., Aziz, K., Fong, S., Sarasvady, S., & Vishwa, A. (2014). DBSCAN: Past, present and future. *5th International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies, ICADIWT 2014*, 232–238. <https://doi.org/10.1109/ICADIWT.2014.6814687>
- Lee, S., & Edu, T. S. (2016). Anomaly Detection in Bitcoin Network Using Unsupervised Learning Methods. *ArXiv Preprint ArXiv:1611.03941*.
- Melanie, S. (2017). Anticipating the Economic Benefits of Blockchain. *Technology Innovation Management Review*, 7(10), 6–13. <https://doi.org/10.22215/timreview/1107>
- Monamo, P., Marivate, V., & Twala, B. (2016). Unsupervised Learning for Robust Bitcoin Fraud Detection. *Information Security for South Africa (ISSA)*, 129–134.

- Nakamoto, S. (2008). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. <https://doi.org/10.1007/s10838-008-9062-0>
- Ozekes, A., Celik, M., Ozkok, F. O., Komuscu, A. U., & Dadaser-celik, F. (2018). AutoVDBSCAN : An Automatic and Level-Wise Varied-Density Based Anomaly Detection Algorithm. *7th International Conference on Advanced Technologies (ICAT'18)*.
- Sas, C., & Mara, U. T. (2017). Design for trust: An exploration of the challenges and opportunities of bitcoin users. *In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 6499–6510.
- Sayadi, S., Rejeb, S. Ben, & Choukair, Z. (2019). Anomaly Detection Model Over Blockchain Electronic Transactions. *15th International Wireless Communications & Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 895–900.
- Tan, P.-N. T., Steinbach, M., Anuj, K., & Kumar, V. (2005). *Introduction to Data Mining*.



# Kentiçi Kavşakların Mikrosimülasyon Yöntemiyle Modellenmesi: Erzurum İli Örneği\*

Fatih İrfan Baş<sup>1\*</sup>, Muhammed Ali Çolak<sup>2</sup>, Ahmet Oğuz Demiriz<sup>3</sup>, Halim Ferit Bayata<sup>4</sup>, Osman Ünsal Bayrak<sup>5</sup>, Ömer Faruk Keleş<sup>6</sup>, Yusuf Mazlum<sup>7</sup>, Mehmet Oğuzhan Gürel<sup>8</sup>, Muhammed Sami Demircioğlu<sup>9</sup>

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0845-060X)

<sup>2</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4990-6674)

<sup>3</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-6680-8569)

<sup>4</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0001-8274-8888)

<sup>5</sup>Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye (ORCID: 0000-0003-4039-1248)

<sup>6</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6149-572X)

<sup>7</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geoteknik Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2957-2822)

<sup>8</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Dursun Yıldırım MYO, Tapu Kadastro Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0001-9988-9169)

<sup>9</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzincan, Türkiye (ORCID: 0000-0002-0295-9309)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf58)

**ATIF/REFERENCE:** Baş, F. İ., Çolak, M. A., Demiriz, A. O., Bayata, H. F., Bayrak, O. Ü., Keleş, Ö. F., Mazlum, Y., Gürel, M. O. & Demircioğlu, M. S. (2020). Kentiçi Kavşakların Mikrosimülasyon Yöntemiyle Modellenmesi: Erzurum İli Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 444-451.

## Öz

Gelişen teknolojiye bağlı olarak dünya genelinde olduğu gibi Erzurum il merkezinde de araç sayısında artış meydana gelmiş ve Erzurum kent içi ana arter ve ana arterleri üzerinde bulunan kavşaklarda trafik hacminin artmasına sebep olmuştur. Erzurum'da son beş yılda motorlu taşıt sayısı 16.762 artarak 119.108'e ulaşmıştır. Artan trafik hacmi özellikle şehrin en merkezi kavşağı konumunda olan Tebrizkapı Kavşağı'nı etkilemiştir. Tebrizkapı Kavşağı kentin en işlek merkezi olan Cumhuriyet Caddesi, Karskapı Caddesi ve en önemli alışveriş merkezlerinden biri olan Taş Mağazalar Caddesi arasında kaldığından özellikle sabah mesai başlangıç saatleri ve akşam mesai bitim saatlerinde ciddi trafik yoğunluklarına maruz kalmaktadır. Sayım sonuçları doğrultusunda Tebrizkapı Kavşağı'nda sabah zirve saati 07:45 ile 08:45 ve akşam zirve saati 16:45 ile 17:45 arasında olduğu belirlenmiş ve simülasyon yapılırken yoğunluk olan zirve saatlerin trafik hacimleri alınmıştır.

Bu çalışmada, AIMSUN yazılımı kullanılarak Tebrizkapı Kavşağı'nın mevcut durum ve farklı kavşak tipleri ile tasarımları Mikrosimülasyon ile simüle edilmiştir. Üretilen modellerin doğruluğunu ölçmek için trafik hacimleri üzerinde doğrulama testi olarak kullanılan GEH (Geoffrey E. Havers) formülünden faydalanılmıştır. Mevcut durumdaki gecikme süresi 41,10 saniye ve bekleme süresi 26,85 saniye olarak bulunmuştur. Mevcut durumdaki kavşak tipi değiştirilerek Modern Dönel Kavşak ve Farklı Düzey Kavşak tasarlanarak simülasyonları yapılmıştır. Yeni yapılan tasarımların gecikme süreleri Modern Dönel kavşak için 9,21 saniye, Farklı Düzey Kavşak için 5,03 saniye, bekleme süreleri ise Modern Dönel Kavşak için 1,66 saniye ve Farklı Düzey Kavşak için 1,20 saniye olarak bulunmuştur. Simülasyonlar sonucunda gecikme süresi ve bekleme süresi faktörleri dikkate alınarak en uygun kavşak tipi Farklı Düzey Kavşak olarak bulunmasına rağmen yapım maliyetinin çok yüksek olmasından dolayı Modern Dönel Kavşak yapılması en uygun seçim olarak belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AIMSUN, Mikrosimülasyon, Gecikme Süresi, Bekleme Süresi

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.



# Modeling urban intersections with micro-simulation method: Erzurum province sample

## Abstract

Depending upon improving technology, increase at the number of vehicles has appeared in Erzurum province as in all around the world, and this has caused increase at traffic volume in main arteries and intersections on these inner-city main arteries. Because Tebrizkapı Junction is located between Cumhuriyet Street, Karskapı Street which is the busiest center of the city, and Taş Mağazalar Street, one of the most important shopping centers, it is exposed to serious traffic intensity especially in the morning working hours and evening working hours. In accordance with the numbers of countings, peak hour for the morning in Tebrizkapı intersection is between 7.45 and 8.45 a.m., and the peak hour for the evening is between 4.45 and 5.45 p.m. The traffic volumes of peak hours were used during the simulation.

In this study, using the AIMSUN software, the current state of the Tebrizkapı Junction, and the different junction types and designs are simulated by Micro-simulation. The GEH (Geoffrey E. Havers) formula, which is used as a verification test on traffic volumes, was used to measure the accuracy of the models produced. The delay time and the stop time for the existing situation were 41.10 and 26.85 seconds, respectively. By changing the type of the existing intersection, the Roundabout and Grade Separated Junctions were designed and simulated. The delay times for the new designs were found as 9.21 and 5.03 seconds for Roundabout and Grade Separated Junction respectively. The stop times for the new designs were found as 1.66 and 1.20 seconds for Roundabout and Grade Separated Junctions respectively. As a result of the simulations, the most appropriate intersection type was found as Grade Separated Junction considering the delay time and stop time factors. Due the high construction cost of the Grade Separated Junction, the Roundabout junction has been found as the most appropriate choice

**Keywords:** AIMSUN, Microsimulation, Delay time, Stop time

## 1. Giriş

Ulaşım, insanların veya eşyaların yer değiştirmeleri olarak tanımlanmaktadır. Ulaşımdan dolayı meydana gelen hareketler “trafik” deyimiyle adlandırılır. Ulaşım ve trafik bir bütün olarak düşünülmelidir. Ülkemizde artan nüfus, dünyada gelişen teknoloji ve buna bağlı olarak artan araç sahipliliği mevcut yolların yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Daha konforlu ve hızlı bir ulaşım sağlayabilmek için ulaşım sistemlerinin, yol güzergahlarının, kavşak tiplerinin ve sinyalizasyon gibi parametrelerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda mevcut trafik ve gelecekte oluşması beklenen trafik artışlarının tahmin edilerek ulaşım sistemi, yollar ve trafığe etki eden bütün parametreler bu doğrultuda modellenmelidir. Modellemeler yapılırken trafik simülasyonları yaygın olarak kullanılmaktadır. Simülasyonlar sayesinde alternatif çözüm önerileri etkili bir şekilde analiz edilerek güvenli ve düşük maliyetli olarak değerlendirilebilirler (Park and Schneeberger, 2003; Siddharth and Ramadurai, 2013). Son yıllarda trafik ve trafik yönetimi için mikro-simülasyon uygulamaları üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Gomes et al, 2004; Tianzi et al 2013; Alkheder, 2016; Bayata and Bayrak, 2018; Zlatkovic et al, 2019).

Bu çalışmada stratejik konumu, gelişmeye açık olan ve bölgenin lokomotifliğini üstlenen Erzurum ili Tebrizkapı Kavşağı çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Öncelikle haftalık, günlük ve saatlik trafik sayımları yapılarak zirve saat trafiği bulunmuş ve mevcut durum AIMSUN programı ile modellenmiştir. Daha sonra kavşak tipi değiştirilerek AIMSUN programı ile tekrar modellenmiş ve birbirleriyle karşılaştırmaları yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Verilerin sanal ortama aktarılma olayına simülasyon denilmektedir. Çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de trafik alanıdır. Trafik simülasyonu, simüle edilen bölgenin gerçek trafik hacminin elektronik ortamda oluşturulan bir benzetmesidir. Bu simülasyonlar sayesinde trafik gecikmeleri, yakıt tüketimleri, yoğunluk, emisyon ölçümleri, kuyruk uzunlukları ve seyahat süreleri gibi birçok parametre hesaplanabilmektedir. Trafik çözümlerinin maliyetli olmasından dolayı öncelikli olarak simüle edilmesi zaruri hale gelmiştir. Trafik simülasyonları 3 seviyede modellenmektedir. Bunlar; mikro simülasyon (tek kavşak), mezoskopik simülasyon (2-5 kavşak) ve makro simülasyondur (alanın tamamı). Günümüzde birçok trafik simülasyon programı kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; AIMSUN, VISSIM, AVENUE, SIDRA, SUMO vb.dir. Bu çalışmada AIMSUN programı kullanılmıştır.

AIMSUN (Advanced Interactive Microscopic Simulator for Urban and Non-Urban Networks) kentiçi veya kent dışı trafik ağları için geliştirilmiş mikroskobik simülasyonun bir kısaltmasıdır. Bu program başlangıçta yalnızca mikroskobik simülasyonlar yapabilmekte iken günümüzde daha da geliştirilerek mezoskopik ve makroskobik seviyelerde simülasyon modelleri de yapabilir hale getirilmiştir.

### 2.1. Çalışma Alanı

Doğu Anadolu Bölgesinin gelişmiş şehirlerinden birisi olan Erzurum, 25066 km<sup>2</sup> alana sahip ve şehir merkezi nüfusu 762062 olan bir ilimizdir (TÜİK, 2020). Tarihi İpek yolu üzerinde bulunmasından dolayı jeopolitik olarak önemli bir yere sahiptir. Şehre

ulaşım, tren, karayolu ve havayolu ile sağlanmaktadır. Bu çalışmada, yaklaşık 4672 araçlık YOGT değerine sahip Erzurum ili Tebrizkapı Kavşağı çalışılmıştır (Şekil 1). Tebrizkapı Kavşağı, Erzurum ili genelindeki en yoğun kavşaklardan birisidir.



Şekil 1. Tebrizkapı Kavşağı (GoogleEarth, 2020)

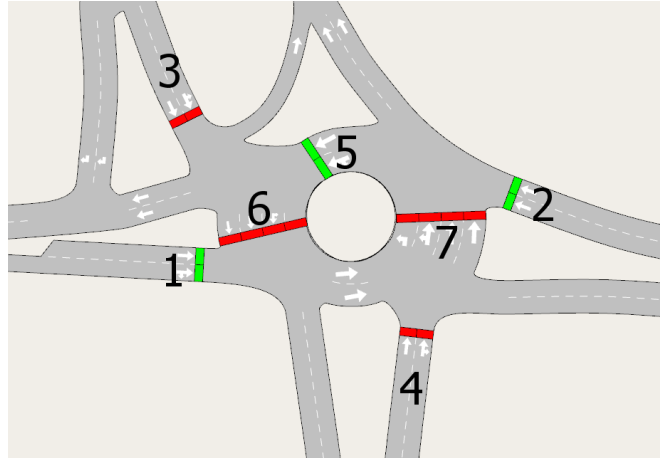
## 2.2. Mikrosimülasyon Model Oluşturulması

Tebrizkapı Kavşağı'nın AIMSUN programı ile hazırlanan mevcut duruma ait model görünümü Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Mevcut durum modeli

Ele alınan kavşak, Cumhuriyet Caddesi, Taşmağazalar, Eski Bat Pazarı, Palandöken, Karskapı ve Yenikapı Caddeleri arasında yer almaktadır. Kavşakta sinyalizasyon mevcuttur ve yedi ayrı noktaya trafik ışığı konumlandırılmıştır. Trafik ışıklarının konumları Şekil 3'te verilmiştir. Erzurum ilinin en işlek caddesi olan Cumhuriyet Caddesi bitiminde olduğu için bu kavşağa gelen trafik yoğunluğu zirve saatlerde artmaktadır. Bu problemi çözebilmek amacıyla AIMSUN programı ile kavşak tipleri değiştirilerek modeller kurulmuş ve mevcut durum ile karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Mevcut durum modeli

### 2.3. Mikrosimülasyon Model Oluşturulması

Trafik yoğunluğunun sabah 07:45-08:45 ve akşam 16:45-17:45 saatleri arasında olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilerek trafik sayımları bu zirve saatlerde yapılmıştır. Tablo-1’ de kavşak kollarında gerçekleşen trafik sayım sonuçları verilmiştir.

Tablo 1. Taşıt sayım sonuçları

Kesim Adı	Toplam Taşıt (ta/sa)
Cumhuriyet Caddesi (1-3 istikameti)	325
Karskapı Caddesi (3-1 istikameti)	233
Eski Bat Pazarı Caddesi (4-2 istikameti)	202
Palandöken Caddesi (2-4 istikameti)	540

Tebrizkapı Kavşağı’na ait geometrik özellikler (şerit genişliği, şerit sayısı ve kavşak yarıçapı vb.) ve diğer detaylar yapılan çalışmalar ile elde edilerek simülasyon modelleri hazırlanmıştır. AIMSUN programı, mikro simülasyon modelin oluşturulmasında kullanılmıştır. Mevcut trafik kullanılarak AIMSUN programı ile model oluşturulmuş ve daha sonra kavşak tipi değiştirilerek oluşturulan yeni modeller ile karşılaştırılması yapılmıştır (Siddharth and Ramadurai, 2013). Mikro-simülasyon programları ile üretilen modellerin kalibre edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon için GEH formülü (Alomari et al, 2016; Karakikes et al, 2016), bağıl hata (Yu et al, 2006; Song et al 2012) gibi farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu çalışmada üretilen modellerin kalibrasyonunu ölçmek için araç hacimleri üzerinde doğrulama testi olarak kullanılan GEH (Geoffrey E. Havers) formülünden faydalanılmıştır (Jeihani et al, 2013; Oketch and Carrick, 2005). Kalibrasyonda kavşağa giren araç hacimleri kullanılmıştır. Modifiye edilmiş Ki-kare testi olarak da bilinen GEH formülünün kullanımına ilişkin detaylı bilgiler Russo (2008) ve Shanktar et al. (2013) çalışmasında verilmiştir. AIMSUN ile kurulan modelde veri toplama noktalarından alınan seyahat süresi ölçüm sonuçları Havers’in çalışmasına göre kalibre edilmiştir. Tablo 2’ de verilen sonuçlara göre GEH kriterleri sağlanmaktadır ve kurulan AIMSUN modelinden elde edilen sonuçların kullanılabileceği görülmektedir.

Tablo 2. Kalibrasyon ve doğrulama değerleri

GEH	Gözlenen Değerler	Simülasyon Değerleri	GEH Değeri	Kriter GEH<5
1	325	306	1.51	Evet
	310	297	1.06	Evet
2	233	234	0.09	Evet
	208	205	0.30	Evet
3	540	510	1.85	Evet
	527	501	1.62	Evet
4	202	216	1.37	Evet
	188	171	1.79	Evet



## 2.4. Kavşakta Gözlenen Problemler

Çalışma konusu olan kavşak, Erzurum ilinde en fazla yoğunluğun yaşandığı kavşaklardan birisidir. Sabah ve akşam zirve saatlerindeki trafik yoğunluğundan dolayı kuyruk uzunlukları görülmekte ve bağlı olduğu ana caddelerin trafik tikanıklıklarına ve dolayısıyla da trafik kazalarına neden olduğu görülmektedir. Kavşak içerisinde ve bağlantı yollardaki sinyalizasyonlar nedeniyle sürücüler iki kere, yoğunluk olduğu zamanlarda ise 3 veya 4 kere trafik ışıklarında beklemek zorunda kaldıkları için sürücülerde dikkat dağılımı ve sürücülerin trafik kurallarına uymama eğiliminde oldukları gözlemlenmiştir. Ayrıca kavşaklardaki sinyalizasyon programında yaya fazının olmamasından dolayı yaya geçişlerinde yaşanan tereddütlerden dolayı kazaların meydana geldiği gözlemlenmiştir.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

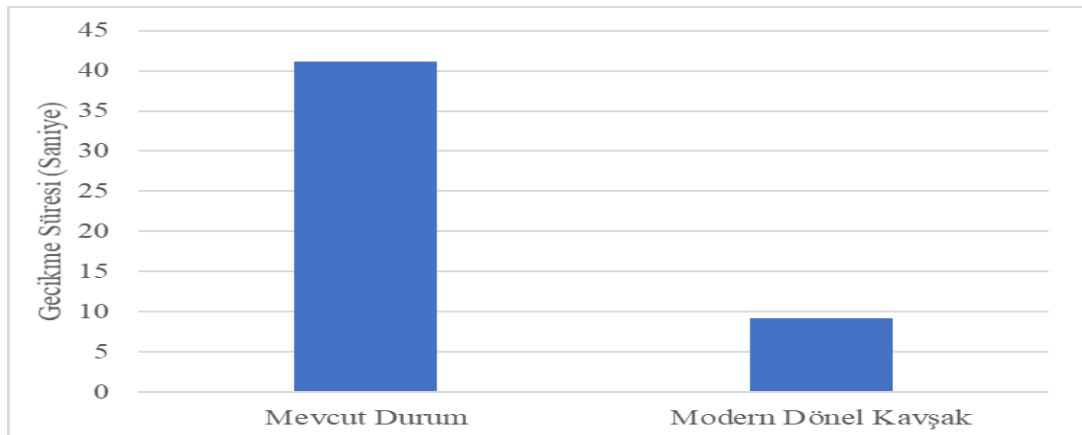
Tebriz kapı kavşağı için altgeçit ve modern dönel kavşak uygulamalarının olduğu iki çözüm önerisi belirlenmiştir.

### 3.1. Modern Dönel Kavşak (Roundabout) yapılması

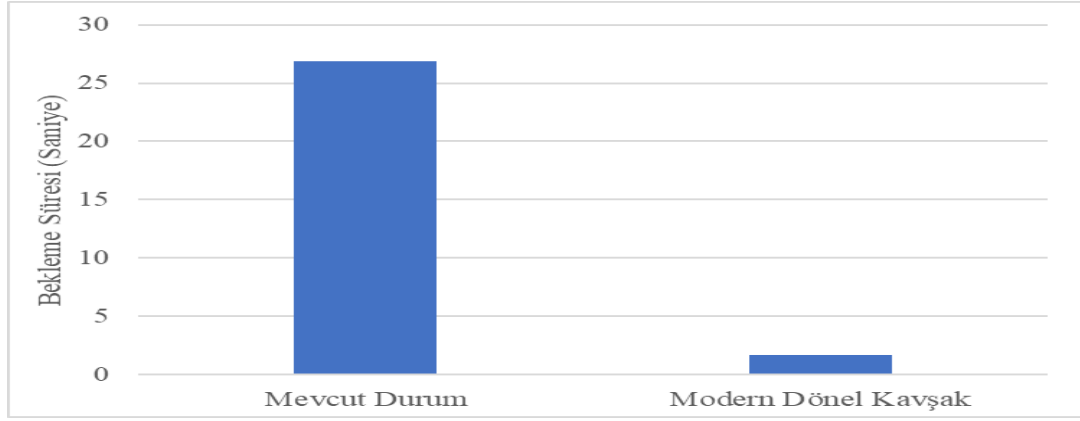
Modern dönel kavşaklar sinyalizasyonu ortadan kaldırdığı için gecikme ve bekleme sürelerinde çok ciddi azalmalar oluşturmaktadır. Bu sayede daha yüksek kapasite/şerit imkânı verebilirler (KGM, 2005) Ayrıca kavşak yaklaşımlarında yatay kurba ile kavşağa giriş, sürücülerin hızlarını azaltmalarına neden olarak muhtemel kaza sayılarını azaltmakta veyahut da kaza şiddetini azaltmaktadır (KGM, 2020; GDH, 2006). Bu çalışmada, Tebrizkapı kavşağında oluşan gecikmelerden dolayı alternatif olarak roundabout tarzı kavşak yapılması önerilmektedir. Daha önce yapılmış olan araştırmalarda modern dönel kavşakların kaza sayılarını azalttığı, gecikme sürelerini azalttığı ifade edilmektedir (Tanyel and Yayla, 2010). Önerilen alternatif mevcut geometrinin izin verdiği ölçüde modellenmiş olup ada yarı çapı 20 metre olarak oluşturulmuş ve mevcut giriş çıkış bağlantıları yeniden düzenlenmiştir. Oluşturulan model Şekil 4.'te verilmiştir. Gecikme süresi sonuçları, mevcut durumla karşılaştırılmalı olarak Şekil 5' te verilmiştir. Bekleme süreleri ise Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. Oluşturulan modern dönel kavşak



Şekil 5. Gecikme Süreleri

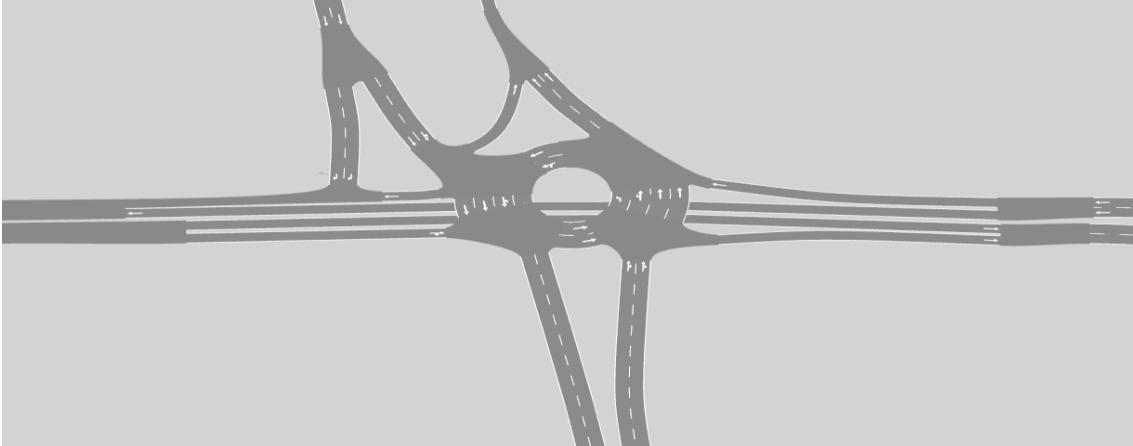


Şekil 6. Bekleme Süreleri

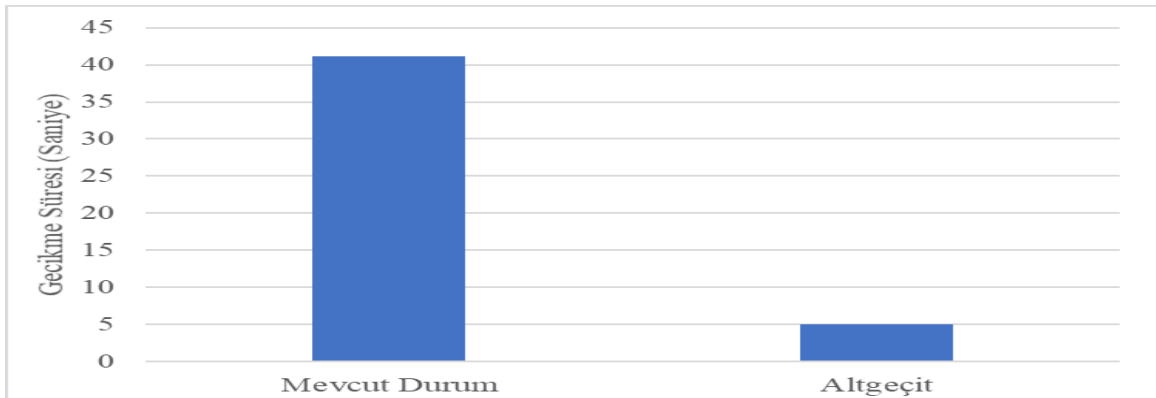
Modern Dönel kavşakta gecikme süresinin ortalaması genel olarak sinyalizasyona sahip bir kavşağa göre daha az çıkmaktadır (KGM, 2005; KGM, 2020). Yapılan analiz sonucunda da modern dönel kavşakta oluşan gecikme süresinin daha az çıktığı görülmektedir. Maliyet açısından kavşak yapımı için gerekli geometri, mevcut geometriye göre daha geniş olduğu için kamulaştırma çalışması gerektirmektedir.

### 3.2. Alt Geçit şeklinde farklı düzey kavşak yapılması

Mevcut durumdaki yönlere göre trafik dağılımı dikkate alındığında Doğu-Batı ve Batı-Doğu yönlerinden gelen trafik hacmi toplam trafik hacminin %67'sini oluşturduğu görülmektedir. Bu dağılım dikkate alınarak Doğu-Batı ve Batı-Doğu istikametinde altgeçit uygulaması önerilmiştir. Önerilen alt geçit uygulamasının modeli Şekil 7'de verilmiştir. Alt geçidin geometrisi oluşturulurken mevcut geometri göz önünde tutulmuş ve buna uygun olarak tasarlanmıştır. Şekil 8'de bu alternatife ait gecikme süreleri ve mevcut durum ile karşılaştırması verilmiştir.

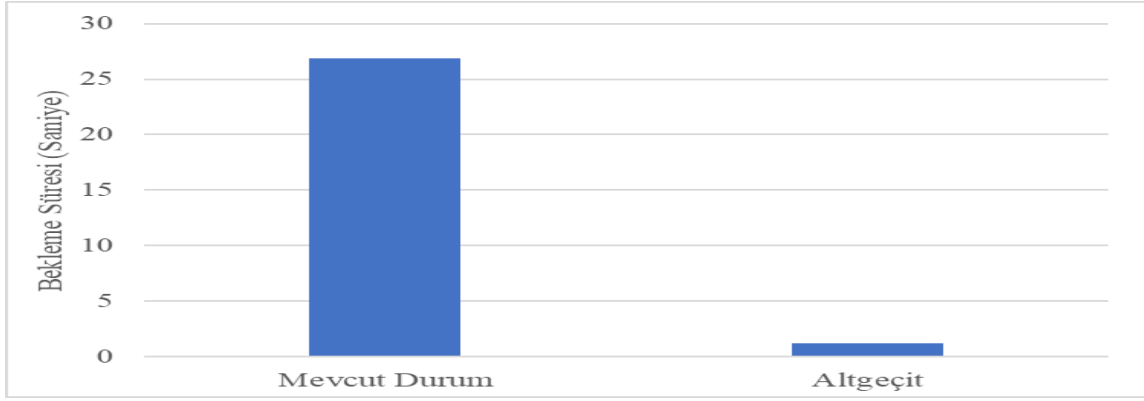


Şekil 7. Oluşturulan altgeçit



Şekil 8. Gecikme Süreleri





Şekil 9. Bekleme Süreleri

Altgeçit uygulaması Şekil 8'de görüldüğü gibi gecikme süresi değerlerini düşürmüştür. Şekil 9'da bekleme süreleri karşılaştırması gösterilmektedir. Bu kriterlere göre en uygun alternatif altgeçit uygulaması olmuştur. Ancak yapım açısından en maliyetli alternatiftir.

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Modern dönel kavşak (Roundabout) alternatifinde gecikmeler mevcut durumla karşılaştırıldığında %78 oranında azalmıştır. Bekleme süresi açısından mevcut durumla karşılaştırıldığında %94 oranında bir azalma olmuştur. Tercih edilebilir bir alternatiftir.
- Alt geçit alternatifinde gecikmeler mevcut durumla karşılaştırıldığında %88 oranında azalmıştır, bekleme süresi ise %96 oranında azalmıştır. Kriterlere göre en uygun alternatif olmakla birlikte yüksek yapım maliyeti açısından uygun değildir.
- AIMSUN programı bir kavşağın mevcut durumu ile alternatif seçenekleri modelleme ve değerlendirmede uygun bir programdır.
- Yapılabilirlik açısından en uygun seçenek modern dönel kavşaktır.
- Erzurum ilinde özellikle trafik hacimlerinin yüksek olmasından dolayı doğu-batı istikametindeki tüm kavşakların bir koridor boyunca incelenmesi gerekmektedir.

#### Kaynakça

- Alkheder, S. (2016) Learning from the past: traffic safety in the eyes of affected local community in Abu Dhabi City, United Arab Emirates. *Transportation Letters*. 1-19.
- Alomari, A.H., Al-Deek, H., Sandt, A., Rogers, J.H. and Hussain, O. (2016) Regional Evaluation of Bus Rapid Transit with and Without Transit Signal Priority. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2554, 46-59.
- Bayata, H. F. ve Bayrak, O. Ü. (2018). Yeni Yapılması Planlanan bir Kavşağın Mikro-Simülasyon ile Değerlendirilmesi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 11(3): 550-559.
- GDH (General Directorate of Highways) (2006) Trafik ve ulaşım bilgileri. GDH, Ankara, Turkey (in Turkish).
- Gomes, G., May, A., and Horowitz, R. (2004) Congested freeway microsimulation model using VISSIM. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 1876, 71-81.
- GoogleEarth (2020). Google Earth. <https://www.google.com/earth/>. (7.02.2020)
- Jehani, M., et al., Traffic recovery time estimation under different flow regimes in traffic simulation. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 2015. 2(5): p. 291-300.
- Karakikes, I., Spangler, M. and Margreiter, M. (2016) Motorway Network Simulation Using Bluetooth Data. *Transport and Telecommunication Journal*. 17(3), 242-251.
- KGM (2005). Karayolu Tasarım El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, 297 s, Ankara.
- KGM (2020); Modern Dönel Kavşak kullanımı. Karayolları Genel Müdürlüğü (11.03.2020) <https://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Trafik/TrafikModernDonelKavsak.aspx>
- Okech, T. and M. Carrick. Calibration and validation of a micro-simulation model in network analysis. in *Proceedings of the 84th TRB Annual Meeting*, Washington, DC. 2005.
- Park, B. and Schneeberger, J. (2003) Microscopic Simulation Model Calibration and validation: case study of VISSIM simulation model for a coordinated actuated Signal system. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 1856, 185-192.
- Russo, C.S., The Calibration and Verification of Simulation Models for Toll Plazas. 2008, University of Central Florida Orlando, Florida.
- Shankar, K., C. Prasad, and T. Reddy, Evaluation of Area Traffic Management Measures Using Microscopic Simulation Model. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013. 104: p. 815-824.

- Siddharth, S. and G. Ramadurai, Calibration of VISSIM for Indian Heterogeneous Traffic Conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2013. 104: p. 380-389.
- Siddharth, S. and Ramadurai, G. (2013) Calibration of VISSIM for Indian heterogeneous traffic conditions. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 104, 380-389.
- Song, G., Yu, L. and Zhang, Y. (2012) Applicability of traffic microsimulation models in vehicle emissions estimates: Case study of VISSIM. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. 2270, 132-141.
- Tanyel, S. and N. Yayla, Yuvarlakada kavşakların kapasiteleri üzerine bir tartışma. *İMO Teknik Dergi*, 2010. 21(1): p. 4935-4958.
- Tianzi, C., Shaochen, J., and Hongxu, Y. (2013) Comparative Study of VISSIM and SIDRA on Signalized Intersection. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. 96, 2004- 2010.
- TÜİK (2020); Yıllara göre il nüfusları. Türkiye İstatistik Kurumu (09.03.2020) [http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab\\_id=1590](http://www.tuik.gov.tr/PreIstatistikTablo.do?istab_id=1590)
- Yu, L., Yu, L., Chen, X., and Guo, J. (2006) Calibration of VISSIM for bus rapid transit systems in Beijing using GPS data. *Journal of Public Transportation*. 9(3), 13.
- Zlatkovic, M., Zlatkovic, S., Sullivan, T., Bjornstad, J. and Shahandashti, S.K.F. (2019). Assessment Of Effects Of Street Connectivity On Traffic Performance And Sustainability Within Communities And Neighborhoods Through Traffic Simulation. *Sustainable Cities and Society* 46: 101409.



## LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini\*\*

Özlem Alpay<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5432-4102)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf59)

**ATIF/REFERENCE:** Alpay, Ö. (2020). LSTM Mimarisi Kullanarak USD/TRY Fiyat Tahmini. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 452-456.

### Öz

Son zamanlarda, derin öğrenme yaklaşımlarının hızlı bir şekilde gelişmesi bu konuya olan ilgiyi arttırmış ve birçok alanda başarılı bir şekilde uygulanmaya başlanmıştır. Bu alanlardan birisi de finansal zaman verileridir. Finansal varlıkların fiyatını tahmin etmek, doğru tahminlerle yatırım karar verme riskini azaltabileceğinden önemlidir. LSTM (Uzun kısa süreli bellek), zaman serilerindeki önemli aralık ve uzun gecikme olaylarını işleyip tahmin etmek için uygun ve sıralı verilerde kullanılan yeni bir algoritmadır. Değerlendirmeler 1/1/2000 - 12/31/2017 tarihleri arasında USD/TRY paritesi veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda LSTM yaklaşımının başarılı, gerçek değerlere daha yakın bir tahmin yaptığı görülmüştür. Bunun nedeni LSTM mimarisinin dahili bir belleğe sahip olup girişini hatırlayabilmesidir. Bu makale de LSTM mimarisinin zamansal özelliklere dayanmasından dolayı zamansal verilerin (stok verileri, finansal veriler vb) tahmin sürecinde başarılı bir şekilde uygulanabilir olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Finansal Veriler, Sinir Ağı, LSTM

## USD / TRY Price Prediction Using LSTM Architecture

### Abstract

Recently, the rapid development of deep learning approaches has increased the interest in this subject and has started to be applied successfully in many areas. One of these areas is financial time data. Prediction a financial asset's price is important as one can lower the risk of investment decision- making with accurate prediction. LSTM (Term Memory Long-Short) is suitable for processing and predicting the important events of interval and long delay in time series and a new algorithm used in sequential data. The evaluations was conducted using between 1/1/2000 - 12/31/2017 using USD / TRY parity dataset. As a result of the studies, it was seen that the LSTM approach made successful and closer predict to the real values. This is because the LSTM architecture has an internal memory and can remember its input. In this article, it has been observed that temporal data (stock data, financial data etc.) can be applied successfully in the prediction process since LSTM architecture is based on temporal properties.

**Keywords:** Financial Data, Neural Network, LSTM

\* Özlem ALPAY: Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye, ORCID: 0000-0002-5432-4102  
[ozlemalpay@gazi.edu.tr](mailto:ozlemalpay@gazi.edu.tr)

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

## 1. Giriş

Zamana bağlı, zaman sıralı olarak gelen verilerinin analizi, zaman serisi verilerinin analizi olarak adlandırılmaktadır [1]. Son zamanlardaki gelişmeler ile, finansal alanda, borsa ve piyasa işlemlerinde makine öğrenme, yapay zeka uygulamaları kullanılmaya başlanmıştır [2].

Borsa tahmini, döviz kuru, banka iflasları, finansal riski anlama ve yönetme, alım satım vadeli işlemleri, kredi notu, kredi yönetimi, banka müşteri profili oluşturma ve kara para aklama analizleri veri analizi için temel finansal görevlerdir.

Faydalı örüntüler bulma sürecinde, korelasyonların finansal modellemede önemli bir yeri vardır. Doğrusal ve doğrusal olmayan modeller, çok katmanlı sinir ağları, k-means ve hiyerarşik kümeleme, k-en yakın komşu, karar ağacı analizi, regresyon (lojistik regresyon, genel çoklu regresyon), ARIMA, temel bileşen analizi ve Bayes öğrenmesi, ilişkisel yöntemler, olasılık yöntemleri, destek vektör makinesi, gizli Markov modelleri gibi birçok veri analizi yöntemi ve tekniği finansal modellemede kullanılmıştır [3].

Bu amaçla çeşitli algoritma ve yöntemler geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir. Son yıllarda derin öğrenme algoritmalarının tahmin ve sınıflandırma gibi çeşitli alanlarda kullanılarak iyi performans verdiği görülmektedir.

Hiransha vd, bir şirketin hisse senedi fiyatını mevcut tarihsel fiyatlara göre tahmin etmek için dört tür derin öğrenme mimarisini kullanmışlardır. Bunlar; MLP (Multi-Layer Perceptron), RNN (Recurrent Neural Network), LSTM(Long Short Term Memory), ve CNN (Convolutional Neural Network). Hindistan'ın Ulusal Menkul Kıymetler Borsası (NSE) ve New York Menkul Kıymetler Borsası (NYSE) olarak iki farklı borsada günlük kapanış fiyatı kullanılmıştır. Sistem, NSE'den tek bir şirketin hisse senedi fiyatı ile eğitilmiştir ve hem NSE hem de NYSE'den beş farklı şirket için test edilmiştir. CNN'nin diğer modellerden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür [4].

Fischer ve Krauss yaptıkları çalışmada S&P 500'in kurucu hisse senetleri için 1992'den 2015'e kadar örneklem dışı yön hareketlerini tahmin etmek için LSTM ağları kullanmışlardır. Genel pazara göre olan performans 1992'den 2009'a kadar çok açık, ancak 2010'dan itibaren, işlem maliyetlerinden sonra sifıra yaklaşan LSTM kârlılığı ile fazla getiri tahkim edildiği gözlenmiştir. Bu bulgulardan yararlanarak, işlem maliyetlerinden önce yüzde 0.23 veren kurallara dayalı kısa vadeli bir geri dönüş stratejisi resmileştirilmiştir [5].

Cheng vd., hisse senedi fiyat hareketini öngörmek ve alım satım stratejileri yapmak için bir LSTM modeli önermişlerdir. Çalışma iki konuya odaklanmıştır. LSTM modelini kullanarak gelecekteki hisse senedi fiyatı hareketini tahmin etmek için tarihsel hisse senedi verileri ve teknik göstergeleri kullanılmışlardır. Çalışmadaki sonuçlar geri kazanımlara göre hesaplanmıştır. Geçmiş fiyat verileri ve teknik göstergeler ile modelin eğitimi yapılmış daha sonra tahmin sonucunu bir ticaret stratejisine karar vermek için kullanılmıştır [6].

Çalışmanın amacı; finansal zaman serisi verilerinde, orta ve uzun vadede finansal tahmin yapabilen, yüksek oranda kar elde edilmesi sağlayabilen, stabil kararlar alabilen metot ve modeller geliştirmek olarak belirlenmiştir.

## 2. Materyal ve Metot

Derin öğrenme, büyük miktarda etiketsiz/denetlenmemiş veriden öğrenmeyi başarılı bir şekilde gerçekleştirebildiğinden, büyük verilerden anlamlı gösterimler ve örüntüler bulmada sıklıkla kullanılmaktadır. En basit tanımıyla derin öğrenme, makine öğrenmesi yöntemlerinin büyük verilere uygulanması olarak ifade edilmektedir. Bu çalışmada finansal tahmin ve sınıflama problemlerinde derin öğrenme hiyerarşik modellerinin nasıl kullanılacağı araştırılmıştır. Finansal tahmin sorunları - menkul kıymetleri tasarlama ve fiyatlandırma, portföy oluşturma, risk yönetimi gibi konular - genellikle karmaşık veri etkileşimlerine sahip büyük veri setlerini içerdiğinden tam ekonomik model oluşturmak şu an için zor veya imkansızdır. Bu problemlere derin öğrenme yöntemleri uygulandığında, finanstaki standart metotlardan daha faydalı sonuçlar alınabilir. Özellikle, derin öğrenme, en azından şu an için, mevcut herhangi bir finansal ekonomik teori için görünmez olan veri etkileşimlerini algılayabilir ve bunları etkin bir şekilde kullanabilir.

Derin öğrenme yöntemlerinde tahmin ve sınıflandırma gibi süreçlerde çeşitli mimarilerden yararlanılmaktadır. LSTM, bu mimarilerden biridir.

LSTM, RNN tekrarlayan sinir ağlarının belleğini genişleten bir model veya mimaridir. Tipik olarak, tekrarlayan sinir ağları, mevcut sinir ağında kullanılmak üzere kalıcı önceki bilgileri kullanmaları nedeniyle "kısa süreli hafızaya" sahiptir. Esasen, mevcut görevde önceki bilgiler kullanılır.

LSTM'nin kullanılacağı çok çeşitli uygulama alanları vardır: el yazısı tanıma, zaman serisi anomali tespiti, konuşma tanıma, öğrenme grameri, müzik bestelemek vb.

Bu çalışma kapsamında derin öğrenme mimarisi (LSTM)da zaman serisi alanında kullanılmıştır.

Bu çalışmada USD/TRY paritesi veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışma da, USD/TRY paritesi "https://tr.investing.com/currencies/usd-try" adresinden ulaşılmıştır. İlk olarak, veriseti için ön işleme yapılmıştır. Veri seti, eğitim ve test verisi olarak ikiye ayrılmıştır. Eğitim verisi olarak, 1/1/2000 ile 12/31/2016 tarihleri arası 1/1/2017 ile 12/31/2017 tarihleri arasındaki parite, test verisi olarak kullanılmıştır. Veri setinde, tarih, açılış kapanış vb. Değerler ile ve günlük hacim bilgisi kullanılmıştır. Veri setinin bir kısmı Tablo 1'de görülmektedir. Veri setindeki özellikler ve değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Veriseti alanları ve örnek değerleri

	A	B	C	D	E	F
1	Date	Open	High	Low	Close	Volume
2	30/12/2016	3.5277	3.5224	3.5325	3.5095	0.13
3	29/12/2016	3523	3.5395	3.5441	3.5145	-0.48
4	28/12/2016	3.54	3522	3.5505	3517	0.53
5	27/12/2016	3.5214	3.5123	3.5273	3501	0.27
6	26/12/2016	3.5118	3518	3.5209	3.5046	-0.15
7	23/12/2016	3.5169	3.5121	3.5189	3.4975	0.16
8	22/12/2016	3.5114	3.5091	3.5191	3.4981	0.07
9	21/12/2016	3.5089	3527	3.5341	3504	-0.53
10	20/12/2016	3.5275	3.5338	3.5425	3.5005	-0.16

Tablo 2. Verisetindeki özellikler ve değerleri

Özellik	Değerler
Date (Tarih)	Date/Month/Year
Open (Açılış)	Açılış fiyatı
High (Yüksek)	Günün en yüksek değeri
Low (Düşük)	Günün en düşük değeri
Close	Kapanış fiyatı
Volume (Hacim)	Günlük fark

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

Önerilen çalışmada, LSTM kullanılarak finansal zaman serisi verilerinin tahmini yapılmaktadır. Literatürde, zaman serisi verilerinin analizinde LSTM kullanımı mevcuttur.

Bu çalışmada elde edilen deneysel sonuçlar için TensorFlow Kütüphanesi kullanılmıştır. TensorFlow, veri akışı grafiklerini kullanarak sayısal hesaplama için açık kaynaklı bir yazılım kütüphanesidir.

LSTM yapısı 4 gizli katmandan ve her gizli katmanda 50 nöron ve çıkış katmanında tek bir çıkış, dropout 0.2 olacak şekilde düzenlenmiştir. Oluşturulan LSTM mimarisi Şekil 1'de gösterilmiştir.

```

Layer (type)                Output Shape                Param
=====
lstm_1 (LSTM)                (None, 260, 50)           10400
dropout_1 (Dropout)         (None, 260, 50)           0
lstm_2 (LSTM)                (None, 260, 50)           20200
dropout_2 (Dropout)         (None, 260, 50)           0
lstm_3 (LSTM)                (None, 260, 50)           20200
dropout_3 (Dropout)         (None, 260, 50)           0
lstm_4 (LSTM)                (None, 50)                 20200
dropout_4 (Dropout)         (None, 50)                 0
dense_1 (Dense)              (None, 1)                  51
=====
Total params: 71,051
Trainable params: 71,051
Non-trainable params: 0

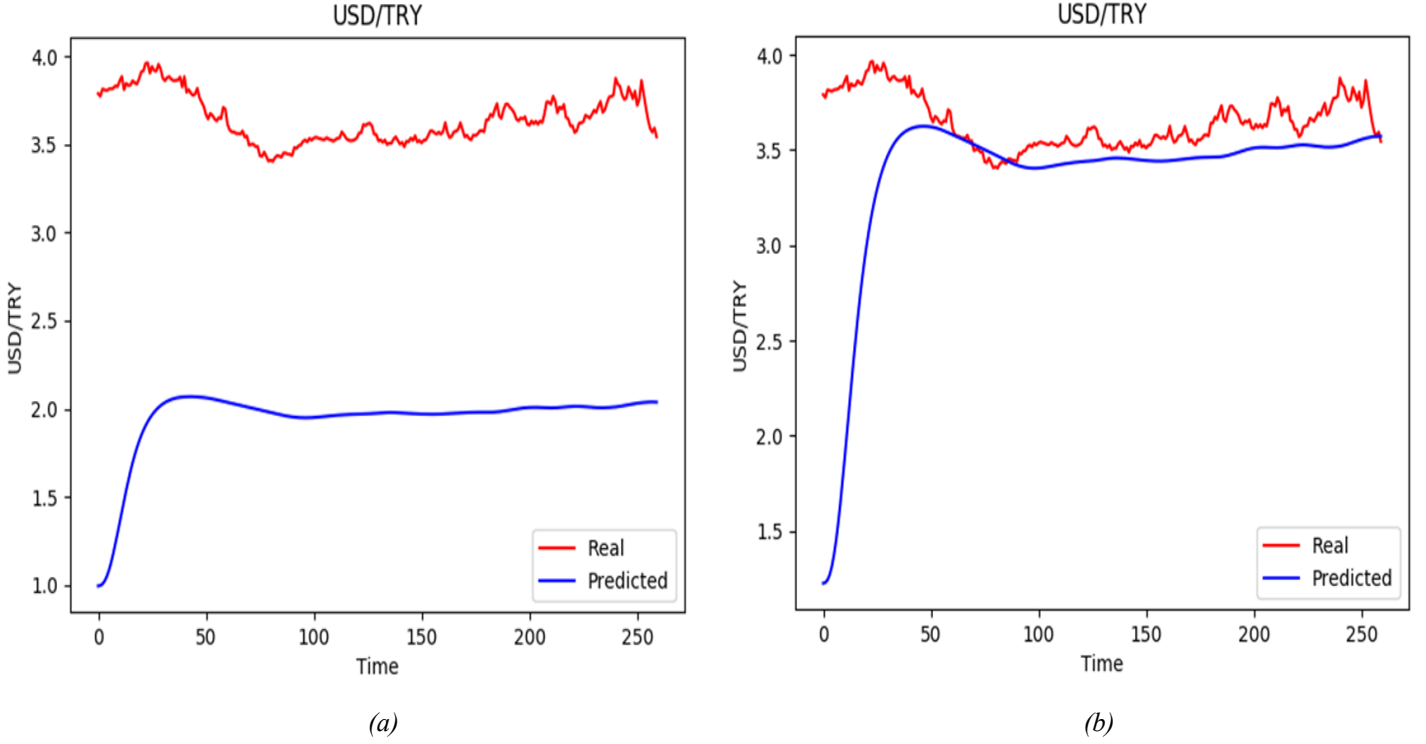
```

Şekil 1. Oluşturulan LSTM yapısı

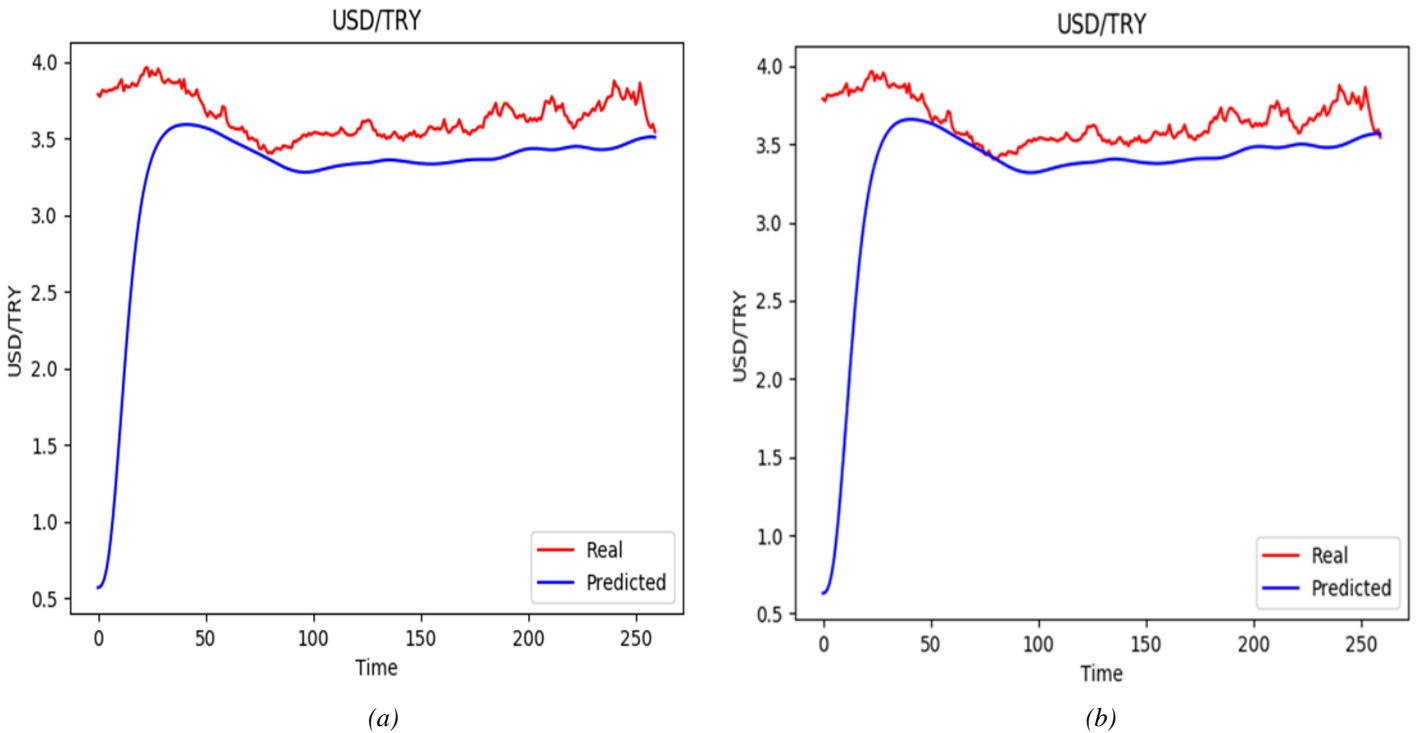


Uygulama 1 ,10 ve 100 epoch değerlerinde 256 ve 512 batch size değerleri kullanılarak eğitilmiştir. Bu parametre değerlerine göre modelin test verisi ve gerçek veri üzerindeki sonuçları Şekil 2, 3 ve 4’de gösterilmiştir.

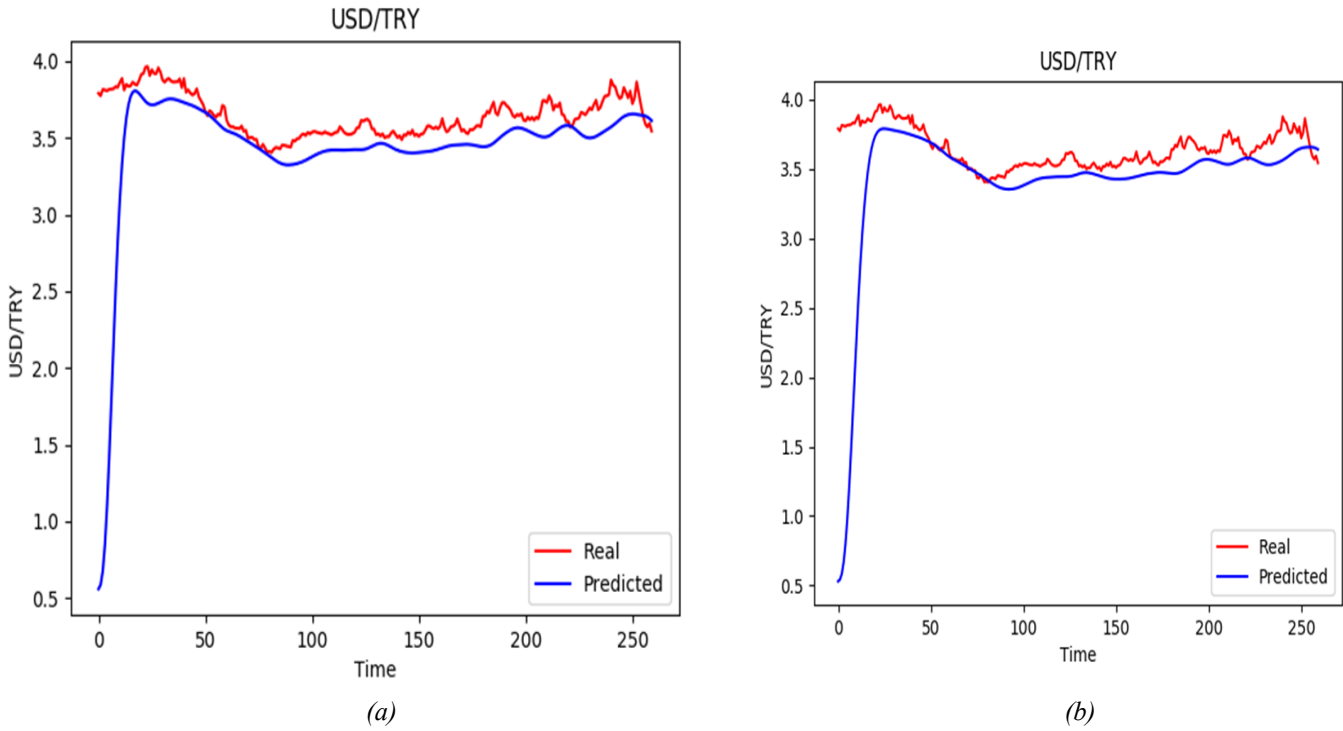
Bu çalışmada, USD/TRY fiyat oranlar 3 farklı epoch ve 2 farklı batrch boyutunda tekrarlanmıştır. Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de yapılan tahmin eğrisi ile gerçek fiyat eğrisi karşılaştırılmıştır. Derin öğrenmede mimarilerinde, modellerin başarısını ölçmek için belirli parametreler kullanılmaktadır. Bunlar veri seti boyutu, batch boyutu, epoch sayısı gibi parametrelerdir. Veri setinin parçalar halinde işlenmesi mini-batch olarak tanımlanmaktadır. Batch parametresine verilecek olan değer, modelin aynı anda kaç veriyi işleyebileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Epoch değeri 1 a) batch size 256 b) batch size 512



Şekil 3. Epoch değeri 10 a) batch size 256 b) batch size 512



Şekil 4. Epoch değeri 100 a) batch size 256 b) batch size 512

## 4. Sonuç

Bu çalışma ile derin öğrenme yaklaşımlarından LSTM mimarisi kullanılarak finans sektöründe, risk ve zarar durumlarının tahminine yönelik bir model geliştirilmiştir. Bu modelde, probleme göre özelleştirilmiş LSTM kullanılarak geçmiş zaman dilimlerindeki değerler kullanılarak belirli bir döneme ait parite değeri tahmin edilmiştir.

Deneysel sonuçlara göre, epoch değerinin artması ile modelin başarısı da artmaktadır. Modelin Başarı oranı belli bir epoch değerinden sonra çok küçük birimlerde artacağı için bu noktalarda eğitim sonlandırılabilir. Batch değeri küçük seçildiği zaman model kendini ezberleyebilmektedir. Uygun batch size değeri seçildiğinde model gürültüyü daha az öğrenip, kendini ezberlemeyecektir.

Bu süreçte asıl amaç geçmiş verilerin eğiliminden ders alarak ve bu model üzerinde tahmin ederek ertesi günkü finansal değeri modelleyen en iyi konfigürasyon modelini bulmaya çalışmaktadır. Sonuç olarak, belirli epoch ve batch size değerlerinde oluşturulan modelin başarılı bir şekilde fiyat tahmini yaptığı gözlenmiştir.

Çalışma sonucunda şu gibi sonuçlar ortaya çıkmıştır. USD/TRY paritesi ekonomik ve siyasi aksiyonlardan kolay etkilenebilir bir yapıda olduğu için grafik eğitim veri setine göre test işlemi yaptığı için grafik üzerinde dalgalanmalar yaşanmıştır. 2000'li yıllarda USD/TRY paritesi ortalama 0,6 oranından 2016 yılında ise ortalama 3,5 oranına yükselmiştir. Tahmin ettiğimiz 2017 yılında ise ortalama 3,8 oranındadır.

Gelecek çalışmalar için endeks olarak birbirine benzeyen paralel değişim (genellikle aynı zaman ve olay çerçevesinde artış veya azalış) gösteren pariteler arasında çalışma yapmaları veya geçmiş verilerin yanında çalışmanın yapıldığı zaman diliminde gerçekleşen siyasi, ekonomik, küresel vb. etkileri de dikkate alan yaklaşımları kullanan çalışma yapmaları önerilir.

## Kaynakça

- [1] William W. S. Wei, (2006). Time Series Analysis: Univariate and Multivariate Methods, *Pearson Addison Wesley*
- [2] Cavalcante, R.C., Brasileiro, R. C., Souza, V.L, Nobrega, J.P., Oliveira, A.L.,(2016).Computational intelligence and financial markets: a survey and future directions, *Expert Systems With Applications*,55,194-211.
- [3] Maimonand, O., Rokach, L.,(2005). *Data Mining An dKnowledge Discovery Handbook*. New York, NY, USA: Springer,doi: 10.1007/b107408.
- [4] Hiransha, M., Gopalakrishnan, E.A., Vijay Krishna Menonab, K.P. Soman, (2018). NSE stock market prediction using deep-learning models, *Procedia Computer Science*, 132,1351–1362
- [5] Fischer, T., Krauss, C., (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions, *European Journal of Operational Research*, 270, 654–669.
- [6] Cheng, L.C., Huang, Y.H., Wu, M.E., (2018). *Applied attention-based LSTM neural networks in stock prediction*, IEEE International Conference on Big Data (Big Data), Seattle, WA, USA



# Shaping of Titanium Dioxide by Slip Casting Technique\*

C. Betül Emrulloğlu Abi<sup>1\*</sup>, M. Oğuz Topçu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Materials Science and Engineering Department, Afyonkarahisar, Turkey (ORCID: 0000-0003-0326-6122)

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering, Materials Science and Engineering Department, Afyonkarahisar, Turkey

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf60)

**REFERENCE:** Emrulloğlu Abi, C.B., & Topçu, M.O. (2020). Shaping of Titanium Dioxide by Slip Casting Technique. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 457-462.

## Abstract

In this study, shaping of titanium dioxide powders using slip casting method was aimed. Experimental work essentially includes three stages. Initially, settling experiments were carried out using 2 vol. % TiO<sub>2</sub> suspensions. In the second stage TiO<sub>2</sub> slip was prepared at dispersion condition (pH = 7.0) and then shaped using plaster mould. The sintering process of shaped samples were carried out at 1300, 1400 and 1500°C. Finally, shrinkage, Archimedes and flexural strength tests, microstructure (SEM) and phase analysis (XRD) were performed. Settling experiments tests for the powder of TiO<sub>2</sub> suspensions showed that the zpc (zero point of charge) is at approximately pH = 1-2. XRD patterns showed only rutile phase peaks for the samples sintered at three different temperatures. There is a small difference between the peak intensities of the sintered samples. Liquid phase formation containing titanium dioxide may have caused a decrease in peak intensities. Consequently, increasing the sintering temperature resulted in a decrease in total porosity, and an increase in firing shrinkage, closed porosity, apparent density, bulk density and bending strength values. Water absorption decreased from 5.24% to 1.96%. Apparent porosity decreased from 18.03% to 7.12%. Firing shrinkage increased from 8.70% to 11.30%. Bulk density increased from 3.24 to 3.64 gr/cm<sup>3</sup>. Three point bending strength increased from 399.36 kg/cm<sup>2</sup> to 566.33 kg/cm<sup>2</sup> with the increasing sintering temperature.

**Keywords:** Titanium Dioxide, Slip Casting, Dispersion, Mechanical Properties.

## Titanyum Dioksitin Slip Döküm Tekniği ile Şekillendirilmesi

### Öz

Bu çalışmada, titanyum dioksit tozunun slip döküm tekniği ile şekillendirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalar esas olarak üç aşamadan oluşmaktadır. İlk olarak, hacimce % 2'lik TiO<sub>2</sub> süspansiyonları kullanılarak sedimentasyon deneyleri yapılmıştır. İkinci aşamada, dispersiyon şartlarında TiO<sub>2</sub> slip çamurları hazırlanmıştır ve daha sonra alçı kalıplarda şekillendirilmiştir. Şekillendirilen numunelerin sinterleme işlemi 1300, 1400 ve 1500°C'de 2 saat süre ile yapılmıştır. Son olarak, küçülme, Arşimed ve eğme dayanımı testleri, Mikroyapı (SEM) ve faz (XRD) analizleri uygulanmıştır. TiO<sub>2</sub> tozuna ait süspansiyonların sedimentasyon testleri zpc noktasının (zero point of charge) yaklaşık olarak pH = 1-2'de olduğunu göstermiştir. Üç farklı sıcaklıkta sinterlenen numunelerin XRD paternleri sadece rutil fazına ait pikleri göstermiştir. Sinterlenmiş numunelerin pik şiddetlerinde çok küçük bir fark vardır. Titanyum dioksit içeren sıvı faz oluşumu pik şiddetlerinde bir düşüşe sebep olmuş olabilir. Sonuç olarak, sinterleme sıcaklığının artması toplam gözenek değerlerinde bir düşüşe ve pişme küçülmesi, kapalı porozite, görünür yoğunluk, bulk yoğunluk ve eğme

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*Corresponding Author: Afyon Kocatepe University, Faculty of Engineering., Materials Science and Engineering Department, Afyonkarahisar, Turkey, ORCID: 0000-0003-0326-6122, [cbetul@aku.edu.tr](mailto:cbetul@aku.edu.tr)

dayanımında bir artışa sebep olmuştur. Su emme değeri %5.24'den %1.96'ya düşmüştür. Görünür gözeneklilik %18.03'ten %7.12'ye düşmüştür. Pişme küçülmesi oranı %8.70'den %11.30'a yükselmiştir. Bulk yoğunluk 3.24'ten 3.64 gr/cm<sup>3</sup>'e yükselmiştir. Üç nokta eğme dayanımı, artan sinterleme sıcaklığı ile 399.36 kg/cm<sup>2</sup>'den 566.33 kg/cm<sup>2</sup>'ye yükselmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Titanyum Dioksit, Slip Döküm, Dispersiyon, Mekanik Özellikler.

## 1. Introduction

Nowadays the important properties and the critical application of the advanced technology of ceramics has become one of the significant material technologies of this century (Ceramic Industry, 1999).

Titanium dioxide has a great importance due to its photocatalytic activity (Fujishima and Zhan 2006). Titanium dioxide found in nature as rutile, anatase and brookite phases (Wu et al., 2006). Rutile form decomposes at 1640°C.

Production of TiO<sub>2</sub> ceramic parts includes; dry mixing, pressing, extrusion or slip casting followed by firing the parts to vitrification with approximately 2 hr. at 2400-2450°F (Ceramic Industry, 1999; Information Center Battelle, 1981).

Dutta et al. investigated the adsorption of arsenate (As(V)) and arsenite (As(III)) to two commercially available titania slips. The zeta potential value of titania was measured to evaluate the differences in slip behaviors. The points of zero charges (zpc) for two dispersants were at pH 6.2 and 6.9, respectively (Dutta et al., 2004).

Jingxian et al. studied the dispersion properties of titanium dioxide slips via rheological measurements and sedimentation tests (Jingxian et al., 2004).

Cesarano and Aksay studied the flocculation and dispersion mechanisms of aluminum oxide suspensions with (PMMA-Na) at different pH values. Settling experiments were carried out using 2 vol. % alumina suspensions. For the sample of  $\alpha$ -alumina the zpc was at about pH = 8.7 (Cesarano and Aksay, 1988-1; 1988-2).

In our study we investigated the stability of aqueous TiO<sub>2</sub> suspensions using sedimentation tests and determined the zpc of TiO<sub>2</sub> suspensions as pH=1-2.

## 2. Material and Method

### 2.1. Materials

The raw material used in this study was anatase TiO<sub>2</sub> (Kronos Titania, 99.8 % pure, d<sub>50</sub>=1.5  $\mu$ m). Deionized water was used for suspension preparation. The pH was calibrated by standardized HCl and NaOH solutions.

### 2.2. Settling Tests

Settling tests were carried out using 2 vol. % TiO<sub>2</sub> suspensions. 10 suspensions were prepared at different pH changing from 1 to 10, then stirred for 4 hours 70 ml of each suspension was then poured into glass tubes and after a few days, the final sedimentation heights were noted.

### 2.3. Shaping

TiO<sub>2</sub> slip was prepared at dispersion condition (pH = 7.0) and then shaped using plaster mould.

### 2.4. Sintering

The shaped samples were sintered at 1300°C, 1400°C and 1500°C for 2 h. in a laboratory furnace (MoSi<sub>2</sub> resistance) with a heating rate of 5 °C/min.

### 2.5. Characterization of the Samples

Shrinkage, Archimedes, density, porosity and flexural strength tests were applied to the powder and sintered samples. The samples were characterized by XRD using Cu-K $\alpha$  radiation (Shimadzu). Leo 1430VP electron microscopy was used for performing SEM image analysis of the sintered samples.

## 3. Conclusions and Recommendations

### 3.1. Settling Test Results

Settling experiments results of titanium dioxide powder are given in Figure 1. As shown in Fig.1 flocculation and large sedimentation volumes are at pH =1, 2 and 3. The point of zero charge (zpc) for Kronos titania was obtained as pH = 1-2. Dispersion and small sedimentation volumes are at pH  $\geq$  4. All slip suspensions used in this study were prepared at pH =7.

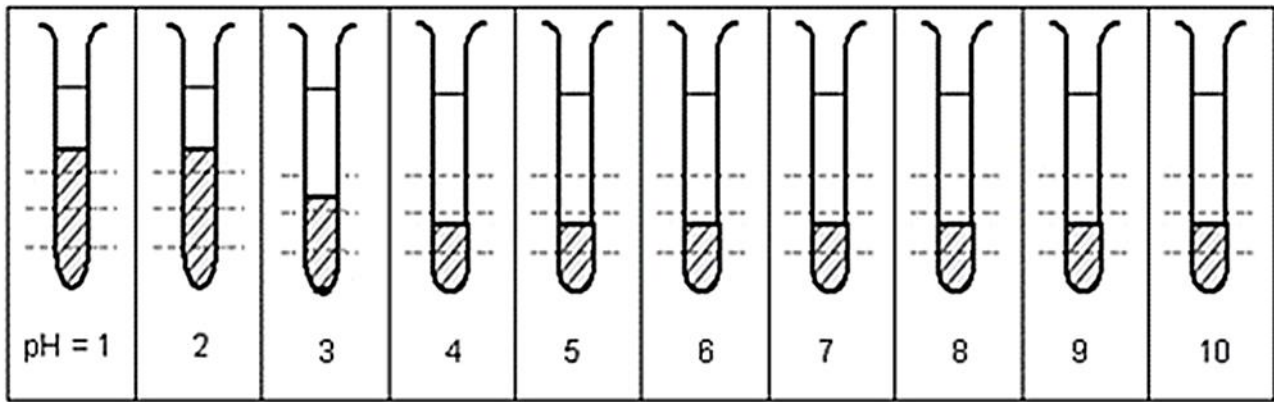


Fig. 1. Schematic representation of settling experiments

The charge at the surface of particles is controlled by pH of the liquid and by addition of chemicals that give monovalent cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Li}^+$ ).

Flocculation and large sedimentation volumes are at pH = 1, 2 and 3. As van der Waals attraction force between particles is higher than the repulsion force at these pH, particle-particle attraction results in the formation of agglomerates and in a decrease in viscosity.

The zpc results of Kronos Titania in our study is at pH= 1, 2 and 3. These results contrast with appreciations of Dutta et al. (2004), who reported that the zpc of Degussa P25 is at  $\text{pH } 6.8 \pm 0.2$  (Dutta et al., 2004).

At  $\text{pH} \geq 4$  repulsion force between particles is higher than van der Waals attraction force. Similar charges repel each other, and the particles are held apart in the suspension by electrostatic forces. As the charge of surface increases, the degree of dispersion increases and agglomeration decreases.

### 3.2. Physical and Mechanical Test Results

Archimedes and flexural strength results are given in Table 1. Table 1 shows that the higher the temperature the higher the shrinkage, closed porosity, apparent density, bulk density and flexural strength values but the smaller the water absorption and porosity percentage. It was reached 14.75% minimum total porosity at 1500°C sintering temperature.

Table 1. Archimedes and Flexural Strength Test Results

Sintering temperature (°C)	1300	1400	1500
Firing shrinkage (%)	8.70	10.10	11.30
Water absorption (%)	5.74	3.05	1.96
Apparent porosity (%)	18.03	10.73	7.12
Closed porosity (%)	6.09	6.83	7.63
Total porosity (%)	24.12	17.56	14.75
Apparent density ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	3.50	3.81	3.97
Bulk density ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )	3.24	3.52	3.64
Flexural strength ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )	399.36	566.33	>600

Along with the increase in sintering temperature, an increase in firing shrinkage, closed porosity, apparent density, bulk density and flexural strength values is expected. As a result of diffusion mechanisms proceeding with sintering at high temperatures, the grains get closer to each other and the spaces between them are closed, while some of the open pores are lost, some of them become closed pores. For these reasons, an increase in density is achieved and an increase occurs in the flexural strength of samples with higher density.



### 3.3. XRD Analysis

X-ray diffraction patterns of unsintered  $\text{TiO}_2$  powder and sintered samples were presented in Fig.2. XRD analysis of the unsintered powder showed only anatase peaks whereas sintered samples showed only rutile phase peaks. There is a small difference between the peak intensities of the samples sintered at three different temperatures.

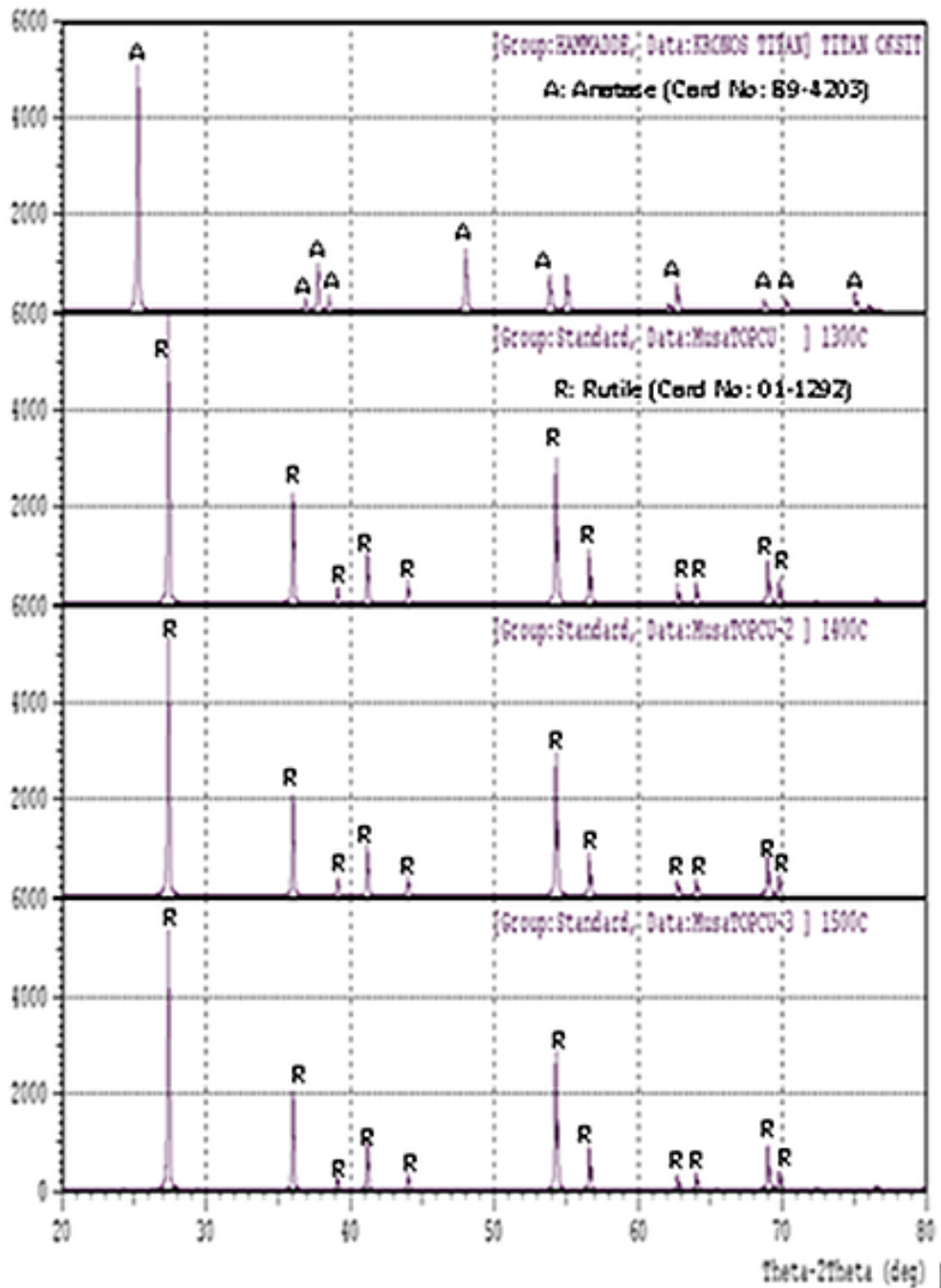


Fig. 2. XRD patterns of the sintered samples

When the XRD patterns given in Fig. 2 are examined, it is seen that changes in the peak intensities occur by increasing the temperature. The reason for this is thought to be the decrease in crystallinity with the formation of liquid phase containing  $\text{TiO}_2$ , by increasing the temperature.

### 3.4. SEM Analysis

Scanning Electron Microscopy (SEM) images of the samples were presented in Fig. 3. The images showed that the higher the sintering temperature the larger the particle size.

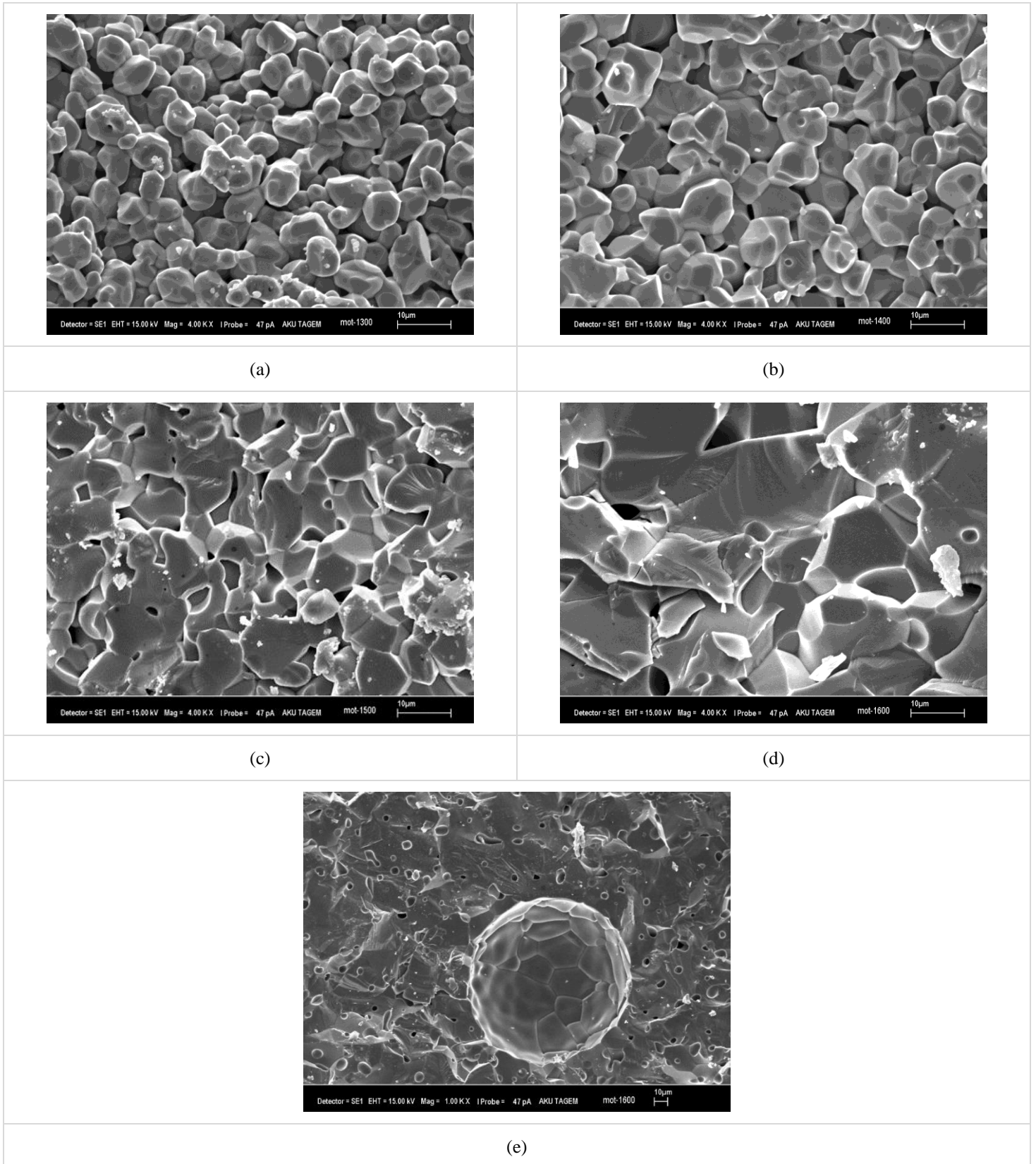


Fig. 3. SEM micrographs of the samples (a.1300°C, b.1400°C, c.1500°C, d.1600°C and e.1600°C)

When SEM images are examined, relatively equiaxial grains of approximately 10 µm in size are seen at 1300°C. With the sintering temperature rising to 1400°C, there was a slight increase in grain size. However, intergranular and intragranular pores are also noteworthy.

The formation of closed pores, which are also noticeable in SEM images, is consistent with the increase in the closed pore percentage given in the physical test results. With the sintering temperature rising to 1500°C, relatively equiaxial spherical grains were

replaced by larger irregularly shaped grains. At this temperature, closed pores are observed. At 1600°C, an abnormal growth occurred in the grains and grain sizes reached almost 20-30 µm.

## 4. Conclusion

Optimum conditions were determined by sedimentation experiments in order to shape Kronos Titania by slip casting method. Physical and mechanical tests, as well as phase analysis and SEM analysis, of the samples obtained by sintering the TiO<sub>2</sub> slip cast samples prepared under these optimum conditions were performed. The results obtained from this study are summarized below:

- Flocculation and large sedimentation volumes are at pH =1, 2, 3 and the point of zero charge for Kronos Titania was obtained as pH = 1-2. Optimum dispersion conditions are at pH ≥ 4 where repulsion force between particles is higher than Van der Waals attraction force.
- The higher the sintering temperature the higher the firing shrinkage, closed porosity, apparent density, bulk density and flexural strength values of the sintered samples while the smaller the water absorption, and porosity.
- XRD analysis of the sintered samples showed only rutile phase peaks at three different temperatures while unsintered powder was in the anatase form.
- With the sintering temperature rising especially to 1500°C and 1600°C, the equiaxial grains in the microstructure have grown excessively and turned into irregular shaped grains.

## Acknowledgment

Special appreciations are extended to Prof. Dr. Ö. Faruk Emrulloğlu and Lecturer Erdinç Abi for their notable supports.

## Reference

- Ceramic Industry (1999 January). ISSN 0009-0220.
- Cesarano, J., Aksay, I.A. and Bleier, A. (1988). Stability of aqueous  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> suspensions with poly(methacrylic acid) polyelectrolyte. *Journal American Ceramics Society*, 71(4), 250-255. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1988.tb05855.x>
- Cesarano, J. and Aksay, I.A. (1988). Processing of highly concentrated aqueous  $\alpha$ -alumina suspensions stabilized with polyelectrolytes. *Journal American Ceramics Society*, 71(12), 1062-1067. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1988.tb05792.x>
- Dutta, K.P., Ray, A.K., Sharma, V.K. and Millero, F.J. (2004). Adsorption of arsenate and arsenite on titanium dioxide suspensions. *Journal of Colloid and Interface Science*, 278, 270-275. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2004.06.015>
- Fujishima, A. and Zhan, X. (2006). Titanium dioxide photocatalysis: present situation and future approaches. *Comptes Rendus Chimie*, 9, 750-760. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2005.02.055>
- Jingxian, Z., Dongliang, J., Weisensel, L. and Greil, P. (2004). Binary solvent mixture for tape casting of TiO<sub>2</sub> sheets. *Journal of European Ceramic Society*, 24, 147-155. [https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00340-6](https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00340-6)
- Science.gov (1981 July). Oxides of titanium and chromium. *Engineering property data on selected ceramics, Volume III, Single Oxides. Metals and Ceramics Information Center, Battelle Columbus Laboratories, Ohio, USA.*
- Wu, C., Yue, Y., Deng, X., Hua, W. and Gao, Z. (2004). Investigation on the synergetic effect between anatase and rutile nano particles in gas-phase photocatalytic oxidation. *Catalysis Today*, 93-95, 863-869. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2004.06.087>



## Seydişehir Alüminası'nın Dökümle Şekillendirilmesi\*

C Betül Emrulloğlu Abi<sup>1\*\*</sup>, Mustafa Yatır<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye (ORCID: 0000-0003-0326-6122)

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf61)

**ATIF:** Emrulloğlu Abi, C.B., & Yatır, M. (2020). Seydişehir Alüminası'nın Dökümle Şekillendirilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 463-471.

### Öz

Alümina, seramik malzemelerin büyük bir kısmında ana fazlardan birisi olduğu gibi, yüksek ergime sıcaklığı, sertlik ve düşük ısı iletkenlik gibi özellikleri alüminaya mühendislik seramikleri içerisinde önemli bir yer sağlamıştır. Bu çalışmada alüminanın slip döküm tekniği ile şekillendirilmesi üzerine çalışılmıştır. Deneysel Metalurjik Kalitede Seydişehir Alüminası kullanılmıştır. Çalışmalar üç aşamada tamamlanmıştır. Birinci aşamada Seydişehir Alüminası yıkama+öğütme, yıkama+kalsinasyon+öğütme olmak üzere iki farklı işleme tabi tutulmuş, tüp metodu ile pH-zeta potansiyel ilişkisi ve alümina tanelerinin flokülasyon-dispersiyon davranışları belirlenmiştir. Disperse şartlarda hazırlanan süspansiyonlar alçı kalıpta slip döküm tekniği ile şekillendirilmiştir. İkinci aşamada şekillendirilen numuneler 1400, 1500 ve 1600°C 'lerde 2 saat süre ile sinterlenmiştir. Üçüncü aşamada ise sinterlenen numunelere su emme, üç nokta eğme dayanımı testleri uygulanmış ve XRD ile faz analizleri yapılmıştır. En iyi sonuçlar, 1600°C'de sinterlenen, yıkanmış ve öğütülmüş alümina tozundan elde edilmiş ve bu işlem sonucu, yoğunlukları 1,56gr/cm<sup>3</sup>, pişme küçülmeleri %15.52, görünür gözeneklilikleri %34.7, eğilme mukavemetleri 151.65 kg/cm<sup>2</sup>, su emme değeri %22.3 olan ürünler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Seydişehir Alüminası, Soda Uzaklaştırma, Döküm, Sinterleme.

## Shaping of Seydişehir Alumina via Casting

### Abstract

Alumina is one of the main phases in most of the ceramic materials, and its properties such as high melting temperature, hardness and low thermal conductivity provided an important place for alumina in engineering ceramics. In this study, it has been studied to shape the alumina with slip casting technique. Metallurgical Quality Seydişehir Alumina was used in the experiments. The studies were completed in three stages. In the first stage, Seydişehir alumina was subjected to two different processes as washing + grinding, washing + calcination + grinding, the pH-zeta potential relationship with tube method and the flocculation-dispersion behavior of alumina grains were determined. Suspensions prepared in disperse conditions were shaped with plaster mold casting technique. Samples formed in the second stage were sintered at 1400, 1500 and 1600°C for 2 hours. In the third stage, water absorption, three point bending strength tests were applied to the sintered samples and phase analyses were carried out with XRD.

The best results were obtained from the washed and ground alumina samples which were sintered at 1600°C, resulting in products with a density of 1.56 g / cm<sup>3</sup>, firing shrinkage 15.52 %, apparent porosity 34.7 %, flexural strength 151.65 kg / cm<sup>2</sup>, water absorption value 22.3 %.

**Keywords:** Seydişehir Alumina, Soda Removal, Casting, Sintering.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\*Sorumlu Yazar: Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi., Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, ORCID: 0000-0003-0326-6122, cbetul@aku.edu.tr



## 1. Giriş

Alüminyum hidrat esas olarak Bayer Prosesi ile üretilir. Bayer Prosesi, sodyum alüminat çözeltisi yapmak için boksitin kostik soda ile reaksiyona sokulmasını, atıkların çökmesini ve filtrasyonunu, çözeltiden alüminyum hidratın çökmesini ve sınıflandırılmasını, filtrasyon ve yıkama, kalsinasyon ve öğütmeyi içerir. Sonuç olarak bu proses, % 0,6 ila <% 0,05 Na<sub>2</sub>O içeriğine sahip, tane boyutları <0.5-10µm arasında değişen ve 0.2 - 100 m<sup>2</sup>/g arasındaki yüzey alanlarına sahip farklı kimyasal bileşim ve özelliklerde kalsine alüminalar verir. Elektrik yalıtkanı ve elektronik uygulamalar için kullanılan alüminadaki soda seviyeleri performansları için kritik öneme sahiptir. Genel olarak, yüksek alümina seramiklerde % 0.1 Na<sub>2</sub>O'in altındaki seviyeler tercih edilir ve çoğu durumda % 0.05 Na<sub>2</sub>O'in altındaki seviyeler arzu edilir (Anderson, 1995).

Birçok endüstriyel uygulamada ince ve düşük sodalı alümina kullanılır. Bu malzeme, mükemmel kimyasal stabilite, elektriksel ve mekanik özellikleri nedeniyle çok çeşitli mühendislik alanlarında kullanılan alümina seramik ve diğer refrakter ürünlerin üretimi için temel malzemedir. Ticari kalite "ince ve düşük sodalı α-alümina", <10 µm ortalama partikül boyutuna ve % 0.03 - % 0.10 Na<sub>2</sub>O içerir (Watson et al., 1963).

Sodayı düşürmek için en az üç yöntem vardır ve istenen sonucu elde etmek için genellikle iki veya daha fazla yöntem kullanılır: Birincisi hidratın çökeltilmesi sırasında yapılır ve yöntem ile soda içeriği % 0.2 kadar düşürülebilir. İkincisi, kalsine alüminanın su, hidroklorik asit (HCl) veya karbondioksit (CO<sub>2</sub>) ile liç işlemidir ki bu işlem % 0.1 - 0.02 seviyelerine indirir. Üçüncüsü kalsinasyon aşaması sırasında klor veya bor veya silis tuzları veya asitleri ile ekstraksiyonu içerir ve soda oranı % 0.1 - 0.02 aralığına kadar düşer.

Alümina birkaç kristal formda bulunur. Bu formlar içerisinde en yoğun ve kararlı olanı alfa alümina formudur (Ceramic Industry, 2003). Bayer prosesi sonucu üretilen gibsit 1150°C altında bir sıcaklıkta kalsine edilirse gibsit tamamen alfa alüminaya dönmez, bunun sonucu olarak da kalsine üründe geçiş alüminaları denen alümina fazları bulunur (Emrulloğlu v.d., 1991; Başpınar v.d., 1998). Geçiş alüminaları içeren alüminanın öğütülmesi ve sinterlenmesi zordur (Tambaş v.d., 2000).

Geçiş alüminaları sinterleme sırasında laminasyona da neden olabilirler (Onodo and Hench, 1978). Seydişehir alüminası metalürjik kalitede alümina olup alfa alümina yanında geçiş alüminaları da içerirler. Seydişehir alüminasının şekillendirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Tane boyutunun iri olması, geçiş alüminaları ve normalden fazla soda içermesi nedenleri ile şekillendirme tekniklerinde sorunlar yaşanmış, ürünlerin sinterleşmesi çoğu kez kötü olmuş, düşük mukavemetli, büyük oranda gözenek içeren ürünler elde edilmiştir (Erten v.d., 2004; Acun v.d., 2004; Şentürk v.d., 2004; İnce v.d., 2004; Emrulloğlu v.d., 2005-1; Emrulloğlu v.d., 2005-2; Örencik ve Emrulloğlu, 2006; Kıran ve Emrulloğlu, 2006).

Döküm seramik prosesleri arasında en eski tekniklerden birisi olup kompleks şekilli seramik bileşenlerin üretiminde kullanılabilir. Buna ek olarak kolaylığı, düşük maliyeti, esnekliği ve muntazam tane paketlenmesi bu prosesin avantajları olarak verilebilir (Savio et al., 2000). Slip döküm süspansiyon halindeki seramik tanelerinin poroz alçı kalıba dökülmesini içeren bir metottur (Richardson, 1992).

Bu çalışmada Seydişehir alüminasının, karakterizasyonu, yıkama-kalsinasyon ve öğütme işlemlerini içeren iyileştirme çalışmaları ve dökümle şekillendirilmesi amaçlanmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler

Deneysel çalışmalarda Seydişehir Alüminası kullanılmıştır. Seydişehir Alüminası'nın yıkanmadan önce ve sonraki kimyasal bileşimleri Tablo 1 'de, fazlar ise Şekil 1 'de sunulmuştur.

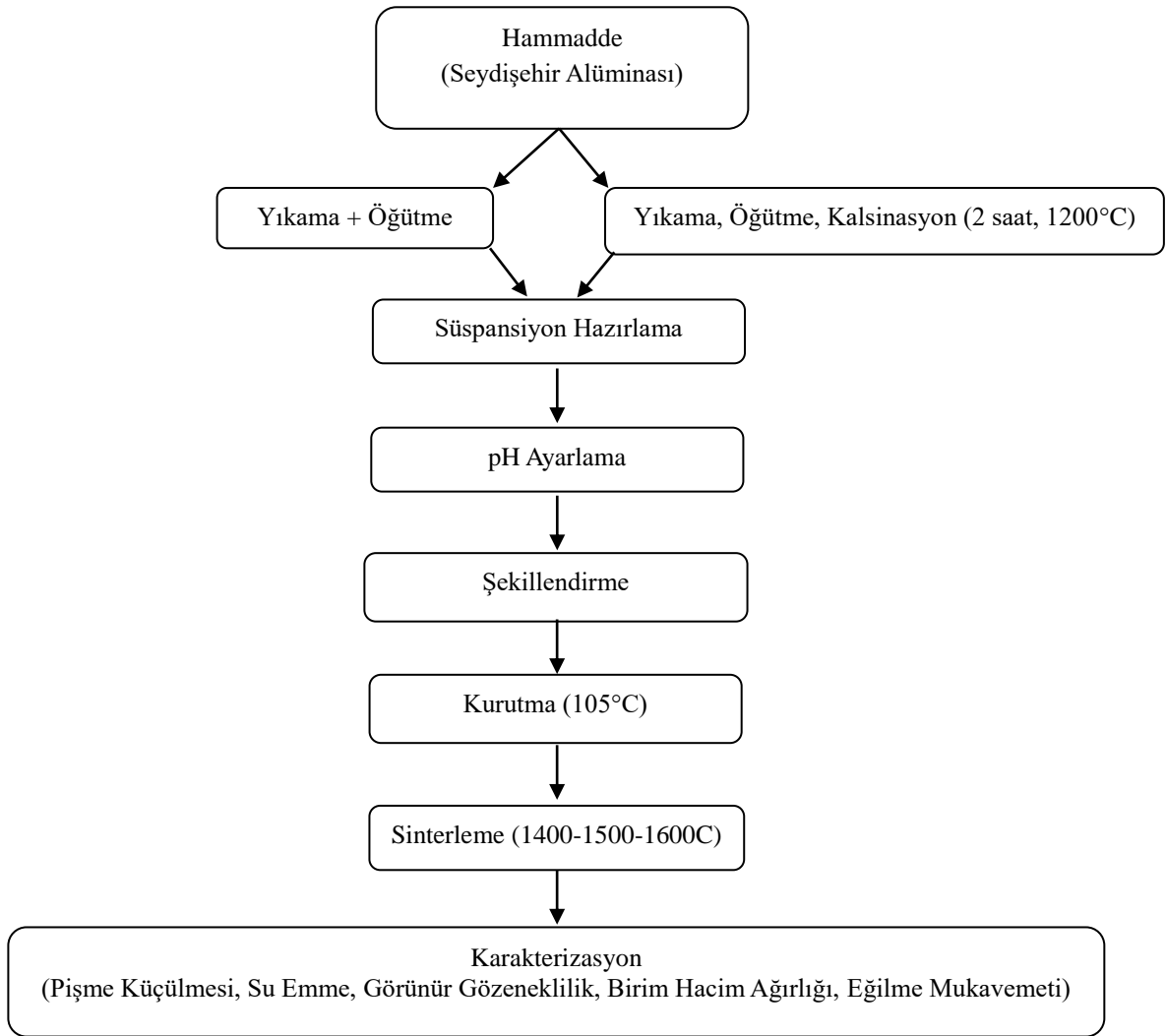
### 2.2. Alüminanın Soda İçeriğinin Düşürülmesi

Yapılan uygulamalı çalışmalarda ETİ Alüminyum İşletmesinde döner fırın sonrası ara ürün olarak elde edilen metalürjik kalitede alümina kullanılmıştır. Deneyleerde takip edilen Na<sub>2</sub>O içeriğinin azaltılması işlemi için kullanılan akım şeması Şekil 1.'de verilmiştir. Deney oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Şekil 1.'de verilen deney şemasında takip edilen proseste çalışılan katı miktarı 90 gr olup kullanılan deiyonize su miktarı 114 gr.'dir. Eldeki 90 gr katı madde bir beherin içine konup 114 gr. deiyonize su da topaklanmanın önlenmesi için yavaş yavaş alümina tozunun üzerine ilave edilmiştir. Bu karışım karıştırıcıda 120 devir/dak. hızla 15dk. süreyle karıştırılmış, daha sonra mavi bant süzgeç kağıdı kullanılarak vakum altında süzülüş ve etüvde 105°C'de kurutulmuştur.

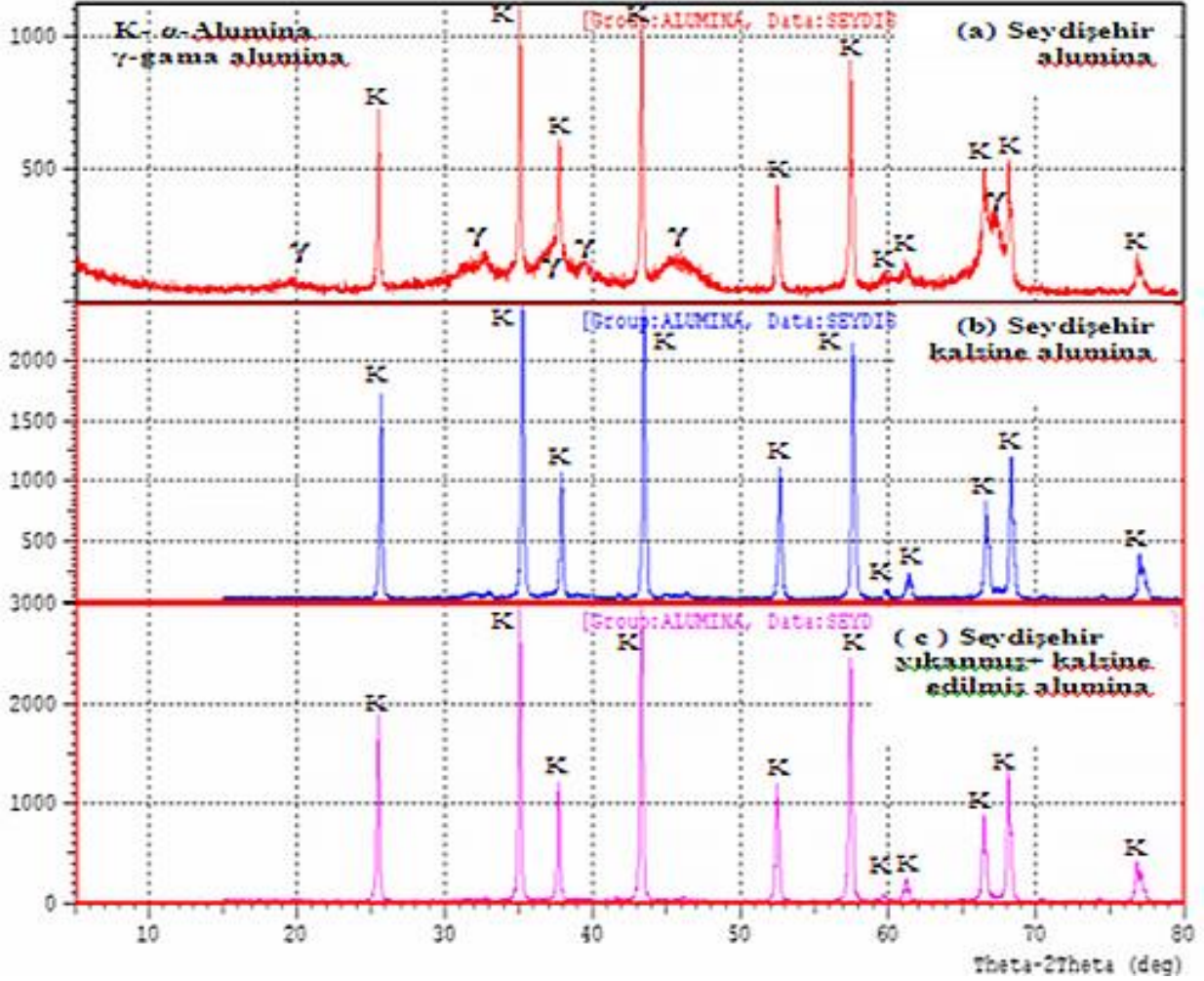


Tablo 1. Seydişehir Alüminası'nın yıkama öncesi ve sonrası kimyasal bileşimleri

Bileşim (%)	Seydişehir Alüminası	Yıkanmış Seydişehir Alüminası
$SiO_2$	0.029	0.018
$Al_2O_3$	97.59	-
$Fe_2O_3$	0.017	0.015
$CaO$	-	-
$MgO$	-	-
$Na_2O$	0.40	0.23
$K_2O$	-	-
$TiO_2$	-	-
$SO_3$	-	-
A.Z.	1.98	-



Şekil 1. Deney Akım Şeması



Şekil 2. a) Seydişehir Alüminası, b) Yeniden Kalsine Edilmiş Seydişehir Alüminası, c) Yıkanmış-Yeniden Kalsine Edilmiş Seydişehir Alüminası'na ait XRD paternleri

### 2.3. Sedimentasyon Tekniği ile pH-Zeta Potansiyel İlişisinin Belirlenmesi

Yıkanmış-öğütülmüş Seydişehir Alüminası ile değişen pH'larda süspansiyonlar hazırlanmış, 25cc'lik cam tüplere aktarıldıktan sonra çökmeye bırakılmıştır. Çökelti yükseklikleri incelenmiş, dispersiyonun en iyi olduğu pH olarak 7 seçilmiştir. Yıkanmış-kalsine edilmiş-öğütülmüş Seydişehir Alüminası için de aynı testler yapılmış ve dispersiyonun en iyi olduğu pH olarak 3 belirlenmiştir.

### 2.4. Süspansiyon Hazırlama

Yıkanmış-öğütülmüş Seydişehir Alüminası için pH'ı 7, yıkanmış-kalsine edilmiş-öğütülmüş Seydişehir Alüminası için ise pH'ı 3'e ayarlanmış saf su kullanılarak ağırlıkça %50 katı içeren döküm süspansiyonları hazırlanmıştır.

### 2.5. Şekillendirme ve Kurutma

İki farklı pH'da hazırlanan süspansiyonlar alçı kalıplara dökülerek şekillendirme gerçekleştirilmiştir. Numunelerin yavaş kurumasını sağlamak amacı ile önce üzeri naylon ile örtülerek ön kuruma gerçekleştirilmiş daha sonra etüvde 105°C 'de sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur.

### 2.6. Sinterleme

Hazırlanan örnekler Süper Kantal MoSi<sub>2</sub> (Nabertherm) ısıtıcı elementli fırında 1400°C, 1500°C ve 1600°C'lerde 5°C/dak. ısıtma hızı ile 2 saat süre ile sinterlenmiştir. Sinterleme işlemi sonunda fırın kapatılarak kendi halinde soğumaya bırakılmıştır.

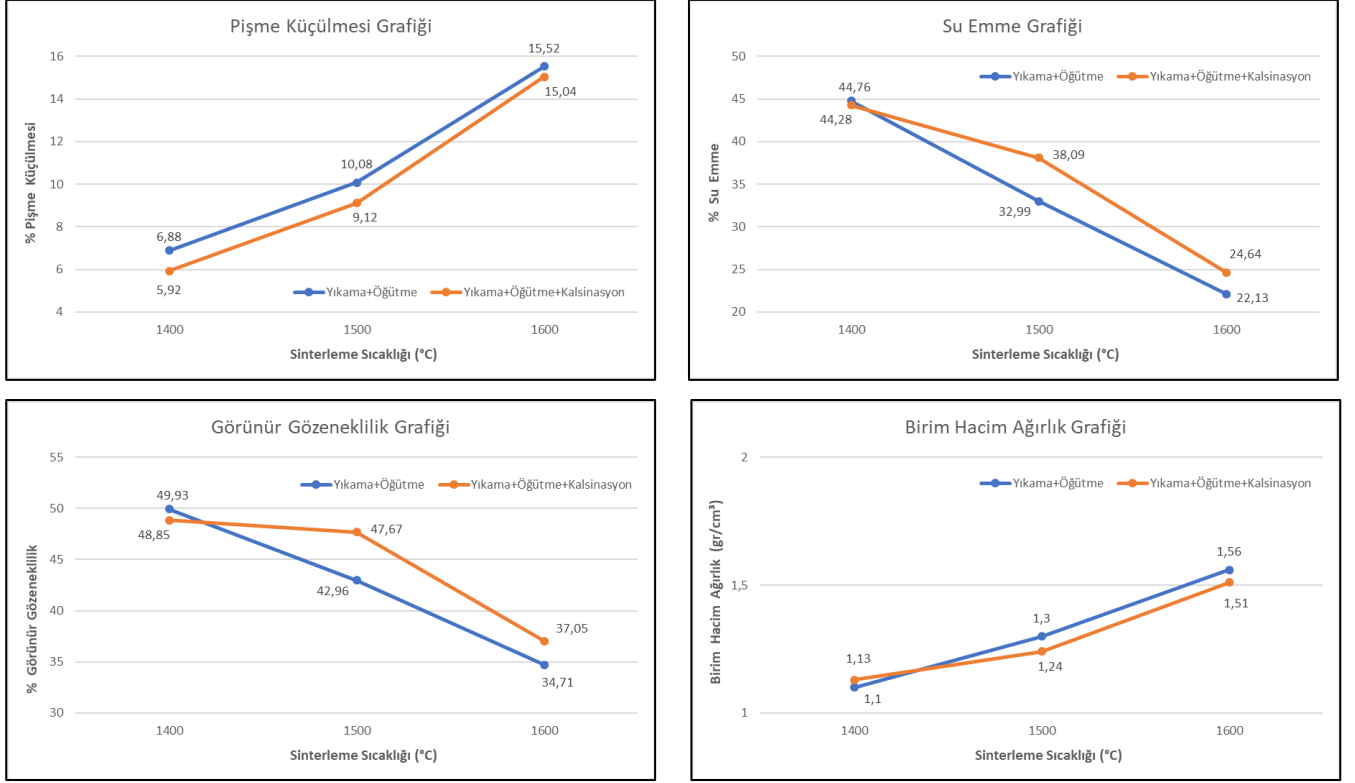
### 2.7. Numunelere Uygulanan Testler

TS-10545 'de belirtildiği şekilde sinterlenmiş numunelerin kuru, su emmiş ve su içerisindeki ağırlıklarından hareketle görünür gözenek ile birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. TS-4897 'ye göre de numunelerin üç nokta eğme dayanımı değerleri belirlenmiştir. Ayrıca her iki grup numuneden 1500°C'de sinterlenen numunelerin SEM ile mikroyapı incelemeleri yapılmıştır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Su Emme Deneyi Sonuçları

1400°C, 1500°C ve 1600°C’lerde sinterlenmiş numunelerin pişme küçülmesi, su emme ve görünür gözenek %’leri ve birim hacim ağırlığı değerleri Şekil 3. ve Tablo 2.’de verilmiştir.



Şekil 3. Sinterleme sıcaklığı ile numunelerin fiziksel özelliklerinin değişimi

Tablo 2. Numunelerin farklı sinterleme sıcaklıklarındaki fiziksel özellikleri

Numune	Sıcaklık (°C)	Pişme küçülmesi (%)	Su Emme (%)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Görünür Gözeneklilik (%)
Yıkama + Öğütme	1400	6.88	44.76	1.10	49.93
	1500	10.08	32.99	1.30	42.96
	1600	15.52	22.13	1.56	34.71
Yıkama+ Öğütme+ Kalsinasyon	1400	5.92	44.28	1.13	48.85
	1500	9.12	38.09	1.24	47.67
	1600	15.04	24.64	1.51	37.05

Tablo 2’de verilen sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile pişme küçülmesinin arttığı, en yüksek pişme küçülmesinin 1600°C’de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir Alüminası’nda meydana geldiği görülmektedir.

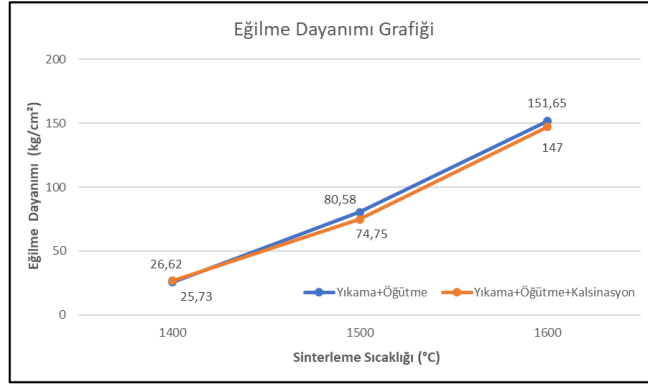
Sinterleme sıcaklığı artışı ile su emme %’sinin azaldığı, en düşük su emme değerinin 1600°C’de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir Alüminası’nda % 22.13 olarak elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde, sinterleme sıcaklığı artışı ile görünür gözenek

değerlerinin azaldığı, en düşük görünür gözenek değerine 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir Alüminası'nda ulaşıldığı görülmektedir.

Bununla birlikte, sinterleme sıcaklığı artışı ile birim hacim ağırlığı değerlerinin arttığı, en yüksek birim hacim ağırlığı 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir Alüminası'nda 1.56 g/cm<sup>3</sup> olarak elde edilmiştir.

### 3.2. Üç Nokta Eğme Dayanımı Deneyi Sonuçları

1400°C, 1500°C ve 1600°C'lerde sinterlenmiş numunelerin üç nokta eğme dayanımı değerleri Şekil 4. ve Tablo 3.'de verilmiştir. Tablo 3'de verilen sonuçlar incelendiğinde sinterleme sıcaklığı artışı ile üç nokta eğme dayanımı değerlerinin arttığı, en yüksek dayanım değerine 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir Alüminası'nda ulaşıldığı görülmektedir.



Şekil 4. Üç nokta eğme dayanımı değerlerinin sinterleme sıcaklığı ile değişimi

Tablo 3. Numunelerin farklı sinterleme sıcaklıklarındaki eğme dayanımı değerleri

Numune	Sıcaklık (°C)	Eğme Dayanımı (kg/cm²)
Yıkama + Öğütme	1400	25.73
	1500	80.58
	1600	151.65
Yıkama+ Öğütme+ Kalsinasyon	1400	26.62
	1500	74.75
	1600	147.00

Sedimentasyon deneyine göre, yıkama-öğütme-kalsinasyon işlemlerinden geçen grupta yüksek pH değerlerinde artan miktarda OH iyonunun flokülasyona ve büyük sedimentasyon hacimlerine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun nedeni, taneler arasındaki bağlanma enerjisinin yüksek olması ve konsolidasyon sırasında oluşan tane kümelerinin rijit akış birimleri gibi davranması ve yoğun bir şekilde paketlenmemesidir. Aksine düşük pH'larda (pH = 1-3), taneler arasındaki bağlanma enerjisi düşüktür ve tane kümeleri nispeten daha yoğun bir paketlenme yapısı sergiler. Yıkama-öğütme işlemlerine tabi tutulan grupta ise tersi durum söz konusudur ve pH= 7 civarında taneler arasındaki bağlanma enerjisi düşüktür ve tane kümeleri nispeten daha yoğun bir paketlenme yapısı gösterir.

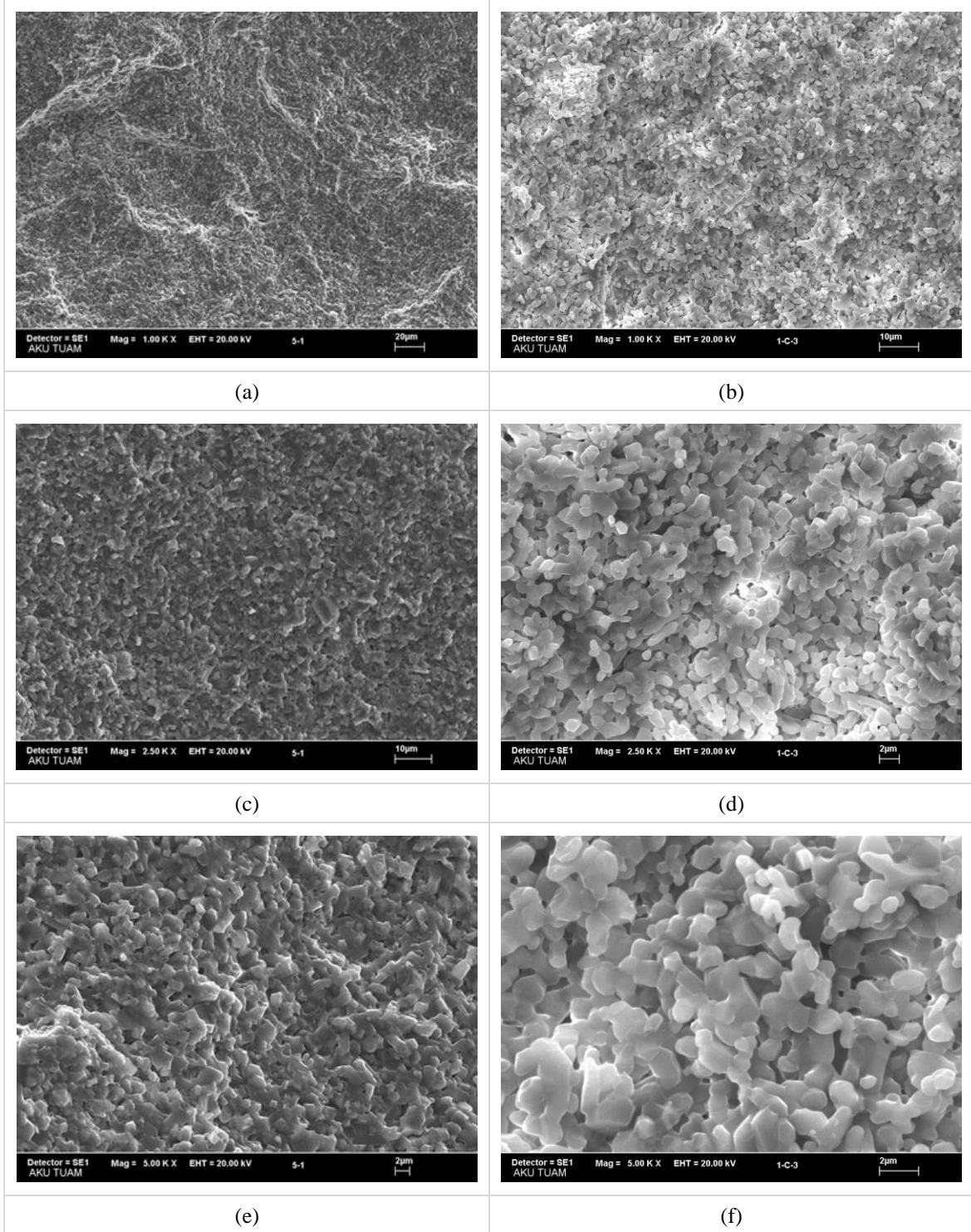
Seydişehir Alüminası'nın geçiş alüminaları içerdiği, yeniden 1200°C'de kalsinasyon işlemi ile geçiş alüminalarının alfa alüminaya döndüğü Şekil 2'de verilen XRD faz analizlerinden anlaşılmaktadır. Sinterleme sıcaklığındaki artışla birlikte, pişme küçülmesi, birim hacim ağırlığı ve üç nokta eğme dayanımı değerlerindeki artış beklenen bir durumdur. Yüksek sıcaklıklarda sinterleme ile ilerleyen difüzyonun bir sonucu olarak, taneler birbirine yaklaşır ve aralarındaki boşluklar kapanırken, gözenek yüzdesinde azalma meydana gelir. Bu nedenlerle, yoğunlukta bir artış elde edilir ve daha yüksek yoğunluklu sık yapıları numunelerin eğilme mukavemetinde bir artış meydana gelir.

### 3.3. SEM Analizi Sonuçları

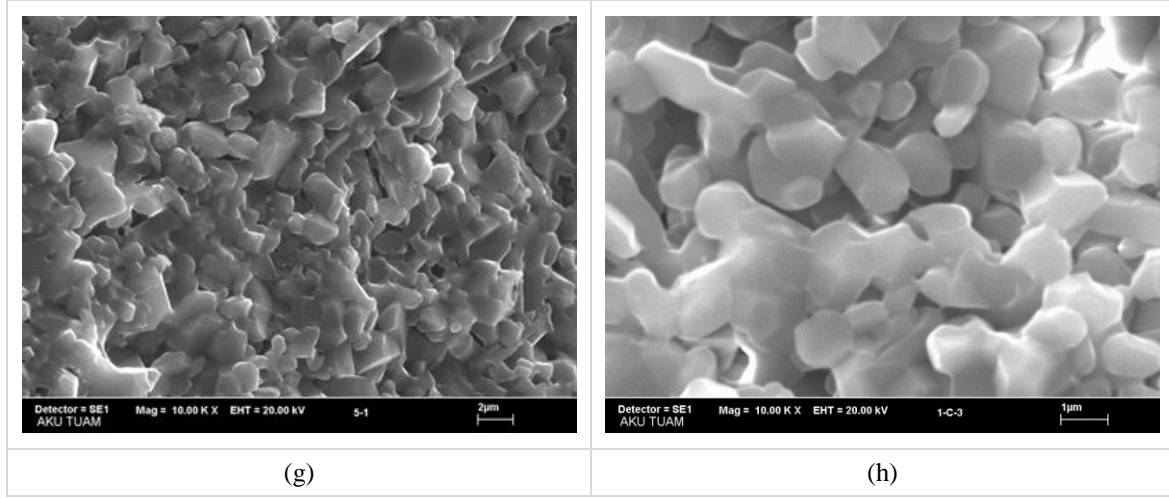
1500°C'de sinterlenmiş Yıkama+Öğütme ve Yıkama+Öğütme+Kalsinasyon işlemlerine tabi tutulmuş numunelere ait SEM görüntüleri Şekil 5'de verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde sadece Yıkama+Öğütme işlemlerine tabi tutulan tozlardan elde edilen numunelerin Yıkama+Öğütme+Kalsinasyon işlemlerine tabi tutulan guruba göre daha ince taneli bir mikroyapıya sahip olduğu görülmektedir. Bu durum kalsinasyon işlemlerinde tanelerin bir araya gelerek aglomere olmasının bir sonucudur. Nitekim daha iri



taneli mikroyapı neticesinde yapıdaki gözenek miktarının arttığı su emme deneyi sonuçlarında da görülmüştür. Bu nedenlerle Yıkama+Öğütme+Kalsinasyon numuneleri gözeneklilik su emme ve mukavemet değerlerinde diğer gruba göre daha kötü sonuçlar vermiştir. Alümina'nın önemli özelliklerinden bir tanesi de, yüksek sıcaklıklardaki sinterleme işlemleri neticesinde tanelerden bazılarının diğerlerine göre aşırı büyümesi ile oluşan anormal tane büyümesi davranışıdır. Bu davranış mikroyapının bozulmasına, aralarda büyük gözeneklerin kalmasında ve sonuç olarak mukavemet değerlerinde düşüşe sebep olur. Bahsedilen durumdan dolayı birçok çalışmada, alüminanın yüksek yoğunluklara sinterlenebilmesi için sinterleşmeye katkı sağlayan çeşitli katkı maddeleri yapıya ilave edilmektedir.







Şekil 5. 1500°C'de sinterlenmiş Yıkama+Öğütme (a, c, e, g) ve Yıkama+Öğütme+Kalsinasyon (b, d, f, g) numunelerine ait SEM görüntüleri

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada farklı işlemlerden geçirilen Seydişehir Alüminası'nın slip döküm yöntemine şekillendirilmesi ve karakterizasyonu amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir:

Sinterleme sıcaklığı artışı ile;

- Pişme küçülmesinin arttığı, en yüksek pişme küçülmesinin 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir alüminasında meydana geldiği,
- Su emme %'sinin azaldığı, en düşük su emmenin 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir alüminasında meydana geldiği,
- Görünür gözenek değerlerinin azaldığı, en düşük görünür gözenek değerine 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir alüminasında ulaşıldığı,
- Birim hacim ağırlığı değerlerinin arttığı, en yüksek birim hacim ağırlığı 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir alüminasında meydana geldiği,
- Üç nokta eğme dayanımı değerlerinin arttığı, en yüksek dayanım değerine 1600°C'de yıkanmış ve öğütülmüş Seydişehir alüminasında ulaşıldığı görülmüştür.

Bu sonuçlara göre Seydişehir alüminasından gözeneksiz, yoğun ürünler üretiminin bu şartlarda mümkün olmayacağı, soda içeriğinin daha da düşürülmesi için ilave işlemlerin yapılması gerektiği anlaşılmıştır.

#### Kaynakça

- Acun, Ö., Emrulloğlu, C.B. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2004). Tankrom katkılı alumina üretimi-enjeksiyon kalıplama. 6. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi. (poster)
- Anderson, E.M. (1995). Developments in powder processing methods. *Ceramic Industry*, 33-35.
- Başpınar, M.S., Zeytin, S. ve Emrulloğlu, Ö.F. (1998). Seydişehir alüminasının parlatma için kullanılabilirliğinin araştırılması. IV. *Ceramic Congress Proceedings Book*, 53(58), 22-25.
- Ceramic Industry (2003 January). Materials Handbook. Special Section, *Brick and Clay Record.*, p.24 www.ceramicindustry.com.
- Emrulloğlu, Ö.F., Avcı, E., Erkalfa, H., Yüzer, H. ve Kara, M. (1991). Seydişehir'de üretilen alüminanın plazma sprey kaplamada kullanılabilirliğinin araştırılması. *Doğu Akdeniz Üniversitesi VII. Kimya ve Kimya Müh. Sempozyumu*, 91.
- Emrulloğlu, Ö.F., Uysal, S. ve Emrulloğlu, C.B. (2005). Ekstrüzyonla Müllit Filtre ve Boru Üretim. I. *Endüstriyel Fırınlar ve Refrakterler Sempozyumu*.
- Emrulloğlu, S.B., Şimşek, V.H. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2005). Seydişehir Alüminasının Sinterleme Özelliklerinin Geliştirilmesi. 12. *Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi ve Fuarı, CNR-DTM*.

- Erten, R., Emrulloğlu, C.B., Yazıcı, Z.Ö. and Emrulloğlu, Ö.F. (2004). An investigation on injection moulding of seydişehir alumina. *Eight Key Engineering Materials, Euro Ceramics VIII*, 2523, 264-268.
- İnce, Ö., Emrulloğlu, C.B. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2004). TiO<sub>2</sub> katkılı müllit üretimi-enjeksiyon kalıplama. 6. *Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*. (poster)
- Kıran, M. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2006). Alüminanın ekstrüzyonla şekillendirilmesi. *VI. Uluslar arası Seramik Kongresi*.
- Onodo, G.Y. and Hench, L.L. (1978). Ceramic Processing Before Firing. *Department of Materials Science and Engineering, University of Florida*, 1978 2526 Euro Ceramics VIII.
- Örencik, S. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2006). Muhtelif katkıların Seydişehir Alüminasının sinterleme davranışına etkisinin incelenmesi. *VI. Uluslar arası Seramik Kongresi*.
- Richardson, D.W. (1992). Modern Ceramic Engineering, *CRC Press*, 445, Marcel Dekker Inc., New York.
- Savio, G.S., Rao, R.R. and Ramasesha, S.K. (2000). Fabrication of Molybdenum Disilicide Componenets by Slip Casting. *Materials Letters*, 57, 43-47. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(02\)00696-1](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(02)00696-1)
- Şentürk, Ö., Emrulloğlu, C.B. ve Emrulloğlu, Ö.F. (2004). TiO<sub>2</sub> katkılı alumina üretimi-enjeksiyon kalıplama. 6. *Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi*. (poster)
- Tambaş, T., Özkal, B., Hamzaçebi, C., Topal, A. ve Özgen, S. (2000). Seydişehirde Üretilen Alüminanın Enjeksiyon Kalıplama Parametrelerinin Belirlenmesi. *10th International Metallurgy and Materials Congress*.
- Watson, D.R., Lippman, A.Jr., Royce, D.V., Royce, B. and Pulaski County Jr. (1963). Method for reducing the soda content of alumina, *US Patent 3,106,452*.



# Telekomünikasyon Sektöründe Hizmet Kalitesinin SERVQUAL Ölçeği ile Ölçülmesi: Kayseri Örneği\*

Asım Cengiz Gür<sup>1</sup>, Burcu Oralhan<sup>2</sup>, M. Nur Kırdök<sup>3</sup>

<sup>1</sup> SOMÇELİK A.Ş., Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2085-1323)

<sup>2</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: : 0000-0001-8905-0140)

<sup>3</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0001-7664-8514)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf62)

**ATIF/REFERENCE:** Gür, A. C., Oralhan, B. & Kırdök, M. N. (2020). Telekomünikasyon Sektöründe Hizmet Kalitesinin SERVQUAL Ölçeği ile Ölçülmesi: Kayseri Örneği. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 472-485.

## Öz

Çağımızdaki teknolojik gelişmeler, insanların isteklerinin değişmesi ve çoğalması sebebiyle sunulan hizmetlerin kalitesinin tanımlanması zor hale gelmiştir. Teknolojik gelişmelerin sonucunda ortaya çıkan dijital sistemlerin süreçlere entegrasyonunda telekomünikasyon önde gelen sektörlerden biridir. Bu çalışmada Türkiye’de faaliyet gösteren GSM operatörlerinin sağladıkları hizmetlere yönelik, müşterilerin beklenti ve algılarının SERVQUAL ölçeği ile karşılaştırılmalı analizinin yapılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Kayseri il merkezinde GSM operatörlerinden hizmet alan 508 kullanıcıya anket uygulanmıştır. Araştırmada elde edilen ölçeklerin güvenilirliği Cronbach’s Alpha ( $\alpha$ ) katsayısı ile tespit edilmiştir. Verilerin değerlendirilmesinde korelasyon ve ANOVA analizlerinden faydalanılmıştır. Neticede operatörlerin sunduğu hizmetlere göre müşterilerin beklenen ve algılanan kalite arasındaki fark en fazla Türk Telekom’da görülürken, en az Turkcell’de görülmüştür. Operatörlerin hizmet kalitesi skorları arasında da anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Bununla birlikte, Türk Telekom için hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti arasındaki ilişkinin diğer operatörlerden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Hizmet kalite boyutları içerisinde en yüksek skora sahip hizmet kalitesi boyutunun fiziksel özellikler, en düşük skora sahip boyutun ise anlayış boyutu olduğu görülmüştür. Araştırma bulgularının örneklem büyüklüğü açısından ve Kayseri il merkezini kapsamı sebebiyle bazı sınırlılıklar içerse de, GSM sektörü ve hizmet kalitesi odaklı diğer çalışmalar için karşılaştırmalı analizler yapılarak değerlendirilebilmesinin mümkün olduğu söylenebilir.

**Anahtar Kelimeler:** GSM Operatörleri, Müşteri Beklentileri, Müşteri Algıları, Hizmet Kalitesi, SERVQUAL.

## Measuring The Service Quality In The Gsm Operators With SERVQUAL Scale: Kayseri Sample

### Abstract

Due to the technological developments and changing and increasing demands of people in our age, the quality of the services provided has become difficult to define. Telecommunication is one of the leading sectors in the integration of digital systems, that emerge as a result of technological developments, into processes. In this study, it is aimed to make a comparative analysis of the expectations and perceptions of customers with SERVQUAL scale for the services provided by GSM operators. In this context, a questionnaire was applied to 508 users receiving service from GSM operators in Kayseri city center. The reliability of the scales obtained in the study was determined by the Cronbach’s Alpha ( $\alpha$ ) coefficient. Correlation and ANOVA analyzes were used in the evaluation of the data. As a result, the difference between expected and perceived quality in terms of customers according to the services offered by the operators is mostly seen in Türk Telekom, while the least is seen in Turkcell. No significant difference was found between the service quality scores of the operators. However, the relationship between Türk Telekom's service quality and customer satisfaction was found to be higher than other operators. It was observed that the service quality dimension with the highest

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

score among the service quality dimensions was the physical properties, and the dimension with the lowest score was the understanding dimension. Although the findings of the study contain limitations due to the size of the sample and because it covers the city center of Kayseri, it can be said that it can be used as a comparison data for the GSM sector and other studies focused on service quality.

**Keywords:** GSM Operators, Customer Expectations, Customer Perceptions, Service Quality, SERVQUAL.

## 1. Giriş

Zaman içinde sektörlerde meydana gelen yapısal değişiklikler, teknoloji gelişimi, ürün/hizmet sunulan müşterilerin bilinçlenmesi sebebiyle, nitelikli, kaliteli, memnuniyet seviyesini karşılayan ürün ve hizmetleri üretmek, piyasaya girebilmek, kalabilmek ve sektör içinde yükselmek gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Çağımızdaki birçok teknolojik gelişmeler, insanların isteklerinin değişmesi ve çoğalması sebebiyle hizmet kavramının tanımlanmasını zor hale getirmiştir. Literatür araştırmaları incelendiğinde hizmet tanımının kesin olarak var yapılamadığını, birbirinden farklılık gösteren birçok tanımlamaların var olduğu görülmektedir (Dalgıç, 2013). Hizmet kavramı, tüketicilerin yaşamlarından kaynaklanan ve genellikle onların fiziksel olmayan bir takım sorunlarına çözüm getiren ya da çözümlerini kolaylaştıran sistemler, faaliyetler ve faydalar toplamı şeklinde ifade edilmiştir (İslamoğlu vd., 2006).

Müşterinin hizmet sunulmasına ihtiyaç duymasının yanı sıra müşteri bu ihtiyacın kaliteli bir şekilde karşılanmasını ve kendisinin tatmin edilmesini istemektedir. Bu sebeple hizmetler üretilirken, kesinlikle kalitenin göz önünde bulundurulması gerekir. Aksi takdirde işletmeler piyasada yer edinmekte ve sürekliliği sağlamakta zorlanmaktadırlar. Ancak imalat sektörü ile hizmet sektörünün ürünlere yönelik kalite değerlendirmeleri arasında bazı farklılıklar bulunabilmektedir. Sunulan hizmetlerin soyut olması sebebiyle ölçümü oldukça zordur. Aynı hizmet aynı tarzda sunulsa bile farklı insanlar tarafından farklı kalite seviyesinde algılanabilmektedir. Bu sebeple hizmet kalitesini yükseltmek, ancak müşterilerin beklentilerinin tespiti ve ona uygun davranış sergileyebilmek ile mümkündür. Hizmet pazarlamasında bir hizmetin kalitesi işletmenin başarısı açısından da çok önemlidir (Kekeç, 2008).

Pazarlama literatürünün, ana akım konularından olan hizmet kalitesi kavramı uzun süren araştırmalarla birlikte araştırmacıların üzerinde uzun mesailer harcadığı konulardan biri olarak karşımıza çıkmaktadır (Broderick ve Vachirapornpuk, 2008; Wang vd., 2008; Haciefendioğlu ve Koç, 2009; Önüt vd., 2008; Parasuraman vd., 1985). Hizmet kalitesi konusunun son yıllarında yalnızca pazarlama ile değil işletmelerin farklı alanlarında da araştırma konusu olduğu zaman zaman görülmektedir (Andaleeb ve Conway, 2006; Chow vd., 2008; Clark ve Wood, 1998; Markovic vd., 2010). Hizmet kalitesi literatürü ortalama olarak, kimi zaman üretim, kimi zaman ticaret, kimi zamansa hizmet işletmeleri olarak günümüze kadar süregelen veya üretilen nitel ya da nicel ürünlerin kalitelerinin standartlarına uygun seviyede tutulması ile kalitenin her açıdan önemle konu edinmesi zorunluluğunu gündeme getirmektedir. İşletmeciliğin her alanında hizmet kalitesinin geliştirilmesi, iyileştirilmesi için çok sayıda bilimsel çalışma yapılmakta veya yapılan çalışmalar hizmet kalitesi anlayışının gelişimine katkı sağlamaktadır. Müşterilerine kaliteli hizmet sunabilmek için işletmeler, yeniliklere açık olmak zorundadır. Böylelikle, kalite odaklı yapılmakta olan yenilikleri veya yeni gelişmeleri takip etmeleri, kendi bünyelerinde kalite kültürünü geliştirmeye çalışmaları gerekmektedir. Aslında önemli bir diğer nokta ise pazarlardaki yeniliklerin, gelişmelerin takip edilerek, müşterilerinin davranışlarını hassasiyetle incelemektedir. Müşterilerin algı seviyelerini ve beklentilerini anlamak ve bu çerçevede hizmete farklı özellikler katmak kaliteli hizmeti oluşturmaktadır (Dalgıç, 2013).

Sasser vd. (1978) yılında hizmet unsurlarını, materyal düzeyi, tesisler, personel olarak ayırmıştır. Gronroos (1984) kalitenin üç elementini teknik, fonksiyonel ve firma imajı olarak tespit etmiştir. Teknik kalite boyutu (Parasuraman vd., 1985) tarafından çıktı kalitesi, fonksiyonel kalite ise süreç kalitesi, olarak tanımlanmıştır. Lehtinen ve Lehtinen (1991) hizmet kalitesi unsurlarını firma kalitesi, fiziksel kalite, etkileşimci kalite, işletme imajı, hizmet donanımı, tesisler, diğer müşteriler ve çalışanların oluşturduğunu belirtmiştir. Townsend ve Gebhardt (1988) hizmet kalitesini gerçek kalite ve algılanan kalite olarak belirlemiştir. Gerçek kalite, belirlenmiş standartlara uygunluğu, algılanan kalite ise, müşterinin arzu ettiği hizmeti alma düzeyidir (Yıldız, 2009). Hizmetlerde beklenen kalite müşterilerden müşterilere farklılık gösterir ve beklenen kalite ile algılanan kalite arasındaki ilişkinin tespitinin yapılması gerekmektedir. İşte SERVQUAL ölçeği ve benzer ölçekler bu sebeple literatüre kazandırılmıştır. Hizmetin kalitesi beklenen ve algılanan performans ilişkisi ile belirlendiğinden hizmet kalitesinin tespiti için yapılan araştırmalarda genellikle ve yaygın olarak SERVQUAL modeli kullanılmaktadır (Yılmaz vd., 2007). Parasuraman vd. (1985) hizmet kalitesi, müşterilerin beklenti ve algılamaları arasındaki farklardır diye tanımlamışlardır. Bu tanımla yola çıkılacak olduğunda; müşteriler açısından hizmet kalitesini değerlendiren talep ettikleri hizmetten beklentileri ile hizmeti aldıktan sonraki düşüncelerini kıyaslamaktadırlar. Bu sebeple, hizmet kalitesinin beklenen ya da algılanan (gerçekleştirilen) hizmet kalitesi olmak üzere iki kavram olarak ayrılarak incelenmesi mümkündür (Şarbak, 2009).

Beklenen hizmet kalitesi, müşterilerin satın almak istedikleri hizmetten beklentilerini ve kendilerini memnun edecek özelliklerdir. Bu sebeple, müşterilerin sunulan hizmetten memnun olup olmayacakları, beklentilerinin gerçekleşme derecesi ile ilişkilidir (Özatkan, 2008). Hizmette beklenti kavramı ile müşteri tatminindeki beklenti kavramı da farklıdır. Hizmet kavramında beklenti, müşterilerin ihtiyaç duydukları hizmetin kendisine ne şekilde sunulması gerektiği hususundaki düşünceleri olmasına karşın müşteri tatmini açısından beklenti, ürünün üretim ve sunumu esnasında olması gerekenlerle ilgili tahminleridir (Özatkan, 2008). Algılanan hizmet kalitesi ise, müşterilerin faydalanmak istediği hizmetten beklentileriyle, kendisine sunulan hizmet arasındaki farklılığın derecesi ve yönüdür (Parasuraman vd., 1985). Her bireyin beklenti ve algılarının farklı olması dolayısıyla algılanan kalite subjektif bir kavramdır. Algılanan kalitede sunulan ürünün niteliklerinden ziyade, o ürünün müşteriye sağlayacağı yarar önemlidir (Canpolat, 2002; Tekingündüz (2010). Hizmet sektöründe müşterinin kalite değerlendirmesi, ürünün kendisine sunumundan sonraki algılamaya hissine dayandığı için literatürde "Hizmet Kalitesi" yerine genellikle "Algılanan Hizmet Kalitesi" kavramı kullanılmaktadır (Uyguç, 1998). Hizmet sektöründe işletmeler ve sunucular müşterilerin nasıl bir hizmet beklediklerini bilmenin yanı sıra, bu hizmeti nasıl

ulaştırılacağı konusunda da bilgi sahibi olmalıdırlar. Dolayısıyla, burada hizmet sağlayanların uzmanlık düzeyi çok önemlidir (Karahan, 2010).

Hizmet sektöründe, kalite, hizmetin sunulması anında ve çoğunlukla müşteri ile hizmet sunucusunun etkileşimi ile meydana gelmektedir. Bu sebeple, hizmet kalitesi büyük oranda hizmet sunucusunun performansına bağlıdır. Zorluk, hizmet sunucusunun bir (fiziksel) malın girdi ve çıktıları kadar kontrol edilebilir bir olgu olmayıp, sosyal, psikolojik ve hatta politik etkileşimli, örgütsel bir kaynaktır olmasından kaynaklanmaktadır (Aktan, 2006). Bu nedenle hizmet sektöründe belli bir kalite standardına ulaşmak sanayi sektörüne göre daha zordur. Bu sorunu çözümlen yolunu ise, sağlıklı bir kalite sisteminin kurulması, standartların herkesi kapsayacak ve herkes tarafından anlaşılacak şekilde duyurulması, hizmet sunucu personelin seçiminde ve eğitiminde özen gösterilmesi, çalışanların sisteme olan inanç ve bağlılıklarının artırılmasıdır (Işık, 2005).

Parasuraman vd. (1985) hizmet kalitesi ile ilgili olarak yaptıkları çalışmalarda, hizmet kalitesine etki eden hususları hizmet kalitesinin boyutları olarak ele almışlardır ve çok kabul gören, hizmet kalitesini ölçmek için kullanılan şu boyutları önermişlerdir (Seyran, 2004). Bazı hizmet kalitesi boyutları Fiziksel Özellik, Güvenilirlik, Heveslilik, Yeterlilik, Nezaket, İnanırlılık, Güven, Ulaşılabilirlik, İletişim, Empatidir.

Hizmet sektörünün kendi arasında hiyerarşik yapılanmalarla ortaya çıktığı bilinmektedir. Bu yapılanmalarda iletişim sektöründeki, taşımacılık, sigortacılık, bankacılık ile bilgi teknolojileri alanlarındaki alt yapılarını oluşturmaktadır. Telekomünikasyon sektörü günümüzde bilgiye dayalı bir ekonominin gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Telekomünikasyon dinamik bir yapıyı gerektirir. Teknoloji telekomünikasyonda önemli bir rol oynar (Giray, 2007). Teknolojik yeniliklerin iletişim araçlarının mevcut biçimlerinde değişime neden olması, geleneksel iletişim ortamlarından yeni iletişim ortamlarına geçişi zorunlu kılmıştır. Teknolojik dönüşümün birinci basamağında yer alan dijitalleşme, geniş hacimli verilerin depolanmasını, dönüştürülmesini ve görüntülenmesini kolaylaştırırken, herhangi bir nitelik kaybına uğramadan, ortak bir kanalda hızlı ve karşılıklı bir biçimde verilerin iletilmesini sağlamaktadır (Erdem, 2011). 1950'li yıllardan beri gelişmekte olan, yaklaşık son on-on beş yılda aniden hız kazanarak yaygınlaşan dijital elektronik bilgi işleme, iletme ve saklama araçları; kitle iletişim, telekomünikasyon ve bilişim endüstrilerinin birbirlerine yaklaşmasını sağlamıştır (Baştan, 2004).

Telekomünikasyon alanında literatürde birçok çalışma yer almaktadır. Özgüven (2008) hizmet sektörlerinde müşteri memnuniyetinin ölçülmesine yönelik araştırmalarda yaparak, hizmet satın almakta olan müşterilerinin tatmin düzeylerini veya beklentilerinin neticesini incelemiştir. Faktör analizi ile de katılımcılarının vermiş oldukları cevaplar ışığında ortaya çıkan değişkenlerin gruplandırılmalarını sağlamıştır. Bilir ve Özgen (2010), çalışmalarında katılım bankalarının şubede bulunan müşterilerine anket katılımı uygulayarak müşterilerin memnuniyetlerini ölçmeyi hedeflemişlerdir. Çalışma sonucunda banka müşterileri açısından en önemli boyut olarak güvenilirlik boyutu sonucu elde edilmiştir. Cengiz ve Kırkbir (2010), çalışmalarında Karadeniz Bölgesinde faaliyet gösteren kar amacı gütmeyen kurumlardan bir kısmını algılanan kalite ve müşteri memnuniyetini içeren bir model dahilinde incelemiştir. Bu model vasıtasıyla araştırma kapsamındaki kuruluşların kalite ve müşteri memnuniyeti ilişkisinin kavranması ve kalite boyutlarının önemini belirlemesini amaçlamışlardır. Çalışma sonucunda tatmin boyutunun ( $r=,897$ ) yüksek çıktığı ardından ise güvenilirlik boyutunun ( $r=0,873$ ) olduğu görülmüştür. Atmaca ve Keskin (2014), çalışmalarında GSM operatörlerinin memnuniyet düzeylerini ölçmeyi amaçlayan çalışmada bir anket hazırlanmış ve Ankara'da çalışan ve internet kullanıcısı olan kişilere elektronik ortamda gönderilerek ve memnuniyet düzeyleri kriter bazında incelenmiştir. Müşteri memnuniyetinin abonelerin kullandıkları operatöre ve kritere göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. Yapılan çalışmada soucunda, anketi cevaplayan abonelerin kullandıkları operatöre göre yüzdesi; Avea(%41,9), Turkcell(%28,3) ve Vodafone(%29,8)'dir. Müşterilerin genel memnuniyet düzeyleri sıralandığında en memnun olunan operatörün sırasıyla Vodafone, Turkcell ve Avea olduğu görülmektedir. Hotamışlı ve Eleren (2012), çalışmalarında, Afyonkarahisar il merkezindeki A, T ve V GSM operatörlerinin müşterilerine sundukları hizmet kalitelerinin, fiziksel özellikler, inanılabilirlik, isteklilik, emniyet ve anlayış boyutlarında, geliştirilen SERVQUAL ölçeği yardımıyla karşılaştırmalı olarak ölçülmesi üzerinedir. Tüm boyutlarda SERVQUAL skorları değerlendirildiğinde, işletmelerin tamamının müşterilerin beklentilerini karşılayamadıkları görülmüştür. Buna göre, tüm operatörler için genelde ve özelde en iyi skor, fiziksel özelliklerde gerçekleşmiştir. En olumsuz skor ise anlayış boyutundadır. Altan ve Engin (2004), çalışmalarında şehirlerarası taşımacılıkla uğraşan, seyahat işletmesinin müşterilerin memnuniyet derecelerini ölçmeye çalışmış, çalışmada seyahat işletmeleri için müşteri memnuniyetine etki eden; ağırlama, bakım temizlik, konuğa saygı, kaptan, host ve hostes, rezervasyon ve bilet satış, ikram ve servis gibi yedi ayrı faktör belirlenmiştir. Bu faktörlerin, seçilen seyahat işletmesinde müşteri memnuniyeti üzerindeki etkisi önem derecesine göre, kaptan ilk sırada yer alırken; ikram-servis ikinci sırada, rezervasyon-bilet satış üçüncü sırada, konuğa saygı dördüncü sırada, ağırlama beşinci sırada, host-hostes altıncı sırada ve bakım temizlik yedinci sırada yer almıştır. Ardiç (2004), Ardiç ve Çevik, Tokat il merkezinde bulunan ikamet ettikleri, belediyelerin sunduğu hizmetlerle, fayda ve memnuniyetleri incelenmiştir. Araştırma esnasında kullanılan veriler ve anketler ile elde edilerek toplanmıştır. Elde edilen bu veriler SPSS 10.0 paket programı aracılığıyla ANOVA, korelasyon ve faktör analizlerine tabi tutulmuş ve değerlendirme aşamasında geçmiştir. Chen ve Yang (2015) telekomünikasyon hizmetlerinin her geçen gün artan popülaritesinin yanında getirdiği olumsuzları araştırmış ve bununla birlikte kalitesini de ele almaktadır. Bu konuda telekomünikasyon hizmetlerinde gelişiminin ve kullanımının ilerlemesi yönünde etkenler araştırılmıştır. Sarıışık vd. (2015), çalışmasında hizmet kalitesini nicel olarak ölçerek işletmelerin kendilerini değerlendirmeleri amacıyla bu konuda en çok kullanılan yöntem olan SERVQUAL ölçek boyutunun "heveslilik" boyutunda müşterilerin algıları ve beklentileri arasındaki fark değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular sonucunda hizmet kalitesi kapsamında "heveslilik" boyutunda müşterilerin algı ve beklentileri arasında farkı belirlemek için yapılan analiz sonucunda görülmektedir ki: müşterilerin otellerin verdiği hizmetlerin hepsinde beklentilerinin altında hizmet algıladıkları ortaya çıkmıştır. Müşterilerin algı ve beklentileri arasındaki fark hevesliliğin alt boyutlarıyla (hizmet sunumu, hizmet hızı ve kolaylıklar, işletme imajı, müşteri ilişkileri) karşılaştırıldığında farklılıkların hizmet sunumu, müşteri hizmetleri, işletme imajı, hizmet hızı ve



kolaylıklar boyutunda sıralandığı anlaşılmıştır. Bu bağlamda araştırmanın bulgularında otellerin müşteri beklentilerini karşılamakta önemli düzeyde yetersiz kaldıkları görülmüştür.

## 2. Materyal ve Metot

Telekomünikasyon hizmetleri günlük yaşamın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir ve her geçen gün telekomünikasyon hizmeti verilen müşterilerin sayısı artmaya devam etmektedir. Buna bağlı olarak, doğrudan veya dolaylı olarak telekomünikasyon hizmeti veren işletme sayısında da artış olmuş ve büyüyen pastadan pay kapmak, telekomünikasyon işletmeleri için kritik bir önem arz eder hale gelmiştir. Numara taşıma uygulaması sayesinde operatörler arası geçişin kolaylaştırılması, sanal operatörler üzerinden marka/fiyat savaşlarının vekil-alt markalar üzerinden yürütülebilmesi gibi faktörler de, telekomünikasyon sektöründeki rekabettin şiddetini arttıran faktörler olarak sıralanabilmektedir.

Bu araştırmanın amacı, telekomünikasyon sektöründe Kayseri il merkezinde sunulan hizmetlerden yararlanan müşterilerin, almış oldukları hizmete ilişkin beklentilerinin ve bu beklentilerin karşılanabilirliğinin belirlenmesidir. Bu amaçla literatür tarama çalışmasına ek olarak, Kayseri ilinde yaşayan ve telekomünikasyon hizmetlerinden yararlanan müşterilerle yapılan anketlerden elde edilen bulgular istatistiksel olarak analiz edilerek değerlendirilmiştir. Araştırma ile Kayseri ilinde telekomünikasyon hizmetlerinden yararlananların demografik ve sosyoekonomik durumlarını ortaya koymak, bu hizmeti sunan işletmelerden kalite beklentilerini ve kaliteli algılarını karşılaştırmak, etkenlerin birbirleri ile ilişkilerini incelemek ve mevcut literatüre katkı sağlamak amaçlanmıştır.

### 2.1.Araştırmanın Sınırlılıkları

Zaman ve mekân kısıtlılığı göz önünde bulundurularak, araştırmaya yönelik anketler 2018 yılı Mayıs-Haziran ayları içerisinde ve Kayseri ilinde 511 telekomünikasyon müşterisi üzerinde yapılmıştır. Anketler; üniversiteler, sanayi bölgeleri, iş-alışveriş merkezleri, şehir meydanı ve mesken yoğunluklu üç ayrı mahallede olmak üzere toplam sekiz ayrı bölgede yüz yüze görüşme yolu ile yapılmıştır. Dolayısıyla, araştırma örnekleminin evrene kıyasla büyüklüğü ve örnekleme ulaşılan lokasyonların kısıtlı oluşu, araştırmanın temel sınırlılıklarını teşkil etmektedir.

### 2.2.Araştırmanın Modeli

SERVQUAL; tüketici beklentileri ve/veya algılamaları üzerine veriler gerektiren bir ölçektir. SERVQUAL ölçeği için 44 ifade belirlenmiştir (Gürbüz, 2005). Parasuraman vd. (1985) tarafından geliştirilmiş, hizmet kalitesinin ölçümünde kullanılan çok ölçekli ve çok kapsamlı bir modeldir. SERVQUAL modeli, işletmelerin politikalarını belirlerken ihtiyaç duyacakları müşterilerin hizmet beklentileri ve sunum sonrasındaki algılamalarını ölçmekte yaygın kullanılan bir modeldir ve hizmet alanlarının hemen tamamında uygulanabilmektedir (Kekeç, 2008). SERVQUAL modelinde sunulan hizmetlerde hangi özelliklerin hizmetin kaliteli olması için gerekli özelliklerdir sorusuna karşılık belirlenen 22 değişken kullanılmaktadır. Öncelikle bu 22 soru çerçevesinde müşterilerin beklentileri tespit edilmekte ve hizmetin gerçekleştirilmesi sonrasında yine bu 22 soru ile müşterinin hizmetle ilgili algıları sorgulanmaktadır. Algılamaların beklentileri karşıladığı oranda kalite seviyesi yükselmekte, düşme nispetinde de hizmet kalitesinin düşüklüğüne ve ortada müşteri tatminsizliğine sebep olan bir boşluk olduğu sonucuna varılmaktadır. Bu anlayış sebebiyle bu modele "Boşluk Modeli" de denilmektedir (Şarbak, 2009). Modelin esasının dayandığı şey, beklenen hizmet ile işletmenin bu beklentileri karşılamak üzere hizmet üretim ve sunum sürecinde kaptıklarının müşteri tarafından algılanması ile ortaya çıkan "algılanan hizmet kalitesi"dir. Parasuraman vd. (1985) geliştirilmiş olan bu modelde "hizmet kalitesi" yerine "algılanan hizmet kalitesi" kavramına yer verilmiştir. Yukarıda da değinildiği gibi algılanan hizmet kalitesi, müşterinin henüz hizmeti satın almadan önceki beklentileri ile, hizmetin gerçekleştirilmesi sonrasında yaşadığı tecrübe ile beklentilerini kıyaslaması ve ikisi arasındaki farklılığın yön ve derecesinin değerlendirilmesidir (Mohammad, 2007).

Literatür taramasında, yapılan çalışmalar arasından SERVQUAL tekniği kullanılarak hizmet işletmelerin kalite ölçümünü yapan çalışmalara odaklanılmıştır. Hangi tür hizmet işletmesi için yapılmış olursa olsun yapılan tüm çalışmaların ortak amacı; (SERVQUAL başta olmak üzere) hizmet kalitesi ölçüm modellerini tanıtmak, bu modellerin nasıl ve nerede uygulanması gerektiğini açıklamak, uygulama alanında hizmet kalite puanını bulmak, katılımcıların demografik özellikleri ile bu puanları kıyaslamak, kalite boyutlarının puanlarını ortaya çıkarmak ve işletmelere öneriler sunmaktır. Hizmet sektörünün kalitesinin belirlenmesi üzerine yapılan literatür çalışmalarının bazılarında değinildiğinde Sevimli (2006), çalışmada müşterilerin algıladıkları hizmet kalitesini ölçmeye çalışmıştır. Bununla ilgili uygulamalar hizmet sektöründe önemli paya sahip olan özel bir sağlık işletmesinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın neticesinde bu özel sağlık işletmesinin müşterilere sunduğu hizmetin onlar tarafından nasıl algılandığı tespit edilmiş ve gerek işletme politikalarında ve gerek bunların uygulanmasında neler yapılması gerektiğine ilişkin öneriler sunulmuştur. Kekeç (2008), çalışmada hizmet işletmeleri açısından hizmet kalitesinin, müşteri tatmini ve rekabet edebilirlik yolunda ne derece önemli olduğunu vurgulamış, otelcilik hizmetlerinden yararlanan müşterilerin beklentilerini ve hizmet kalitesi kriterlerini ortaya koyarak işletmelere stratejiler geliştirebilmeleri için ışık tutmayı amaçlamıştır. Araştırmasını Mersin şehir merkezi otellerinde yapan Kekeç, SERVQUAL modelini kullanarak ulaşılmış olduğu sonuçlara çalışmada detaylı şekilde yer vermiştir. Karakaya (2009), çalışmada Kapadokya bölgesini baz alarak müşterilerin hizmet kalitesi algılarını ölçmüştür. Müşteri tatmini ve müşterilerin demografik özelliklerini kıyaslamıştır. Bunun sonucunda çıkan sonuçları önerilere dönüştürerek çalışmasını noktalamıştır. Öztürk (2005), Antalya'da bulunan konaklama işletmelerinde kalite çalışması yapmıştır. SERVQUAL modeli seçilerek müşterilerin beklentileri ve algılamaları arasındaki fark ortaya çıkarılmış, işletmelerin hizmet kalitesindeki eksiklikleri gidermesi için önerilerde bulunmuştur.

### 2.3.SERVQUAL Skorunun Hesaplanması

SERVQUAL modelinde beklenen hizmetle algılanan hizmetin aralarındaki verilen puanlardan fark alınmakta SERVQUAL skoru bu puanlarla hesaplanmaktadır. SERVQUAL araştırmalarında N tane müşteri varsayıldığında, her boyutta SERVQUAL skorunun iki aşamasında da hesaplanmakta olduğu görülmektedir (Parasuraman vd., 1991). Birinci aşamada, farklı bir müşteri açısından varsayılan boyutlara ulaşıldığına dair cümlelerin SERVQUAL skorlarının toplanması ile bu boyutları oluşturmakta olan cümlelerin sayılarına bölüdüğü bilinmektedir. İkinci aşamayla ise, N sayıdaki müşteriler açısından birinci aşamalarla elde edilmekte olan skorlar toplanarak N'e bölünmektedir.

Hizmet kaliteleri değerlendirilmesi sırasında işletmelerin kalitelerinin planlanabilmesini yeterli oranda yapılabilmesi amacıyla müşterinin kalite boyutları için verdikleri önemlerin derecelerinin bilinmesi önem taşımaktadır. Böylece ağırlıklandırılmış olan skorun bilinmesi gereken bir durumdur (Yıldız, 2009). Ağırlıklandırılmış olan skorun bilinmesi ise aşağıdaki gibi adımlarla izlenmelidir;

- Her müşterinin, beş boyutun tek tek ortalamaları alınarak SERVQUAL skoru hesaplanmaktadır.
- Her müşterinin, her bir boyuta verdikleri SERVQUAL skoru aslında müşterinin o boyuta uygun şekilde tahsis ettiği önemdeki ağırlıkla çarpılmaktadır.
- Her müşterinin, beş boyutun toplamı üzerindeki ağırlıklandırılan SERVQUAL skoru ile toplanmaktadır.
- N müşterilerin üçüncü adımda elde ettikleri skorlarla toplanarak, N' e bölünmesi sonucunda ağırlıklandırılarak skor elde edilmektedir.

## 2.4.Araştırma Yöntemi

Araştırma arka planının oluşturulmasında, ilgili kavramların ve uygulamaların yerleşik hale getirilmesi amacıyla, öncelikle literatür taraması yapılmıştır. Hizmet kalitesine ilişkin veriler, kolayda örnekleme yöntemi ve yüz yüze anket uygulaması yapılarak toplanmıştır. Bu yönüyle araştırmanın nicel bir nitelik taşıdığı söylenebilir.

Hizmet kalitesine ilişkin nicel verilerin toplanması amacıyla hazırlanan anket formunun birinci bölümü katılımcının yaşı, eğitim durumu, medeni hali, mesleği gibi demografik bilgilere ek olarak GSM operatörü, operatör tercihinde etkili olan faktörler, GSM şirketine ödenen fatura miktarı vb. verileri toplamaya yönelik sorulardan oluşmaktadır. Anket formunun ikinci bölümü ise tüketicilerin telekomünikasyon hizmetinden kalite beklentilerini ölçmeyi amaçlayan sorular içermektedir. Anketin üçüncü bölümü, ikinci bölümdeki beklentilerin ne derece gerçekleştiğini anlamayı hedefleyen ifadeler içerirken, dördüncü bölüm katılımcıların hizmet kalitesini değerlendirirken kullandıkları kriterlerin önem derecesini tespit etme odaklı sabit toplamlı bir ölçek içermektedir (Toplam 5 kriter). Hizmet kalitesi skoru, dördüncü bölümdeki ağırlıklı çarpan üzerinden hesaplanacaktır. Anket formunun beşinci ve son bölümünde ise tüketicinin hali hazırda müşterisi olduğu GSM telekomünikasyon hizmetinden memnuniyetini ölçmeyi amaçlayan üç ifade yer almaktadır.

Hizmet sektörü ile alakalı olarak, müşterinin kalite beklentileri ve algıladıkları kalite arasındaki fark ile müşteri memnuniyeti arasında bir ilişki olabileceği Brown ve Swartz (1989) tarafından formüle edilmiştir. Formun ikinci ve üçüncü bölümündeki metinler, Parasuraman vd. (1985) tarafından hazırlanan, geçerliliği ve güvenilirliği daha önceden ispatlanmış SERVQUAL ölçeğinin Türkçeye çevrilmesi ve telekomünikasyon sektörüne uyarlanması suretiyle hazırlanan 22 adet ifadelerden/sorulardan oluşmaktadır. Hazırlanan ön anket formu öncelikle dar bir çevrede pilot çalışma olarak uygulanmış ve bu safhada anlaşılamayan, yanlış anlaşılan, farkı yorumlara yol açan ifadeler düzeltilerek anket çalışmalarına esas olacak son şekli verilmiştir. Örnekleme büyüklüğünün tespit edilmesinde literatürde istatistiksel olarak hesaplanmış örnekleme büyüklüğü seviyesi tablolarından yararlanılmıştır (Yazıcıoğlu ve Erdoğan, 2004) Bu kapsamda minimum 384 anketin analiz için yeterli olduğu tespit edilmiştir. Anket uygulamasının tutarlı sonuçlar vermesi amacıyla, anketi dolduracak bireyler kısaca ön eğitime tabi tutulmuştur. Bu çabalar sonucunda 511 anket formundan sadece 3 adedinde değerlendirme dışı bırakılmayı gerektiren yetersizlikler tespit edilmiştir ve 508 anket formu değerlendirmeye alınmıştır. Farklı GSM operatörü müşterilerinin hizmet kalitesini değerlendirirken önem verdikleri kriterlerin birbirlerinden anlamlı farklılıklar içerdikleri görülmüştür. Bu nedenle çalışma tasarımı ve hipotezler sektör genelinden ziyade GSM operatörü bazlı olarak kurulmuştur. Toplanan nicel verilerin analizinde SPSS (versiyon 23) yazılımı kullanılmıştır. Anket formunun güvenilirliği Cronbach's Alpha katsayısı ile ölçülmüştür. Cronbach's Alpha değeri kalite beklentisi ölçeği için 0,951, kalite algısı ölçeği için ise 0,965 olarak bulunmuştur. Tüketicilerin kalite beklentilerini belirlerken kullandıkları kriterlerin ağırlıklarını ölçmeyi amaçlayan dördüncü bölümdeki ifadeler, sabit toplamlı ölçek olduğundan güvenilirlik analizi hesaplan(a)mamıştır. Tüketicilerin aldıkları GSM telekomünikasyon hizmetinden memnuniyetlerini ölçmeyi amaçlayan üç ifadeli memnuniyet ölçeğinin güvenilirlik katsayısı ise 0,851 olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bu oranlar  $0.80 < \alpha < 1.00$  arasında bir değer olduğu için tüm soruların yüksek derecede güvenilir olduğu anlaşılmaktadır (Bostanoğlu, 2012). Anket formunda yer alan üç ölçek türü için Cronbach's Alpha değerleri aşağıdaki Tablo 1'de görülebilir.

Tablo 1.Çalışmada Kullanılan Ölçeklerin Güvenilirlik Analizi

	Cronbach's Alpha	Maddeler
Kalite Beklentisi	0,951	22
Kalite Algısı	0,965	22
Memnuniyet	0,851	3

## 2.5.Araştırmanın Hipotezleri

Araştırmaya katılan tüketiciler Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom olmak üzere üç farklı şirketin müşterileridir. SERVQUAL ölçeğinin ağırlıklı skorunu hesaplamak ve sağlıklı bir analiz yapılması amacıyla anket formunun dördüncü bölümünde her bir operatörün müşterilerinin kalite beklentisini şekillendiren kriterlerin ağırlıkları hesaplanmıştır. Diğer analizler, operatör bazlı ağırlıklı skorlar üzerinden yürütüleceğinden, hipotezlerin önemli bir bölümü de operatörler için ayrı ayrı olarak kurgulanmıştır. Demografik değişkenlerin hizmet kalitesi algısı üzerindeki etkisine ilişkin hipotezler Christia ve Ard (2016) ve Min ve Khoon (2013) gibi isimlerin çalışmalarında da görülmektedir ve mevcut literatüre dayanarak hazırlanmıştır. Bu bağlamda, çalışmanın hipotezleri aşağıdaki Tablo 3'teki gibidir;

Tablo 3.Araştırmanın Hipotezleri

H1:	GSM operatörlerinin hizmet kalitesi skorları (beklenen kalite – algılanan kalite) arasında anlamlı farklılık vardır.
H2a:	Turkcell müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.
H2b:	Vodafone müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.
H2c:	Türk Telekom müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.
H3a:	Turkcell müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.
H3b:	Vodafone müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.
H3c:	Türk Telekom müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.
H4a:	Turkcell müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.
H4b:	Vodafone müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.
H4c:	Türk Telekom müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.
H5a:	Turkcell müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.
H5b:	Vodafone müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.
H5c:	Türk Telekom müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Betimleyici Analizler Ve Bulgular

Yüz yüze anket uygulaması yoluyla elde edilen veriler üzerinden hipotez testlerine geçmeden önce, anket katılımcılarının birinci bölümde verdikleri soruların cevapları frekans analizi yoluyla incelenmiştir. Betimleyici frekans analizi sonuçları Tablo 4'te paylaşılmıştır.

Tablo 4.Frekans Analizi Sonuçları

Demografik Özellikler		n	%
Cinsiyet	Kadın	169	33,30
	Erkek	339	66,70
	Toplam	508	100,00
Eğitim Durumu	İlköğretim	91	17,90
	Lise ve Dengi	158	31,10
	Meslek Y.O.	46	9,10
	Lisans ve Üstü	209	41,10
	Belirtilmemiş	4	0,80
	Toplam	508	100,00
Meslek	Memur	45	8,90
	Özel Sektör	225	44,50
	İşsiz	14	2,80
	Emekli	20	3,90
	Ev Hanımı	22	4,30
	Öğrenci	145	28,50
	Diğer	25	4,90
	Belirtilmemiş	12	2,40
GSM Operatörü	Turkcell	134	26,40
	Vodafone	141	27,80
	Türk Telekom	220	43,30
	Diğer	12	2,40
	Belirtilmemiş	1	0,20
	Toplam	508	100,00
Kullanılan GSM Hat Türü	Faturalı	305	60,00
	Kontrollü	203	40,00
	Toplam	508	100,00

Tablo 4 (Devamı).Frekans Analizi Sonuçları

Demografik özellikler		n	%
GSM Operatöründen Yararlanmada Önemli Faktör	Hizmetin Kalitesi	361	71,10
	Hizmetin Bedeli	147	28,90
	Toplam	508	100,00
Yaş	20 ve altı	54	10,60
	21-30	196	38,60
	31-40	107	21,10
	41-50	95	18,70
	51-60	39	7,70
	60 ve üstü	17	3,30
	Toplam	508	100,00
Gelir	0-1.500	185	36,40
	1.500-3.000	227	44,70
	3.001-5.000	74	14,60
	5.001-10.000	16	3,10
	10.000 ve üstü	3	0,60
	Belirtilmemiş	3	0,60
	Toplam	508	100,00
Fatura Tutarı(TL)	25 ve altı	71	14,00
	26-75	302	59,40
	76-125	101	19,90
	126 ve üstü	28	5,50
	Belirtilmemiş	6	1,20
	Toplam	508	100,00
Operatör Kullanım Yılı	0-05	312	61,40
	6-10	134	26,40
	11-15	32	6,30
	16 ve üstü	23	4,50
	Belirtilmemiş	7	1,40
	Toplam	508	100,00
Telefon Görüşme Sıklığı	1-25	185	36,40
	26-50	67	13,20
	50 ve üstü	12	2,40
	Belirtilmemiş	107	21,00
	Toplam	508	100,00
Mesajlaşma Sıklığı	0-10	235	46,20
	11-50	136	26,80
	51-100	37	7,30
	101 ve üstü	29	5,70
	Belirtilmemiş	71	14,00
	Toplam	508	100,00
İnternet Kullanım Sıklığı	0-10	109	21,50
	11-50	231	45,40
	51-100	99	19,50
	101 ve üstü	34	6,70
	Belirtilmemiş	35	6,90
	Toplam	508	100,00

Veri analizinin bir sonraki adımında her bir operatör için SERVQUAL ölçeğine ilişkin boyutların önem derecelerinin ortalanması hesaplanmıştır. Bu ortalamalar, hizmet kalitesi ağırlıklı skorunun hesaplanmasında kullanılacaktır. Operatörlere göre ölçek boyutlarının önem dereceleri aşağıdaki gibidir.

Tablo 5. Servqual Ölçeği Alt Boyutlarının Operatörlere Göre Ağırlıkları

SERVQUAL BOYUTLARI					
Operatör	Fiz. Özellikler	Güvenirlilik	Heveslilik	Güven	Empati
Turkcell	20,1	21,7	20,6	20,6	17,1
Vodafone	20,2	21,3	19,4	20,1	18,9
Türk Telekom	19,8	21,5	19,9	19,7	19,0

Tablo 5 değerlendirilecek olursa, ağırlığı değişmekle birlikte tüm operatörlerde güvenirlilik boyutunun en yüksek ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. SERVQUAL ölçeğinin güvenirlilik boyutu, hizmet sağlayıcı işletmenin sözlerini (zamanında) tutması, vaat edilen bir hizmeti doğru ve güvenilir bir şekilde yerine getirebilme yeteneği, bir problem yaşandığında problemin çözümü için yakın ilgi göstermesi, eksiksiz ve kusursuz hizmetin ilk andan itibaren sağlanması için özen göstermesini ifade etmektedir. Fiziksel özelliklerde en yüksek puanı Vodafone, güvenirlilikte, heveslilikte ve güvende Turkcell, empati de ise Türk Telekom operatörlerinin ön plana çıktığı görülmektedir.

### 3.2. Hipotez Testleri

SERVQUAL ölçeğine ilişkin boyutların operatör bazlı ağırlıkları hesaplandıktan sonra, her bir operatör için hizmet kalitesi skorları hesaplanabilir hale gelmiştir.

Tablo 6, alt boyutları ile beraber, ortalama ve ağırlıklı hizmet kalitesi (SERVQUAL) skorlarını operatör bazlı olarak göstermektedir.

Tablo 6. Operatör Bazlı Hizmet Kalitesi Skorları

Operatör	Fiziksel		Güvenirlilik		Heveslilik	
	Ort.	S.Sapma	Ort.	S.Sapma	Ort.	S.Sapma
Turkcell	-0,12	0,72	-0,49	0,78	-0,52	0,88
Vodafone	-0,17	0,81	-0,47	0,88	-0,49	0,97
Türk Telekom	-0,15	0,85	-0,69	1,05	-0,62	1,02
Operatör	Güven		Empati		SERVQUAL	
	Ort.	S.Sapma	Ort.	S.Sapma	Ort.	S.Sapma
Turkcell	-0,43	0,84	-0,32	0,81	-0,38	0,64
Vodafone	-0,5	0,88	-0,43	0,88	-0,41	0,74
Türk Telekom	-0,58	0,91	-0,55	0,99	-0,52	0,81

Hipotez 1'i test etmek için GSM operatörlerine ait hizmet kalitesi skorları tek yönlü ANOVA (Tablo-7) analiziyle karşılaştırılmıştır. Varyansların homojenliği Levene's testi ile sınanmıştır. Tablo 7'de görüldüğü üzere göre, varyansların homojenliği fiziksel özellikler ve güven boyutlarında görülmektedir ( $p>0,05$ ). Diğer boyutlarda varyansların homojen olmadığı bulgusuna ulaşılmıştır. Homojen varyanslar için ortalamaların istatistiksel olarak farklı olup olmadıkları Tukey testi ile homojen olmayan varyanslar içinse Dunnett T3 testi yardımıyla incelenmiştir.

Tablo 7. Kalite Skorları Varyans Homojenliği (Levene's)

Kriter	Levene Statistic	df1	df2	p
SERVQUAL Fiziksel	1,316	3	500	,268
SERVQUAL Güvenirlilik	4,531	3	500	,004
SERVQUAL Heveslilik	2,522	3	500	,057
SERVQUAL Güven	1,221	3	500	,302
SERVQUAL Empati	4,485	3	500	,004
SERVQUAL Ortalama	4,942	3	500	,002

Tablo 8, GSM operatörleri ve kalite skorları arasında anlamlı ilişki olup olmadığını incelemek için gerçekleştirilen ANOVA analizinin bulgularını raporlamaktadır.

Tablo 8. GSM Operatörü – Hizmet Kalitesi Skoru İlişkisi

Bağımlı Değişken	Ort. Farkı	p
------------------	------------	---



<b>SERVQUAL FİZİKSEL</b>	Turkcell	Vodafone	0,04756	0,961
		Turk Telekom	0,03267	0,983
	Vodafone	Turkcell	-0,04756	0,961
		Turk Telekom	-0,01489	0,998
<b>SERVQUAL GÜVENİRLİLİK</b>	Turkcell	Vodafone	-0,01594	1,000
		Turk Telekom	0,20110	0,219
	Vodafone	Turkcell	0,01594	1,000
		Turk Telekom	0,21704	0,194
<b>SERVQUAL HEVESLİLİK</b>	Turkcell	Vodafone	-0,02594	1,000
		Turk Telekom	0,09650	0,921
	Vodafone	Turkcell	0,02594	1,000
		Turk Telekom	0,12244	0,824
<b>SERVQUAL GÜVEN</b>	Turkcell	Vodafone	,06936	,915
		Turk Telekom	,14227	,454
	Vodafone	Turkcell	-,06936	,915
		Turk Telekom	,07291	,869
<b>SERVQUAL EMPATİ</b>	Turkcell	Vodafone	,11098	,855
		Turk Telekom	,22738	,110
	Vodafone	Turkcell	-,11098	,855
		Turk Telekom	,11640	,812
<b>SERVQUAL ORTALAMA</b>	Turkcell	Vodafone	,03720	,998
		Turk Telekom	,13998	,364
	Vodafone	Turkcell	-,03720	,998
		Turk Telekom	,10278	,769

Tablo 8’de paylaşılan tek yön ANOVA analizi sonuçlarına göre operatörler arasında hizmet kalitesi skoru (ortalama) ve hizmet kalitesi alt boyutları açısından anlamlı bir fark olmadığı görülmektedir (Tüm boyutlar ve operatörler için  $p>0,05$ ). Sonuç olarak H1 hipotezi reddedilmiştir. GSM operatörlerinin hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı bir farklılık yoktur. Bu sonuç, tüketici nezdinde Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom’un kalite özelinde bir farklılık yaratmadığı şeklinde yorumlanabilir. Bir sonraki hipotezin testi için, GSM operatörü müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasındaki ilişki irdelenmiştir. Tüketicilerin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişkinin araştırılması için tek yönlü ANOVA analizi kullanılmıştır. Turkcell, Vodafone ve Türk Telekom için varyansların homojenliği testi aşağıdaki Tablo 9’daki gibidir.

Tablo 9. Operatör Eğitim Seviyesi Varyans Homojenliği

Operatör	Levene Statistic	df1	df2	p
<b>Turkcell</b>	2,866	3	129	0,039
<b>Vodafone</b>	6,013	3	134	0,001
<b>Türk Telekom</b>	3,66	3	213	0,013

Turkcell kullanıcılarının eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişki Tablo 10’dan incelenebilir. Aşağıdaki tabloda SERVQUAL ortalama düzeyleri görülmektedir.

Tablo 10. Turkcell Kullanıcıları Eğitim Seviyesi ve Hizmet Kalitesi Skoru İlişkisi

Bağımlı Değişken		Ort.Farkı	p	
<b>SERVQUAL ORTALAMA</b>	İlköğretim	Lise	0,05853	0,998
		Meslek YO.	0,214	0,817
		Lisans ve üstü	,50900*	0,004
	Lise	İlköğretim	-0,05853	0,998
		Meslek YO.	0,15547	0,931
		Lisans ve üstü	,45047*	0,004
	Meslek YO.	İlköğretim	-0,214	0,817
		Lise	-0,15547	0,931
		Lisans ve üstü	0,295	0,542
	Lisans ve üstü	İlköğretim	-,50900*	0,004
		Lise	-,45047*	0,004
		Meslek YO.	-0,295	0,542

Turkcell müşterilerinin eğitim seviyeleri ile hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişki, operatöre özgü ağırlıklı skor üzerinden değerlendirilecek olursa, eğitim seviyesi yükseldikçe hizmet kalitesi skorunun düştüğü Tablo 10’da görülebilir. Dolayısıyla eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasındaki negatif yönlü bir ilişki vardır. Bununla birlikte, ön lisans seviyesinde eğitime sahip

Turkcell müşterileri ile lisans ve üstü seviyede eğitime sahip Turkcell müşterileri arasında, hizmet kalitesi skoru farklı olsa da bu fark anlamlılık yaratacak bir seviyede değildir. Sonuç olarak, hipotez H2a reddedilmiştir.

Vodafone kullanıcılarının eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişki Tablo 11'den incelenebilir. Aşağıdaki tabloda SERVQUAL ortalamaları görülmektedir.

Tablo 11. Vodafone Müşterileri Eğitim Seviyesi ve Hizmet Kalitesi Skoru İlişkisi

Bağımlı Değişken		Ort. Fark.	p	
SERVQUAL ORTALAMA	İlköğretim	Lise	,37310*	0,038
		Meslek YO.	0,18103	0,597
		Lisans ve üstü	,77693*	0
	Lise	İlköğretim	-,37310*	0,038
		Meslek YO.	-0,19208	0,757
		Lisans ve üstü	,40383*	0,05
	Meslek YO.	İlköğretim	-0,18103	0,597
		Lise	0,19208	0,757
		Lisans ve üstü	,59590*	0,001
	Lisans ve üstü	İlköğretim	-,77693*	0
		Lise	-,40383*	0,05
		Meslek YO.	-,59590*	0,001

Vodafone kullanıcılarında da eğitim seviyesi arttıkça hizmet kalitesi skorları düşmekle birlikte, ön lisans seviyesindeki eğitim kurumlarından mezun olan kullanıcıların hizmet kalitesi skorlarının lise seviyesinden yüksek olduğu görülmektedir. Ortalama hizmet kalitesi skorlarında da ön lisans mezunu müşterilerin, lise mezunu müşterilerinden yüksek hizmet kalitesi skoruna sahip oldukları ilgili alt tablodan incelenebilir. Dolayısıyla, Vodafone operatörü için eğitim seviyesi yükseldikçe, hizmet kalitesi skoru her bir eğitim seviyesi için düşmemekte, ön lisans seviyesinde yükselmektedir. Bu nedenle H2b hipotezi reddedilmiştir.

Türk Telekom kullanıcılarının eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişki Tablo 12'den incelenebilir. Aşağıdaki tabloda SERVQUAL ORTALAMA seviyeleri görülmektedir.

Tablo 12. Türk Telekom Müşterileri Eğitim Seviyesi ve Hizmet Kalitesi Skoru İlişkisi

Bağımlı Değişken		Ort. Fark.	p	
SERVQUAL ORTALAMA	İlköğretim	Lise	0,18021	0,730
		Meslek YO.	0,13920	0,953
		Lisans ve üstü	,66086*	<b>0,000</b>
	Lise	İlköğretim	-0,18021	0,730
		Meslek YO.	-0,04101	1,000
		Lisans ve üstü	,48065*	<b>0,001</b>
	Meslek YO.	İlköğretim	-0,13920	0,953
		Lise	0,04101	1,000
		Lisans ve üstü	,52166*	<b>0,009</b>
	Lisans ve üstü	İlköğretim	-,66086*	<b>0,000</b>
		Lise	-,48065*	<b>0,001</b>
		Meslek YO.	-,52166*	<b>0,009</b>

Türk Telekom müşterilerinin eğitim seviyeleri ve hizmet kalitesi skorları arasındaki ilişki incelendiğinde, bir istisna haricinde eğitim seviyesi yükseldikçe, hizmet kalitesi skorunun düştüğü görülmektedir. Lisans ve üstü seviyesinde eğitim almış müşterilerle, diğer düzeylerde eğitim kurumlarından mezun olmuş müşterilerin hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı farklılıklar bulunmamaktadır. Bununla birlikte, hem ağırlıklı hem de ortalama hizmet kalitesi skorunda ön lisans seviyesindeki müşterilerin, lise seviyesindeki müşterilerden daha yüksek skorlar aldıkları görülmektedir. Hipotez ise eğitim seviyesi arttıkça Türk Telekom müşterilerinin hizmet kalitesi skorlarının düşeceği yönündeydi. Dolayısıyla hipotez H2c reddedilmiştir. Yaş ve hizmet kalitesi arasındaki korelasyona ilişkin analiz, Tablo 13'te gösterilmektedir. Anlamlı ilişkiler italik ve kalın punto ile vurgulanmıştır.

Tablo 13. Yaş ve Hizmet Kalitesi Skoru İlişkisi Korelasyon Analizi

	Yaş	SQ-F	SQ-G	SQ-H	SQ-GV	SQ-E	SQ-O	
TURKCELL	Pearson	1	0,044	0,018	-0,051	-0,055	0,075	0,005

	Correlation							
	Sig. (2-tailed)		0,615	0,837	0,557	0,532	0,393	0,956
	N	134	133	133	133	133	133	133
VODAFONE	Pearson Correlation	1	,280**	,223**	,298**	,198*	,267**	,303**
	Sig. (2-tailed)		0,001	0,008	0,000	0,019	0,001	0,000
	N	141	140	140	140	140	140	140
TURK TELEKOM	Pearson Correlation	1	,286**	0,027	0,118	0,005	0,009	0,100
	Sig. (2-tailed)		0,000	0,689	0,081	0,942	0,898	0,142
	N	220	219	219	219	219	219	219

Tablo 13 incelendiğinde, Turkcell ve Türk Telekom müşterilerinin ortalama/ağırlıklı hizmet kalitesi skorları ile yaşları arasında herhangi bir korelasyon görülmektedir. Vodafone müşterilerinde ise yaş ve hizmet kalitesi skoru arasında pozitif ve düşük yoğunluklu bir ilişki görülmektedir. Yani Vodafone müşterilerinde yaş yükseldikçe, hizmet kalitesi skoru yükselmektedir. Ayrıca Vodafone müşterilerinde yaş yükseldikçe, SERVQUAL ölçeğinin tüm alt boyutları için de skor yükselmektedir. Türk Telekom müşterilerinde ölçeğin fiziksel boyutu (SQ-F) için yaş ve hizmet kalitesi skoru arasında pozitif yönlü zayıf bir ilişki gözlemlense de, ölçeğin geneli için böyle bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir. Sonuç olarak hipotezler H3a ve H3c reddedilmiş, H3b ise kabul edilmiştir.

Tablo 14. Cinsiyet – Hizmet Kalitesi Skoru (t-testi)

Operatör	Cinsiyet	n	Ort	p	
Turkcell	SERVQUAL Ortalama	Erkek	99	-0,3815	0,899
		Kadın	34	-0,3653	
Vodafone	SERVQUAL Ortalama	Erkek	88	-0,3882	0,585
		Kadın	52	-0,4592	
Türk Telekom	SERVQUAL Ortalama	Erkek	142	-0,5463	0,474
		Kadın	77	-0,4639	

Turkcell müşterilerinin cinsiyetleri ve hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Sonuç olarak H4a reddedilmiştir. Bağımsız örneklem t-testi sonuçlarına göre, Vodafone müşterilerinin cinsiyetleri ve hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı bir ilişki yoktur. Sonuç olarak H4b reddedilmiştir. Türk Telekom müşterilerinin cinsiyet-hizmet kalitesi skorlarında, cinsiyet ve kalite skoru arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülecektir. Dolayısıyla Türk Telekom müşterilerinin hizmet kalitesi skorları ve cinsiyetleri arasında anlamlı bir ilişkiden söz etmek mümkün değildir. H4c reddedilmiştir.

Tablo 15. Hizmet Kalitesi – Müşteri Memnuniyeti İlişkisi (Korelasyon Analizi)

		MEMN	SQF	SQ-G	SQ-H	SQ-GV	SQ-E	SQ-O	
MEMNUNİYET	TURKCELL	Pearson	1	,234**	,347**	,367**	,434**	,349**	,441**
		Sig. (2-tailed)		0,007	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		N	133	133	133	133	133	133	133
	VODAFONE	Pearson	1	,177*	,240**	,190*	,213*	,203*	,244**
		Sig. (2-tailed)		0,037	0,004	0,024	0,012	0,016	0,004
		N	140	140	140	140	140	140	140
	T. TELEKOM	Pearson	1	,339**	,514**	,540**	,536**	,535**	,589**
		Sig. (2-tailed)		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
		N	220	219	219	219	219	219	219

Tablo 15'teki sonuçlara göre H5a, H5b ve H5c hipotezleri kabul edilmiştir. Bununla birlikte, hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti arasındaki pozitif yönlü ilişki, en güçlü olarak Türk Telekom operatöründe görülmektedir. Yani Türk Telekom müşterilerinin hizmet kaliteleri yükseldikçe, müşteri memnuniyetleri diğer iki operatöre göre daha fazla artmaktadır.

Tablo 16. Hipotezlerin Kabul/Red Durumları

No	Hipotez	Kabul - Red
----	---------	-------------

H1:	GSM operatörlerinin hizmet kalitesi skorları (beklenen kalite – algılanan kalite) arasında anlamlı farklılık vardır.	R
H2a:	Turkcell müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.	R
H2b:	Vodafone müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.	R
H2c:	Türk Telekom müşterilerinin eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skoru arasında ters yönlü bir ilişki vardır.	R
H3a:	Turkcell müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.	R
H3b:	Vodafone müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.	K
H3c:	Türk Telekom müşterilerinin yaşları ve hizmet kalitesi skoru arasında ters ilişki vardır.	R
H4a:	Turkcell müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.	R
H4b:	Vodafone müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.	R
H4c:	Türk Telekom müşterilerinin cinsiyetleri ile hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı ilişki vardır.	R
H5a:	Turkcell müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.	K
H5b:	Vodafone müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.	K
H5c:	Türk Telekom müşterilerinin hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında anlamlı ilişki vardır.	K

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada, rekabetin oldukça şiddetli olduğu bir oligopol piyasa olarak yorumlayabileceğimiz GSM telekomünikasyon piyasasındaki operatörlere ilişkin olarak hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti odaklı bir araştırma yürütülmüştür. Türkiye'deki GSM telekomünikasyon sektörü, ülkenin genç nüfusu, teknolojiye olan ilgisi, sektör oyuncularının köklü geçmişleri ve finansal büyüklükleri de göz önüne alınırsa, pek çok gelişmekte olan ülkeye kıyasla dinamik ve önemli bir sektör olarak göze çarpmaktadır. Hizmet kalitesinin ölçümü ile ilgili olarak mevcut pazarlama literatüründeki çalışmalara atıfla, bu çalışmada Türkiye'deki GSM operatörlerinin hizmet kalitelerinin cinsiyet, yaş, eğitim seviyesi gibi demografik faktörlerle ilişkisi irdelenmiş, operatörlerin hizmet kalitesi skorlarının anlamlı bir farklılık içerip içermediği araştırma konusu edilmiştir. Ayrıca, operatörlerin hizmet kalitesi skorları ile müşteri memnuniyeti arasındaki ilişki de araştırma gündemine girmiş, korelasyon analizi vasıtası ile her bir için bu ilişki raporlanmıştır.

Araştırma sonuçlarına göre operatörlerin hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı bir farklılık tespit edilememiştir. Bu bulgu, Turkcell, Türk Telekom ya da Vodafonenin örneklem grubunda rakiplerine kıyasla gözle görülür bir kalite algısı yaratamadığı şeklinde yorumlanabilir. Eğitim seviyesi ve hizmet kalitesi skorları arasında da anlamlı bir ilişki tespit edilememiştir. Örneklem grubunun kalite skorları ile eğitim seviyesi arasında genel olarak negatif yönlü bir ilişki tespit edilmişse de, çeşitli eğitim seviyeleri arasındaki istisnai durumlar, hipotezlerin reddini gerektirmiştir. Dolayısıyla tüm operatörlerde eğitim seviyesi ile hizmet kalitesi skoru arasında negatif yönlü bir ilişkinin varlığından kesin olarak söz edebilmek mümkün değildir. Yine de, özellikle ortaokul ve lise seviyesinden mezun olan müşteriler ile, lisans ve üstü seviyelerdeki eğitim kurumlarından mezun olan müşterilerin kalite skorları arasında önemli farklar olduğu bir dipnot olarak belirtilebilir.

Yaş ve hizmet kalitesi arasında anlamlı bir ilişkinin olabileceği de alan araştırmasının hipotezleri arasındadır. Bu hipotez sadece Vodafone operatörü için zayıf ve pozitif yönlü bir ilişki şeklinde doğrulanmıştır. Bir diğer deyişle, hizmet kalitesi skoru Türk Telekom ve Turkcell müşterilerinde yaştan bağımsızdır. Vodafone içinse, müşterilerin yaşı yükseldikçe hizmet kalitesi skoru da yaşla düşük korelasyonlu olarak yükselmektedir. Bir diğer demografik unsur olan cinsiyet ile hizmet kalitesi skoru arasındaki ilişki, hiçbir operatör için doğrulanmamıştır. Dolayısıyla, müşterilerin cinsiyeti ile hizmet kalitesi skoru arasında anlamlı bir ilişki olmadığı söylenebilir. Erkek ve kadın müşterilerin hizmet kalitesi skorları arasında anlamlı farklılıklar yoktur.

Son olarak, mevcut rekabet ve pazarlama literatürüne atıfla, operatörlerin hizmet kalitesi skorları ile müşteri memnuniyeti arasındaki ilişki irdelenmiştir. Her bir operatör için kurulan hipotezler, hizmet kalitesi ile müşteri memnuniyeti arasında pozitif bir ilişki olacağı yönündedir. Bir diğer deyişle, hizmet kalitesi skoru arttıkça, müşteri memnuniyeti de yükselecektir. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda, tüm operatörlerde hizmet kalitesi skoru ile müşteri memnuniyeti arasında pozitif yönlü bir ilişki gözlenmiş ve hipotezler doğrulanmıştır. Bununla birlikte, Türk Telekom için hizmet kalitesi ve müşteri memnuniyeti arasındaki ilişkinin diğer operatörlerden daha fazla olduğu görülmüştür. Vodafone operatörününse, aynı düzeyde müşteri memnuniyeti arttırabilmek için hizmet kalitesini diğer iki operatöre göre daha fazla arttırması gerektiği bulgusuna ulaşılmıştır.

Araştırma, teorik ve nicel yönüyle sektöre ve sektör oyuncularına önemli veriler sağlayabileceği gibi, bulguları itibarıyla pazarlama, hizmet pazarlaması ve hizmet kalitesi gibi konu başlıklarında akademik olarak da yorumlanabilecek ve mevcut literatür ile karşılaştırılabilecek bulgular ihtiva etmektedir. Araştırma bulgularının örneklem büyüklüğü açısından ve tek bir coğrafi bölgede (Kayseri) geçerli olması yönünden sınırlılıklar içerdiği şüphe götürmez bir gerçektir. Bununla birlikte, bulguların GSM sektörü ve hizmet kalitesi odaklı diğer çalışmalar için bir karşılaştırma verisi olarak kullanılabilirliği söylenebilir.

#### Kaynakça

Aktan İbik, Ö. (2006). *Rekabet ortamında hizmet kalitesinin önemi ve bir havayolu işletmesinde hizmet kalitesinin gerçekleştirilmesine yönelik bir uygulama* (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Altan, M., & Engin, O. (2003). Bir seyahat işletmesinde müşteri memnuniyetinin ölçülmesi. *Sosyal Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 3(6), 84-98.

- Andaleeb, S. S., & Conway, C. (2006). Customer satisfaction in the restaurant industry: an examination of the transaction-specific model. *Journal of services marketing*.
- Ardıç, K., Yüksel, F., & Çevik, O. (2004). Belediyelerde Hizmet Kalitesinin (Vatandaş Tatmininin) Ölçülmesi (Tokat Belediyesi'nde Bir Uygulama). *Çağdaş Yerel Yönetimler*, 13(3), 63-81.
- Atmaca, E., & Keskin, M. (2014). GSM operatörlerine yönelik müşteri memnuniyet araştırması. *Çukurova Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18(1).
- Baştan, S. (2004). Dijital ekonominin iletişim endüstrileri üzerine etkileri, değişen tüketici tercihleri ve yeni bir izleyici kültürünün doğuşu. *Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(1).
- Bilir, A., & Özgen, H. (2010). Katılım Bankalarında Müşteri Memnuniyetinin Belirlenmesi Üzerine Hatay İlinde Bir Araştırma. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(3), 39-62.
- Bostanoğlu, E. (2012). Hizmet sektöründe hizmet kalitesinin SERVQUAL yöntemiyle ölçülmesi ve Samsun İl Özel İdaresi'nde bir uygulama. *Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, Samsun*.
- Brown, S. W., & Swartz, T. A. (1989). A gap analysis of professional service quality. *Journal of marketing*, 53(2), 92-98.
- Broderick, A. J., & Vachirapornpuk, S. (2008). İnternet bankacılığında hizmet kalitesi: müşteri rolünün önemi. *CÜ İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 9(1), 131-147.
- Brown, S. W., & Swartz, T. A. (1989). A gap analysis of professional service quality. *Journal of marketing*, 53(2), 92-98.
- Canbolat, C. (2002). Hizmet sektöründe kalite ve hizmet kalitesi ölçümüne yönelik bir uygulama. *Basılmamış Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara*.
- Cengiz, E., & Kırkbir, F. (2007). Kâr Amacı Gütmeyen Kurumlarda Müşteri Memnuniyeti Ve Hizmet Kalitesi İlişkisi: Karadeniz Bölgesi Örneği. *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 21(1), 263-285.
- Chen, L. K., & Yang, W. N. (2015). Perceived service quality discrepancies between telecommunication service provider and customer. *Computer Standards & Interfaces*, 41, 85-97.
- Christia, J., & Ard, A. (2016). The influence of demographic characteristics on service quality perceptions. *Journal of Marketing Management*, 4(2), 57-62.
- Clark, M. A., & Wood, R. C. (1998). Consumer loyalty in the restaurant industry-a preliminary exploration of the issues. *International Journal of Contemporary Hospitality Management*.
- Chow, J. C., & Watson, J. G. (2008). New directions: Beyond compliance air quality measurements. *Atmospheric Environment*, 42, 5166-5168.
- Dalgıç, A. (2013). *Hizmet sektöründe hizmet kalitesinin ölçümü ve hizmet kalitesini etkileyen faktörler: Antalya'da hizmet kalitesi ölçümüne yönelik bir uygulama* (Master's thesis, Adnan Menderes Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Erdem, H. A. (2011). Yeni medya hizmetleri ve düzenlemeleri. *RTÜK Uzmanlık Tezi, Ankara*.
- Giray, F. (2007). Telekomünikasyon Sektöründe Liberalizasyon ve Türkiye'deki Durum. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, Ekim.
- GÜRBÜZ, E. (2005). Devlet Ve Özel İlköğretim Okullarında Hizmet Kalitesinin Karşılaştırılmasına İlişkin Bir Araştırma. *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 97-119.
- Gronroos, C. (1984). A service quality model and its marketing implications.
- Hacıefendioğlu, Ş., & Koç, Ü. (2009). Hizmet kalitesi algılamalarının müşteri bağlılığına etkisi ve fast-food sektöründe bir araştırma. *Kocaeli Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (18), 146-167.
- Hotamışlı, M., & Eleren, A. (2012). GSM operatörlerinde hizmet kalitesinin SERVQUAL ölçeği ile ölçülmesi: Afyonkarahisar örneği. *Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi*, 7(13), 221-238.
- Işık, O. (2005). Hacettepe üniversitesi ihsan doğramacı çocuk hastanesi'nde çalışan doktorların hastanenin kalitesi hakkındaki değerlendirmeleri. *Unpublished master's thesis, Hacettepe University, Ankara*.
- İslamoğlu, A. H., Candan, B., Hacıefendioğlu, Ş., & Aydın, K. (2006). Hizmet Pazarlaması. *Baskı, Beta Yayınları, İstanbul*.
- Karahan, K. (2010). Hizmet pazarlaması (1. baskı). İstanbul: *Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.*
- Karakaya, K. (2009). Konaklama Hizmetlerinde Hizmet Kalitesinin Ölçümü Üzerine Bir Uygulama. *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Niğde Comment Cards and DINESERV, Journal of Foodservice Business Research*, 14, 20-32.
- Kekeç, D. (2008). Hizmet kalitesi ölçümünde serviquel ölçeği ve otelcilik sektöründe bir uygulama.
- Lehtinen, U., & Lehtinen, J. R. (1991). Two approaches to service quality dimensions. *Service Industries Journal*, 11(3), 287-303.



- Marković, S., Raspor, S., & Šegarić, K. (2010). Does restaurant performance meet customers' expectations? An assessment of restaurant service quality using a modified DINESERV approach. *Tourism and Hospitality Management*, 16(2), 181-195.
- Min, S., & Khoon, C. C. (2013). Demographic factors in the evaluation of service quality in higher education: International students' perspective. *International Review of Management and Business Research*, 2(4), 994.
- Mohammad, G. T. (2007). Sağlık Hizmetlerinde Kalite Yönetimi, Servqual Analiz ile Değerlendirilmesi ve Ankara Ulus Devlet Hastanesinde Uygulama. *Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı Hastane İşletmeciliği Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara*.
- Önüt, S., Akbaş, S., & Yılmaz, G. (2008). The comparison of service quality of domestic airlines in Turkey. *Sigma*, 25(4), 349-358.
- Ozguven, N. (2008). Hizmet Pazarlamasında Musteri Memnuniyeti ve Ulaştırma Sektörü Üzerinde Bir Uygulama. *Ege Academic Review*, 8(2), 652-682.
- Özatkan, Y. (2008). Hastane işletmelerinde hizmet kalitesinin ölçülmesi ve bir üniversite hastanesi örneği. *Gazi Üniversitesi SBE, İşletme Anabilim Dalı, Hastane İşletmeciliği, YYLT, Ankara*.
- Öztürk, Y. Seyhan. K.(2005).“Konaklama İşletmelerinde Sunulan Hizmet Kalitesinin Artırılmasında İşgören Eğitiminin Yeri ve Önemi”, *Ticaret ve Turizm Eğitim Fakültesi Dergisi*, 1, 121-140.
- Parasuraman, A., Zeithaml, V. A., & Berry, L. L. (1985). A conceptual model of service quality and its implications for future research. *Journal of marketing*, 49(4), 41-50.
- Parasuraman, A., Berry, L. L., & Zeithaml, V. A. (1991). Perceived service quality as a customer-based performance measure: An empirical examination of organizational barriers using an extended service quality model. *Human resource management*, 30(3), 335-364.
- Sarıışık, M., & Dikkaya, F. (2015). Hizmet kalitesi kapsamında heveslilik boyutuna ilişkin beklenti ve algıların belirlenmesi. *Kastamonu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7(1), 37-51.
- Sasser, W. E., Olsen, R. P., & Wyckoff, D. D. (1978). *Management of service operations: Text, cases, and readings*. Allyn & Bacon.
- Sevimli, S. (2006). *Hizmet sektöründe kalite ve hizmet kalitesi ölçümü üzerine bir uygulama* (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Seyran, C. D. (2004). *Hizmet kalitesi, modeller ve hizmet kalitesine yeni bir bakış açısı*. KalDer.
- Şarbak, M. (2009). *Sağlık müdürlüklerinde hizmet kalitesinin ölçümü: İzmir İl Sağlık Müdürlüğü'nde uygulama* (Doctoral dissertation, DEÜ Sosyal Bilimleri Enstitüsü).
- Tekingündüz, S. (2010). Kamu Hastaneleri Kalite Çalışmalarının Değerlendirilmesi, TC Sağlık Bakanlığı Tedavi Hizmetleri Genel Müdürlüğü, II. *Uluslararası Sağlıkta Performans ve Kalite Kongresi Bildiriler Kitabı*, 1, 541-548.
- Townsend, P., & Gebhardt, J. (1988). The Policy is Still Quality. *Best's Review*.
- Uyguç, N. (1998). *Hizmet sektöründe kalite yönetimi: Stratejik bir yaklaşım*. Dokuz Eylül Yayınları.
- Wang, G., Yang, J., Park, J., Gou, X., Wang, B., Liu, H., & Yao, J. (2008). Facile synthesis and characterization of graphene nanosheets. *The Journal of Physical Chemistry C*, 112(22), 8192-8195.
- Yazıcıoğlu, Y., & Erdoğan, S. (2004). SPSS uygulamalı bilimsel araştırma yöntemleri. *Detay Yayıncılık, Ankara*, (s 53).
- Yıldız, G. (2009). Hizmet Sektöründe SERVQUAL Ölçeği ile Toplam Hizmet Kalitesinin Ölçümü ve Emniyet Genel Müdürlüğü'nde Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya*.
- Yılmaz, V., Çelik, H. E., & Depren, B. (2007). Devlet ve özel sektör bankalarındaki hizmet kalitesinin karşılaştırılması: Eskişehir örneği.



# Characteristic Behavioral Analysis of Malware: A Case study of Cryptowall Ransomware\*

İlker Kara<sup>1\*\*</sup>, Murat Aydos<sup>2</sup>, Ahmet Selman Bozkır<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Dept. of Medical Services and Techniques, Eldivan Medical Services Vocational School Çankırı, Karetekin University, Turkey (ORCID: 0000-0003-3700-4825)

<sup>2</sup> Hacettepe University, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0002-7570-9204)

<sup>3</sup> Hacettepe University, Department of Computer Engineering, Ankara, Turkey (ORCID: 0000-0003-4305-7800)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf63)

**ATIF/REFERENCE:** Kara, İ., Aydos, M. & Bozkır, A. S. (2020). Characteristic Behavioral Analysis of Malware: A Case study of Cryptowall Ransomware. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 486-493.

## Abstract

CryptoWalls ranks first among the Ransomware in terms of its design, objectives, and damages. Cybercriminals use CryptoWalls in a wide range of applications, from cross-country cyberterrorism to demanding ransom from an ordinary Internet user. Despite all the measures taken, an effective protection against CryptoWalls has still not been developed. This motivates cyber criminals, and new versions of updated CryptoWalls are released every day, becoming a more difficult problem to be solved. Current research studies discuss the general characteristics and consequences of CryptoWalls. How do CryptoWalls work? How the CryptoWall detection and technical analysis are done? Detailed studies on the answers to these questions will contribute to solving this problem. This study discusses detailed analysis of CryptoWall detection on a real victim's computer, targeted by the CryptoWall attack of cybercriminals. The study is of importance since it addresses how the CryptoWall attack infiltrates the target system, shows the analysis steps of its characteristic actions, and identifies the originating company of the CryptoWall malware.

**Keywords:** Cybercriminal, Malware Analysis, CryptoWalls.

## Zararlı Yazılımların Karakteristik Analizi: Cryptowall Fidyeye Yazılım Analizi

### Öz

CryptoWall'lar tasarımı, amaçları ve verdiği zararlar açısından Ransomware'lar içerisinde ilk sıralarda yer almaktadır. Siber suçlular ülkeler arası siber terörizmden sıradan bir internet kullanıcıdan fidye istemeye kadar geniş bir uygulama alanında CryptoWall'ları kullanmaktadır. Alınan tüm tedbirlere rağmen CryptoWall'ları ile etkin bir mücadele hala geliştirilememiştir. Bu durum siber suçluların iştahını kabartmakta ve her geçen gün yeni sürümler ile CryptoWall'lar güncellenerek piyasaya sürülmekte, çözülmesi daha zor bir problem haline gelmektedir. Mevcut araştırma çalışmaları CryptoWall'ların genel özellikleri ve sonuçlarını tartışmaktadır. CryptoWall'lar nasıl çalışır? CryptoWall tespiti ve teknik analizi nasıl yapılır? Bu soruların cevapları hakkında detaylı çalışmalar yapılması bu problemin çözülmesine katkı sağlayacaktır. Bu çalışma, siber suçluların CryptoWall saldırısıyla hedef aldığı gerçek bir kurbanın bilgisayarında CryptoWall'un tespiti ve analizi detaylı incelemesi üzerinedir. Çalışma, CryptoWall saldırısının hedef sisteme nasıl sızdığını, karakteristik hareketlerinin analiz aşamalarının göstermesi ve CryptoWall zararlı yazılımının üretici firmasının tespit edilmesini içermesinden dolayı önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Siber Suçlar, Zararlı Yazılım Analizi, CryptoWalls.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

\*\* Corresponding Author: Dept. of Medical Services and Techniques, Eldivan Medical Services Vocational School Çankırı, Karetekin University, Turkey, ORCID: 0000-0003-3700-4825, [karaikab@gmail.com](mailto:karaikab@gmail.com)

## **1. Introduction**

Recently, all the world witness the increasing number of victims, who have been exposed to cyberattacks while opening fake emails or visiting unsafe websites [1-6]. This threat is widespread from commercial enterprises to individual Internet users. This type of malware is known as Ransomware. Today, new types of Ransomware are quite advanced compared to their initial versions [7,8]. A Ransomware that infiltrates the target system can cause severe damage and even make the system unusable [9-11]. Ransomware is a malware that prevents access to the files on the infected information systems by encrypting them and requesting ransom from the victims to decrypt the encryption [9,12-13].

Ransomware has been a severe cyber threat for about twenty-five years [14,15]. Ransomware was first seen in 1989 under the name of AIDS Trojan horse [16]. The first modern Ransomware "Trojan.Gpcoder" has been seen in Russia in 2005 [17]. The Trojan.Gpcoder, which was first seen in May 2015, has been easily overcome since it had a simple and easy encryption. In time, improved versions of Ransomware were found to use the user's native language, and even some versions were found to contain voicemails in the user's native language [18]. In 2008, a Trojan.Gpcoder Ransomware called GPcode.AK emerged. It has been found that GPcode.AK uses a 1024-bit RSA key and leaves a text file containing instructions in each subdirectory of encrypted files. GPcode.AK has requested a \$100 payment to decrypt the encrypted files of the victims [17].

Today, cybercriminals have modified Ransomware for different purposes. In addition to a ransom request, they have succeeded in developing Ransomware for the purpose of cyberterrorism and intimidating the political and official authorities through illegal harmful attacks to the computers and databases of official units [9,18]. Cybercriminals can send one or several files of the user back to convince them that they have the files and will give the password [19]. Thus, the victim sees this as a "proof of living cybercriminals" and accepts the payment by believing that the cybercriminals will recover their encrypted files when they send the money requested. "!!! All your files were encrypted by CryptoWall !!!" is a Ransomware that makes all photos, videos, personal information and commercial files on user's computer, network drive, USB drive and Network Attach Storage (NAS) devices encrypted [20].

CryptoWall encrypts the first 1 MB portion of files, as in the case of typical Ransomware. CryptoWall uses AES (Advanced Encryption Standard) encryption standard. This encryption uses a 256-bit standard AES algorithm used to encrypt electronic data [21]. AES encryption is used as the de facto encryption standard in the international arena by the American government. Recently there has been a serious increase in Ransomware attacks. In Europe, especially the CryptoWall Ransomware attacks are seen [22]. CryptoWall, a highly dangerous Ransomware type, increases the likelihood of paying a ransom, making it easier for cybercriminals to get "money", which is what they really want [19,23].

### **1.1. How Do Cryptowalls Spread?**

Cryptowalls are rapidly spreading all over the world by attacking all Internet users. The most commonly used infiltration medium for spreading Cryptowalls is e-mailing with phishing tactics containing harmful attachments. The message may be localized according to the victims i.e., it may be customized according to the country where the victim is located. For instance, e-mail content for the targeted victims in Turkey seems like overpriced invoices coming from Turkish telecommunication companies.

The location of the potential victim can be identified using the country domain of the victim's e-mail address or the service provider hosting the domain. If the victim, tricked via social engineering, opens the e-mail attachment, which has not been detected by the antivirus program of the system, all important files in the system are encrypted. When the encryption process is over, a warning is shown to the victim, indicating that he/she must send money to recover his/her files.

### **1.2. Cryptowall Prevention And Protection**

Files encrypted by Cryptowall are regarded as damaged beyond repair. Recommended measures to be taken against potential Cryptowall attacks are as follows:

- i. The only and best solution to make CryptoWall malware ineffective is having regular backups.
- ii. Cryptowall Ransomware often comes with a file with .pdf or .exe extension. This incident is based on the fact that the Windows operating system hides known file extensions by default. Enabling the view of full file extensions on the system will make it easier to detect suspicious files.
- iii. If your e-mail program is capable of filtering by file extension, filter out the emails with attachments with .exe, .scr, .pif, .js file extension and the files with two file extensions, ending with .exe (executable files).
- iv. Users should be informed about not to open suspicious e-mail attachments coming from addresses that they do not know, not to click on suspicious links, and their awareness should be increased in this regard.
- v. Ransomware can silently infiltrate systems that use out-of-date software.
- vi. A remarkable feature of Cryptowalls is that they run the executable in the AppData or Local AppData folder. These folders can be blocked in Windows operating system or using intrusion protection systems.
- vii. Cryptowalls often target the systems that use Remote Desktop Protocol (RDP) to remotely connect to systems with a Windows operating system. Cybercriminals are known to log on to the target system with RDP and disable security software. Therefore, disabling remote access would be an effective method.

### 1.3. What Can Be Done After A Cryptowall Attack?

If the targeted system has a Windows operating system and System Restore is enabled, encrypted files can be recovered from "Shadow" files using the "Windows Shadow Volume Copies". However, CryptoWalls can quickly consider these possibilities and produce solutions. The new generation of CryptoWall can also delete these shadow file copies and prevent files from being recovered. CryptoWalls start the process of deleting the shadow files by running as a standard Windows Operating System process on boot, and completes the process of deleting files without being noticed by users or system administrators.

Antivirus and Antimalware programs can remove the malware in a system that has been exposed to a CryptoWall attack. However, the main problem here is to provide access to encrypted files. Even if the CryptoWall is removed by Antivirus and Antimalware programs, the files remain encrypted. Therefore, in a system that has been exposed to the CryptoWall attack, recovering the files should be the priority, not removing the CryptoWall Ransomware.

In order to develop an effective solution against CryptoWalls, one should begin with a detailed description of the threat. When we look at the related studies, we see that general features and consequences of CryptoWalls are discussed in general, but there is no empirical study about the methods used in the hacking victim's computer and the encryption process.

In this study, detection of the new generation CryptoWall Ransomware, its intrusion and cryptographic behavior were examined in detail by static and dynamic analysis methods. As a result of the investigations, the company that spreads the CryptoWall Ransomware has been identified, which has caused many Internet users to suffer.

## 2. Materials and Methods

As is known, there is no standard method for malware analyses. However, we first performed static analysis without running the malware. Secondly, we have performed a dynamic analysis in which its actions (file-directory movements) were examined by running the malware in a controlled environment. Finally, the code analysis, we have performed and architectural analysis of the malware.

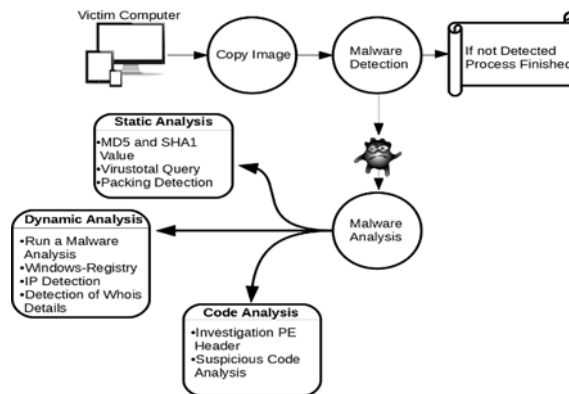


Figure 1. Malware analysis algorithm [24].

### 2.1.1. Experiments And Results

In order to analyze the victim computer infiltrated with CryptoWall Ransomware, which is the subject of this study, the disk of the victim computer was copied in accordance with international standards by enabling write protection on the original disk for ensuring the data integrity. The copies of the files were analyzed on a virtual machine (virtual PC) installed on a workstation. Since the CryptoWall Ransomware would quickly attack against user data upon running it, we run it in a workstation that has been set to virtual machine mode. Characteristic behavior analysis of CryptoWall ransomware was performed through the "AccessData Forensic Toolkit v6.2.1.10" software. We presented the information about the static analysis on the CryptoWall Ransomware in Table 1 and Table 2.

Table 1. Device Information

Process Name	File Information.
	Properties
Description	Physical Disk, 976.773.168 Sectors 465,8 GB
Total Size	500.107.862.016 Bytes (465,8 GB)
Total Sectors	976.773.168
Acquisition MD5	d81bbd39ff5a57888250f44ca17c1cc4
Verification MD5	d81bbd39ff5a57888250f44ca17c1cc4
Acquisition SHA1	a5b0c73498543a063cd16051b47e5b526
Verification SHA1	a5b0c73498543a063cd16051b47e5b526
Description	Physical Disk, 976.773.168 Sectors 465,8GB



Table 2. Windows OS Information

Process Name	File Information.
	Properties
Product Name	Microsoft Windows XP
Registered Owner	BXX
System Root	C:\Windows\
Product ID	55896-640-3868325-XXXX
Current Version	5.1
CSD Version	Service Pack 3
Install Date	20.07.2012 08:04:09 UTC
Last Shutdown Time	30.11.2015 11:43:23 UTC

As a result of the analysis conducted in line with the international standards on IT practices, first the files encrypted by CryptoWall Ransomware were detected, and all documents, IP logs, Operating System services and logs were analyzed. In the first examinations, CryptoWall Ransomware was found to be in the "HELP\_YOUR\_FILES.HTML" file located under the directory "IMAGE.001/Partition1/NONAME[NTFS]/[root]/Documents and Settings/Administrator/Desktop/".

Name	Created
uh237un8.17	30.11.2015 08:04:28 (2015-11-30 06:04:28 UTC)
o35ec9j13.dw3	30.11.2015 08:04:28 (2015-11-30 06:04:28 UTC)
c9j9v.rxg4g	30.11.2015 08:04:27 (2015-11-30 06:04:27 UTC)
9rw45g76dt.kg264	30.11.2015 08:04:27 (2015-11-30 06:04:27 UTC)
43ca094rf.0m	30.11.2015 08:04:27 (2015-11-30 06:04:27 UTC)
wtsvha8f.zj	30.11.2015 08:04:27 (2015-11-30 06:04:27 UTC)
uka89q5y.8h5	30.11.2015 08:04:27 (2015-11-30 06:04:27 UTC)
k4p69.w024	30.11.2015 08:04:26 (2015-11-30 06:04:26 UTC)
ai9gld3e.apj6	30.11.2015 08:04:26 (2015-11-30 06:04:26 UTC)
obazkje3a.7h84	30.11.2015 08:04:26 (2015-11-30 06:04:26 UTC)
n9ubz.y0z	30.11.2015 08:04:26 (2015-11-30 06:04:26 UTC)
585sr.xgp31	30.11.2015 08:04:26 (2015-11-30 06:04:26 UTC)
904zm.g1c9	30.11.2015 08:04:25 (2015-11-30 06:04:25 UTC)
652f6.3gs	30.11.2015 08:04:25 (2015-11-30 06:04:25 UTC)
rj76fb.5.4zs	30.11.2015 08:04:25 (2015-11-30 06:04:25 UTC)
g6o159.y633	30.11.2015 08:04:24 (2015-11-30 06:04:24 UTC)
8q1959m2.x9	30.11.2015 08:04:24 (2015-11-30 06:04:24 UTC)
781f9zvw.j2vv4	30.11.2015 08:04:24 (2015-11-30 06:04:24 UTC)
ivxvluq0.5vm	30.11.2015 08:04:23 (2015-11-30 06:04:23 UTC)
uesh81e8.y6	30.11.2015 08:04:23 (2015-11-30 06:04:23 UTC)
p1pm.l1.q3f3	30.11.2015 08:04:23 (2015-11-30 06:04:23 UTC)
o4km7880.c4	30.11.2015 08:04:22 (2015-11-30 06:04:22 UTC)
h6a05m.9r7	30.11.2015 08:04:22 (2015-11-30 06:04:22 UTC)
jqjncp7mbs.jmmx7	30.11.2015 08:04:21 (2015-11-30 06:04:21 UTC)
xs0c3grsuc.6uo8f	30.11.2015 08:04:20 (2015-11-30 06:04:20 UTC)
bceyg3i.t4qr	30.11.2015 08:04:19 (2015-11-30 06:04:19 UTC)
xafiv4v.bo3	30.11.2015 08:04:19 (2015-11-30 06:04:19 UTC)

Figure 2. Encrypted Files.

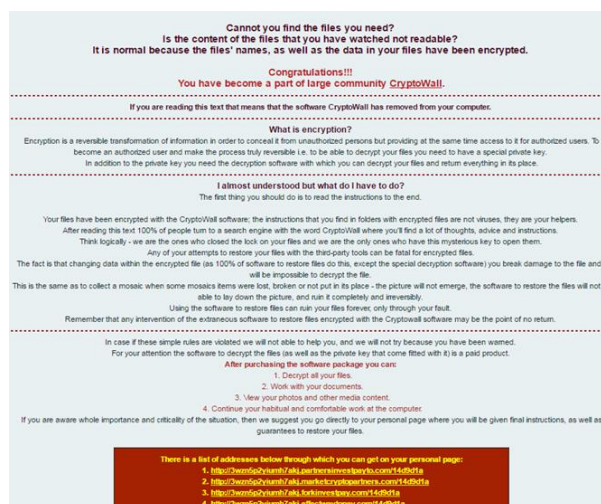


Figure 3. Message Showing That Cryptowall Ransomware Is Present When Executing The Copy.

According to the analysis performed on the copy, the creation date of the files encrypted with CryptoWall Ransomware were found to be 30/11/2015 - 08:04 UTC. The files that have been executed on this date were examined, and the CryptoWall Ransomware software was found to be located under the "IMAGE.001/Partition 1/NONAME [NTFS]/[root]/Documents and Settings/Administrator/Local Settings/Temp/" directory with the deleted filename of "88656522.exe".



Table 3. The Technical Information Of The Encrypted File In The Victim Computer Is Presented Below.

Process Name	File Information.
	Properties
File name	HELP_YOUR_FILES.HTML
Creating Time	30.11.2015 08:51:42 (2015-11-30 08:04)
Access Time	30.11.2015 14:42:22 (2015-11-30 08:04)
Replacement Time	30.11.2015 08:51:42 (2015-11-30 08:04)
File Size (Byte)	25.548 bytes (24,95 KB)
MD5 Hash Value	6af767f18f886bcdbf0785006f1e5074
File Path	IMAGE.001/Partition1/NONAME [NTFS]/[root]/Documentsand Settings/Administrator/Desktop/
File name	HELP_YOUR_FILES.HTML

Technical information of "88656522.exe" is as follows. The MD5 hash value of the malware was queried via the website "www.virustotal.com" and it was found out which antivirus companies identify the malware detected (Table 4).

Table 4. Static Analysis Results Of "88656522.Exe" Malware Via www.virustotal.com website.

Analysis	53 engines detected this file
AVG	🚫 Zbok.AKKK
AVware	🚫 Trojan.Win32ç.Generic!BT
Ad-Aware	🚫 Trojan.GenericKD.2900815
Yandex	🚫 Trojan.Filecoder!2dZC6TdKMg
AhnLab-V3	🚫 Malware/Win32.Generic
Acrabit	🚫 Trojan.Generic.D2C43F
Avast	🚫 Win32:Malware-gen
Avira (no cloud)	🚫 TR/FileCoder.629760.1
Baidu-International	🚫 Trojan.Win32.Filecoder:FJ
BitDefender	🚫 Trojan.GenericKD.2900815
CAT-QuickHeal	🚫 Ransom.Crowti.M5
Cyren	🚫 W32/Filecoder.XMQH-8836
DrWeb	🚫 Trojan.DownLoader17.64698
ESET-NOD32	🚫 Win32/Filecoder.FJ
Emsisoft	🚫 Trojan.GenericKD.2900815 (B)
F-Prot	🚫 W32/Filecoder.AE
F-Secure	🚫 Trojan.GenericKD.2900815
Fortinet	🚫 PossibleThreat.P0
Ikarus	🚫 Trojan.Win32.Deshacop.big

The file-directory and registry logs of the malware named 88656522.exe were analyzed on the copy, and the findings were listed below (Table 5).

After identifying the file-directory and registry logs of the malicious software, which its detailed information is presented in Table 4, the network accesses of the related malware were analyzed by means of the software called "Wireshark" to find the attacker's IP addresses and domain names, as shown in Table 6.

Table 5. File-Directory And Registry Logs Of "85656522.Exe" Malware.

Analysis	Process
	Thread Events
Creates process:	C:\WINDOWS\Temp\88656522.exe ["C:\windows\temp\88656522exe"]
Creates process:	C:\WINDOWS\exploer.exe ["C:\windows.exe"]
Creates process:	C:\WINDOWS\system32\svchost.exe[-k netsvcs]
Creates process:	C:\WINDOWS\system32\vssadmin.exe [vssadmin.exe Delete Shadows /All
Write process:	PID:1404 C:\WINDOWS\explorer.exe
Write process:	PID:1404 C:\WINDOWS\system32\svchost.exe
Terminal process:	C:\WINDOWS\Temp\88656522.exe
Terminal process:	C:\WINDOWS\system32\vssadmin.exe
Creates remote thread:	C:\WINDOWS\exploer.exe
Creates remote thread:	C:\WINDOWS\system32\svchost.exe
Creates process:	C:\WINDOWS\Temp\88656522.exe ["C:\windows\temp\88656522exe"]
Creates process:	C:\WINDOWS\exploer.exe ["C:\windows.exe"]
Creates process:	C:\WINDOWS\system32\svchost.exe[-k netsvcs]
Creates process:	C:\WINDOWS\system32\vssadmin.exe [vssadmin.exe Delete Shadows /All
Write process:	PID:1404 C:\WINDOWS\explorer.exe
Write process:	PID:1404 C:\WINDOWS\system32\svchost.exe
Terminal process:	C:\WINDOWS\Temp\88656522.exe
Terminal process:	C:\WINDOWS\system32\vssadmin.exe
Creates remote thread:	C:\WINDOWS\exploer.exe
Creates remote thread:	C:\WINDOWS\system32\svchost.exe

Since the sample examined was selected from a real cyberattack, the information was blurred (hidden) for privacy purposes. After recording and analyzing the network accesses of the respective malicious software shown in Table 7, it was determined that the malware tries to contact the domain names "astrxxxx.ca, becktonescosxxxx.eu, bloggerrexxxxx.info and chaletlesarmaxxxxx.com", without IP addresses associated with the domain names.

In order to find out companies that registered the identified domain names, WHOIS queries were performed via the website "http://internet.tib.gov.tr/" and the findings obtained are given below. According to data obtained from WHOIS queries of the identified domain names, the domain names "astrxxxx.ca and ecktonescosxxxx.eu" were found to be registered at "www.godxxx.com" website and "bloggerrexxxxx.info" was found to be registered at the "www.publicdomainregistry.com" website, and the "chaletlesarmaxxxxx.com" was found to be registered at the "www.exxx.com" website. The suspects can be found through international legal assistance with the representatives of the websites identified.

Table 6. IP Logs Of "85656522.Exe" Malware.

Soure	Process	Process
	Destination	Info
10.7X.X.100	8.8.8.8	Standard query 0xcc09 A xnoedge.ca
10.7X.X.100	8.8.8.8	Standard query 0xcc09 A xnoedge.ca
10.7X.X.100	10.74.9.255	Name query NB XNNTROEDGE.
10.7X.X.100	10.74.9.255	Name query NB XNNROEDGE.
10.7X.X.100	8.8.8.8	Standard query 0xeb4c A bxxktyyescorts4u.eu

The contact information of the websites identified were searched, but the respective websites were found to hide the contact information, and only the website of www.publicdomainregistry.com was found to have a contact form for communication.

### 3. Conclusion

The volume, variety and speed of cyberattacks are increasing. Attacks of cybercriminals began to affect people and institutions much more deeply in the world increasingly digitalized with new technologies and devices. In these attacks, cybercriminals seem to focus on money theft mostly. Ransomware developed for this purpose forces the victims to pay a ransom by using online payment methods to allow access to their files or to retrieve their data after encrypting their files. The Ransomware coded for this purpose has been constantly updated, and became a problem impossible to solve. It is important for Internet users to know the functions of the Ransomware and the great threat they create and the best practices to be protected against them. Despite the fact that commercial enterprises are invested in billions of dollars in cybersecurity to be protected against these dangers, the success of the measures is still in debate. How can individual Internet users protect themselves if commercial firms are hardly protected from this threat? Therefore, it is necessary to determine how, where, when and why a threat occurs.

This study addresses the detection and analysis of CryptoWall attack, which is one of the new generation Ransomware, in detail. It was suggested that studies conducted on this subject should address the technical analysis dimension as well. After evaluating the file-directory and registry logs of the detected CryptoWall Ransomware, CryptoWall's network accesses were analyzed to find out the IP address and Domain information of the attacker, and the DNS records of the attacker were identified. Company records and contact information have been identified through a WHOIS query.

We anticipate that our research will have a positive impact not only on the cybersecurity industry but also on future research and on many individual Internet users. Finally, we believe that technical analysis studies are required for different types of Ransomware that have advanced encryption algorithms.

### References

- [1] B. Anderson, D. Quist, J. Neil, C. Storlie, and T. Lane. 2011. Graph-based malware detection using dynamic analysis. *Journal in Computer Virology*, 7(4):247–258.
- [2] T. Hastie, R. Tibshirani, and J. H. Friedman. *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*. Springer, 2009.
- [3] M. Hopkins and A. Dehghantanha, “Exploit kits: The production line of the cybercrime economy?” in 2015 Second International Conference on Information Security and Cyber Forensics (InfoSec). IEEE, nov 2015.
- [4] Scaife, N., Carter, H., Traynor, P., & Butler, K. R. (2016, June). Cryptolock (and drop it): stopping Ransomware attacks on user data. In *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2016 IEEE 36th International Conference on* (pp. 303-312). IEEE.
- [5] Rastogi, V., Chen, Y., & Jiang, X. 2014. Catch Me If You Can: Evaluating Android Anti-Malware Against Transformation Attacks. *IEEE Trans. Information Forensics and Security*, 9(1), 99-108.
- [6] Faruki, P., Bharmal, A., Laxmi, V., Ganmoor, V., Gaur, M. S., Conti, M., & Rajarajan, M. 2015. Android security: a survey of issues, malware penetration, and defenses. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(2), 998-1022.
- [7] K.-K. R. Choo, “The cyber threat landscape: Challenges and future research directions,” *Computers & Security*, vol. 30, no. 8, pp. 719–731, nov 2011.
- [8] J. Walls and K.-K. Choo, 2017. “A study of the effectiveness abs reliability of android free anti-mobile malware apps,” in *Mobile Security and Privacy*. Elsevier, pp. 167–203.
- [9] A. Gazet. Comparative analysis of various Ransomware virii. 2010. *Journal in Computer Virology*, 6(1):77–90.
- [10] A. L. Young. 2006. Cryptoviral extortion using microsoft’s crypto API. *International Journal of Information Security*, 5(2):67–76.
- [11] Scaife, N., Carter, H., Traynor, P., & Butler, K. R. 2016, June. Cryptolock (and drop it): stopping ransomware attacks on user data. In *Distributed Computing Systems (ICDCS), 2016 IEEE 36th International Conference on* (pp. 303-312).
- [12] J. Oberheide, E. Cooke, and F. Jahanian. CloudAV: N-Version antivirus in the network cloud. In *USENIX Security Symposium*, 2008.
- [13] P. Traynor, M. Chien, S. Weaver, B. Hicks, and P. McDaniel. 2008. Noninvasive methods for host certification. *ACM Transactions on Information and System Security*, 11(3).
- [14] J. Z. Kolter and M. A. Maloof. 2006. Learning to detect and classify malicious executables in the wild. *The Journal of Machine Learning Research*, 7:2721–2744.
- [15] V. Chandola, A. Banerjee, and V. Kumar. Anomaly detection: A survey. 2009. *ACM Comput. Surv.*, 41(3).
- [16] H. L. Kevin Savage, Peter Coogan, *The evolution of Ransomware*. Symantec, 2015.
- [17] K. Rieck, P. Trinius, C. Willems, and T. Holz. Automatic analysis of malware behavior using machine learning. Dec. 2011. *J. Comput. Secur.*, 19(4):639–668.
- [18] Richardson, R., & North, M. 2017. Ransomware: Evolution, mitigation and prevention. *International Management Review*, 13(1), 10-21.
- [19] Luo, X., & Liao, Q. 2007. Awareness education as the key to Ransomware prevention. *Information Systems Security*, 16(4), 195-202.
- [20] Symantec, “Internet security threat report,” Symantec, Tech. Rep., apr 2016.
- [21] K. Cabaj and W. Mazurczyk, 2016. “Using software-defined networking for Ransomware mitigation: The case of CryptoWall,” *IEEE Network*, vol. 30, no. 6, pp. 14–20.
- [22] A. Patcha and J.-M. Park. 2007. An overview of anomaly detection techniques: Existing solutions and latest technological trends. *Computer Networks*, 51(12).

- [23] F. Sinitsyn. Teslacrypt 2.0 disguised as cryptowall. <https://securelist.com/blog/research/71371/teslacrypt-2-0-disguised-as-cryptowall/>, 2015.
- [24] Kara, İ., & Aydos, M. (2019). The ghost in the system: technical analysis of remote access trojan. *International Journal on Information Technologies & Security*, 11(1).



## Pet Şişe Şişirme Makinelerinde Fırın Optimizasyonu\*\*

Burcu Bayam<sup>1\*\*</sup>, Zeki Oralhan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Makro Makina, Otomasyon Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0002-7476-6469)

<sup>2</sup> Nuh Naci Yazgan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Bölümü, Kayseri, Türkiye (ORCID: 0000-0003-2841-6115)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf64)

**ATIF/REFERENCE:** Bayam, B., & Oralhan, Z. (2020). Pet Şişe Şişirme Makinelerinde Fırın Optimizasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 494-504.

### Öz

Bu çalışma, Pet Şişe Makinesi üreticilerinin ve son kullanıcılarının bilgilerine danışılarak; Türkiye'de sınırlı sayıda olan Pet Şişe Şişirme makinelerinde yer alan fırınlar üzerine yapılmıştır. Preformun, makineye girmesinden itibaren kendi eksenini etrafında hareket etmesi ile fırın bölümlerinden geçirilerek yeterli ısıya ulaşmasından sonra, şişirme ünitesinde 40 bar yüksek basınçla verilmesiyle şişeler elde edilmektedir. Elde edilen şişelerin kaliteli üretilmesi oldukça önemlidir. Bunun sebebi, Pet Şişe Şişirme makinelerinin devamında, etiketleme, dolum ve paletleme makinelerinin de yer alıyor olmasıdır. Şişelerin kalitesiz olması durumunda hattın tamamı durmaktadır. Şişelerin sağlam olarak üretilmesini sağlamak için, şişenin hammaddesi olan preformların verimli ısıtılmasıdır. Söz konusu çalışma, preformların ısıtılma işlemlerinin daha verimli şekilde uygulanmasını sağlamıştır. Preformun ısıtılma işlemlerinde, fırın bölgesinin optimizasyonu sağlamak için; PLC, HMI, ısı kontrolleri, termal ısı ölçer, termokupl ve termal kamera kullanılmıştır. Termal ısı ölçer, termokupl ve ısı kontrollerinden alınan anlık sıcaklık değerleri, referans olarak PLC'ye işlenmiş olup, HMI üzerinden gerekli ayarlamalar kullanıcıya sunulmuştur. PLC'ye alınan referans değerler Codesys tabanlı yazılımda ST dili kullanılarak geliştirilmiştir. Söz konusu çalışmada panel üzerinden anlık değerler gösterilmiştir. Bu veriler kullanılarak, değişken hava şartlarına karşın Pet Şişe Şişirme Makinelerinde yer alan infrared lambaların ısı optimizasyonu sağlanmıştır. Şişelerin hammaddesi olan preformun, geliştirilmiş yazılımla ısı optimizasyonu sağlanmış fırından aldığı ısılar, termal kamera ile gözlemlenmiş olup; sonuçlar standart sistemde çalışan fırın ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler kapsamında, yazılımın preformu olumlu yönde etkilediği ve değişken iklim şartlarından etkilenmeyen, daha kaliteli, maliyeti azaltan şişelerin çıkmasına etken olduğu gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Isı Optimizasyonu, Pet Şişe Şişirme Makinesi, Preform, Fırın Optimizasyonu, Fırın Kontrolü

## Oven Optimization In Pet Bottle Blow Molding Machines

### Abstract

In this study, we have consulted the information of Pet Bottle Machine manufacturers and end users; Located in a limited number of Pet Bottle Blowing Machines in Turkey has been conducted on ovens. After the preform moves around its axis since it enters the machine and reaches the required heat by passing through the oven sections, bottles are obtained by giving 40 bar high pressure in the blowing unit. The quality of the obtained bottles is very important. The reason for this is that the labeling, filling and palletizing machines are also included in the continuation of Pet Bottle Blowing Machines. If the bottles are of poor quality, the entire line stops. The most important way to ensure that the bottles are produced in a robust manner is the efficient heating of the preforms, the raw material of the bottle. This study provided more efficient application of heat treatments of preforms. In the heat treatment of the preform, to optimize the oven zone; PLC, HMI, temperature controls, thermal heat meter, thermocouple and thermal camera are used.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

\*\* Sorumlu Yazar: Makro Makina, Otomasyon Bölümü, Kayseri, Türkiye



The instantaneous temperature values obtained from the thermal heat meter, thermocupl and temperature controls are processed to the PLC as a reference and necessary adjustments are made available to the user via HMI.

The reference values imported to PLC were developed using ST language in Codesys based software. In this study, instant values are shown on the panel. By using these data, heat optimization of infrared lamps in Pet Bottle Blow Molding Machines despite variable weather conditions is provided.

The heat taken from the oven, the preform which is the raw material of the bottle, which has been optimized by the software, is observed with the thermal camera; The results were compared with the standard oven. In the context of the data obtained, it was observed that the software positively affected the preform and caused the production of bottles of better quality and cost-effective which are not affected by the changing climate conditions.

**Keywords:** Heat Optimization, Pet Bottle Machine, Preform, Oven Optimization, Oven Control

## 1. Giriş

Günlük hayatımızda tüketilen sıvı veya toz ürünlerin paketleme, ambalajlama, depolama ve nakliyesinde genellikle plastik şişe, kutu, kavanoz ve variller kullanılmaktadır. Çeşitli plastik hammaddeleri (PET, PBT, PP, PVC vb.) ısıtıp plastikleştirilen, bunları uygun bir kalıp içerisinde üfleme metoduyla şişirerek içi boş plastik kapları üreten makinelere şişirme makineleri denir (MEB,2012).

Türkiye’de sınırlı sayıda olan Pet Şişe Şişirme makineleri, yurt dışında da sınırlı sayıda üretici firma tarafından yapılmaktadır. Makinalarda, görsel tasarımla birlikte mekanizmalarında da daha ileriye taşıyacak yenilikçi çalışmalar yapıyor olması; hızla ilerleyen teknolojilerin yakından takip ediliyor ve uygulanıyor olması, kullanılan elektronik malzemelerin global markalar olması, günümüz rekabet şartlarında makine üreticileri için en belirgin avantajlardır. Söz konusu çalışma ile Pet Şişirme Makinesi teknolojik olarak geliştirilmiş olacaktır. Mevcuttaki tüm pet şişirme makinelerinde şişenin hammaddesi olan preformun ısıtma işlemleri fırın ünitesinde gerçekleştirilmektedir. Fırın ünitelerinde ise bu ısınmayı sağlayan özel infrared lambalar yer almaktadır. Preforma uygulanacak olan ısıtma işlemlerinin kalitesi; şişenin sağlamlığını artırırken, olası şişe patlama kazalarını, ürün zayi olmasını azaltmaktadır. Bahsedilen ısıtma işlemi ise; operatör tarafından insan gözlemlerine dayanarak yapılırken, değişken hava şartları optimizasyonu son derece olumsuz etkileyebilmektedir. Her şişe makinesi operatörünün gözlemlerinin, doğruluk oranı aynı olamayacağı için böyle bir araştırmaya başvurulmuştur.

Optimizasyon, karmaşıklık içerisinde en uygun çözüme ulaştıran sistemler bütünüdür. Fırın optimizasyonu olan bir sistemle olmayan sistemi karşılaştırılması Tablo 1’ de yer almaktadır.

Tablo 1. Optimizasyon Olan Fırın Ünitesi İle Standart Çalışan Fırın Ünitesinin Karşılaştırılması

Optimizasyon Uygulanan Fırın Ünitesi	Standart Çalışan Fırın Ünitesi
<ul style="list-style-type: none"><li>İklim şartları değişse bile kullanıcının belirtmiş olduğu sıcaklık değerine kendisini sabitler.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>İklim şartlarının değişme durumuna karşı, makine başında sürekli bir operatörünün yer alıp sıcaklık değerlerini değiştirerek ortalama değerini bulması gerekir.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Makine başında sürekli bir operatör beklemesine gerek duyulmaz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Makine başında sürekli bir operatör beklemelidir.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Sıcaklık değerini özel yazılan blok belirler.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Sıcaklık değerini operatör gözlemleri belirler.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Isıyı güzel alan preform çıkma olasılığı çok yüksektir. Böylelikle preformlardan kaliteli şişe elde edilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Isıyı verimli alamayan preform çıkma olasılığı çok yüksektir. Kalitesiz ve hattın işleyini bozan şişeler elde edilmektedir.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Preform zayıtı %1 ‘e kadar düşürülmüştür bu da makine kullanıcısının maliyetine büyük oranda katkı sağlamaktadır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Preform zayıtı yaklaşık %3’ tür. Maliyeti yükseltmektedir.</li></ul>

Literatürde yapılan araştırmalarda pet şişirme makinelerinde fırın optimizasyonu ile ilgili çalışmalara pek rastlanılmamıştır. Avunduk (Avunduk, 2019), pet şişirme makinelerinde yalın altı sigma yöntemi ile iyileştirme süreci, (Brandau, 2019) pet şişe şişirme makinelerinin donanımı, (Büyükyıldız, 2016) plc ile cam temperleme fırını otomasyonunu, (Usalan, 2005) endüstriyel tip fırınlarda PID kontrol üzerine çalışmalarda yer almışlardır.

Söz konusu çalışmada ise; PLC (Programlanabilir Lojik Kontrolör) yazılımının, termal kamera ve özel ısı kontrol cihazları kullanılarak FBD tabanında ST dilinde geliştirilmesi ile, makinenin yer aldığı ülke ve şehir şartlarından bağımsız, kaliteli şişelerin elde edilmesi ve maliyetin düşürülmesine katkı sağlaması hedeflenmektedir. Bu çalışmada ikinci bölümde PLC, programlama dili, kullanılan özel cihazlar ve HMI’ dan bahsedilmiştir. Üçüncü bölümde deneysel çalışma incelenmiş olup, dördüncü bölümde ise sinyal grafikleri ve görsellerle beraber sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

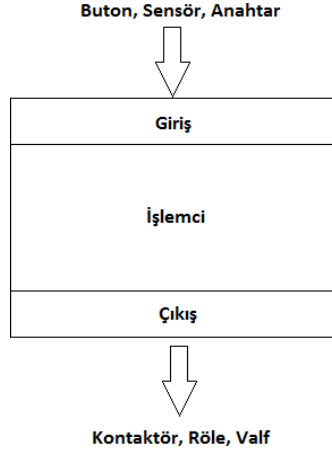
### 2.1. Programlanabilir Lojik Kontrolör (Plc)

Programlanabilir denetleyiciler; probleme bağlı olmaksızın, seri olarak üretilmiş, üniversal kumanda ve kontrol elemanlarıdır (Eason, Noble, ve Sneddon, 1955)

PLC'ler endüstri alanlarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır.

Sayısal prensiplere göre, programlama üzerine yazılan programları gerçekleştiren, sistem ya da sistem gruplarını, giriş ya da çıkış kartlarını denetleyen, içinde barındırdığı zamanlama, sayma, saklama ve aritmetik işlem fonksiyonları ile genel kontrol sağlayan elektronik bir cihazdır (Arslan, 2018).

Şekil 1'deki gibi PLC temel olarak, mikro işlemci yani CPU, sinyallerin işlendiği giriş bölümü ve de kumanda edilecek elemanların bağlandığı çıkış bölümünden oluşmaktadır.



Şekil 1. PLC'nin Yapısı

Çalışmada LENZE L-FORCE CONTROLLER 3231C serisi PLC kullanılmıştır. Cihazın çevrim süresi 1 ms olup, ethernet ve ethercat ile aynı anda senkron çalışma imkanı sağlamıştır. Aynı zamanda codeysy tabanlı olması avantaj sağlamıştır.

Codesys programlama dili sSmart tarafından yazılmış ve 1995 yılında endüstrinin kullanımına sunulmuştur. PLC programlama ve endüstriyel PC sistemlerinde kullanılan yazılım sadece bir markaya ait değildir. Codesys tabanlı olması ile beraber tercih edilen yazılım dili ST(Structured Text) olmuştur. ST, Visualbasic ve C++ dillerinin birleşimi gibidir (Arslan, 2018).

#### 2.1.1. ST (structured text) Kodlama İle Yazılım

PLC programlama kodlarla yapılmaktadır. Kodlama dili program dilinde Visualbasic ve C++dilinin birleşimi gibidir (Arslan, 2018). Şekil 2' de örnek kodlama yer almaktadır.

Örnek Kod:

```
PLC_PRG  POU x
1  PROGRAM POU
2  VAR
3      LAMBA AT %QX0.1:BOOL;
4      SENSOR1 AT %IX2.0:BOOL;
5      ISITMA_AKTIF :BOOL;
6
7  END_VAR
8
9
10 IF SENSOR1=TRUE AND ISITMA_AKTIF=TRUE THEN
11     LAMBA:=TRUE;
12 ELSE
13     LAMBA:=FALSE;
14 END_IF
15
```

Şekil 2. ST Kodlama Örneği

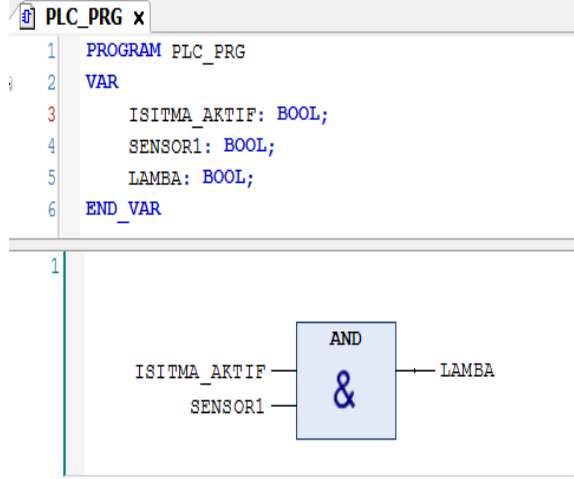
Örnek Kod Açıklaması: Sistemde tag ismi lamba olarak tanımlanan bir dijital çıkış yer almaktadır. Sistemde modülün birinci çıkışına montajı sağlanmış.

Aynı zamanda sensör1 isimli dijital girişin 2. modülünün birinci girişine monte edilmiş sensör yer almaktadır. Çalışma esnasında eğer sensör1 isimli algılayıcı TRUE sinyalinin gönderirse ve ısıtma aktif datası aktif olursa lamba çalışacaktır.

### 2.1.2. FBD (function block diagram) Kodlama İle Yazılım

Genelde kapılar ve blok diyagram mantığı ile yazılan programlama türüdür (Arslan, 2018).

Örnek Kod: ST (structured text) kodlamasında yer alan örneğin FBD dilinde yazılımı şekil 3’ de yer almaktadır.



Şekil 3. FBD Kodlama Örneği

## 2.2. Termal Kamera

Termal kamera, görüntüleme yöntemi olarak gözle görülmeyen IR enerjiyi (ısıyı) esas alan ve görüntünün genel yapısını IR enerjiyi göre oluşmuş renkler ve şekillerin belirlendiği görüntüleme sistemidir (Gülgör, 2004). Termal kameralar; kullanım alanlarına göre farklı çeşitleri olan cihazlardır. Çalışan ve Türkoğlu (Çalışan ve Türkoğlu, 2011), çalışmalarında elektrik, elektromekanik, mekanik ve sağlık gibi farklı alanlarda termal kamera uygulamaları yapmışlardır.

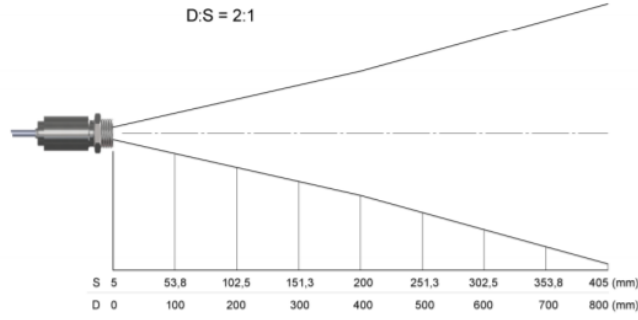


Şekil 4. Sıcaklık Değerlerinin Takibi

Söz konusu çalışmada uzaktan ölçüm yapmamızı sağlayan FLIR marka cihaz kullanılmıştır. Fırın bölgesinde çalışma öncesinde ve sonrasında Şekil 4’ deki gibi sabit bir sıcaklık değeri tespiti yapılmıştır.

## 2.3 Termal Isı Ölçer Sensörler

Termal ısı ölçer sensörler, materyalin belirli bir noktasından okuduğu sıcaklık birimini, mA, mV gibi aralıklarda kullanıcıya çıkış vermeyi sağlayan Şekil 5’ de görülen özel cihazlardır.



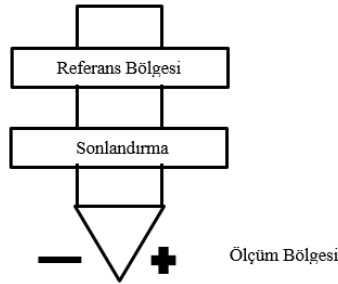
Şekil 5. Termal Analog Isı Ölçer Sensör (Optris, 2015)

Çalışmamız esnasında OPTRIS marka CT LT serisi özel cihaz, fırın çıkışında preformların noktasal ısı ölçümlerinde kullanılmıştır. 4-20 mA aralığında gönderdiği çıkış sinyali, PLC’ de geliştirilmiş olan özel bloğun içerisine işlenmiştir.

## 2.4 Termokupl Sensör

Termokupl, iki farklı alaşımın ucunun kaynaklanması ile oluşan basit bir sıcaklık ölçü elemanıdır (Elimko, 2016).

Kaynak noktası sıcak nokta, diğer açık iki uç soğuk nokta (veya referans noktası) olarak anılır. Termokupl olayı sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Bu sıcaklık farkına orantılı, soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Şekil 6’ da ölçüm bölgesinin şekli gözükmektedir.



Şekil 6. Termokupl Ölçüm Bölgesi

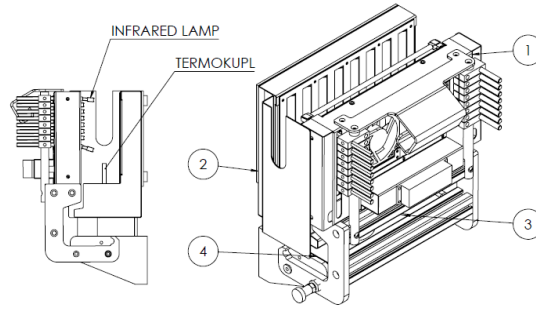
Kullanım alanlarına göre farklı çeşitleri olmakta olup, yapısında kullanılan malzeme türlerine göre çeşitleri bulunmaktadır. Tablo 2’ de yer alan tabloda termocupl çeşitleri yer almaktadır.

Tablo 2. Termokupl Çeşitleri (Jumo, 2008)

Termokupl	Maksimum Sıcaklık	Üst Limit	Pozitif Kenar	Negatif Kenar
Fe-Con	750 °C	1200 °C	Siyah	Beyaz
Cu-Con	350 °C	400 °C	Kahverengi	Beyaz
NiCr-Ni	1200 °C	1370 °C	Yeşil	Beyaz
NiCr-Con	900 °C	1000 °C	Mor	Beyaz
NiCrSi-NiSi	1200 °C	1300 °C	Leylak	Beyaz
Pt10Rh-Pt	1600 °C	1540 °C	Turuncu	Beyaz
Pt13Rh-Pt	1600 °C	1760 °C	Turuncu	Beyaz
Pt30Rh-Pt16Rh	1700 °C	1820 °C	Veri yok	Beyaz

Maksimum sıcaklık belirtilen tolerans için limiti göstermektedir. “üst limit” altındaki değer, termal gerilimin standart belirtmeler ile kapsandığı sıcaklık limitidir. Tablo 2’ de gösterilen termokupllarda ilk kenar her zaman pozitif olandır. Renk kodları termokuplın kendisi ve kompanzasyon kablolarının her ikisi için de geçerlidir (Jumo, 2008).

Fe-Con yapısındaki J tipi termokupl, 0-1200°C aralığında daha doğrusal verilere sahip olması sebebiyle çalışmamızda tercih edilmiştir. Şekil 7’ de fırın içerisinde yerleşim şekli yer almaktadır.



Şekil 7. Termokupl Fırın Yerleşimi

Fırın içerisindeki actual olarak termokupl ile alınan değerler, geliştirilen blok içerisinde ısı kontrolünün sağlanmasında ana veri olarak kullanılmıştır.

## 2.5 HMI (Human-Machine Interface)

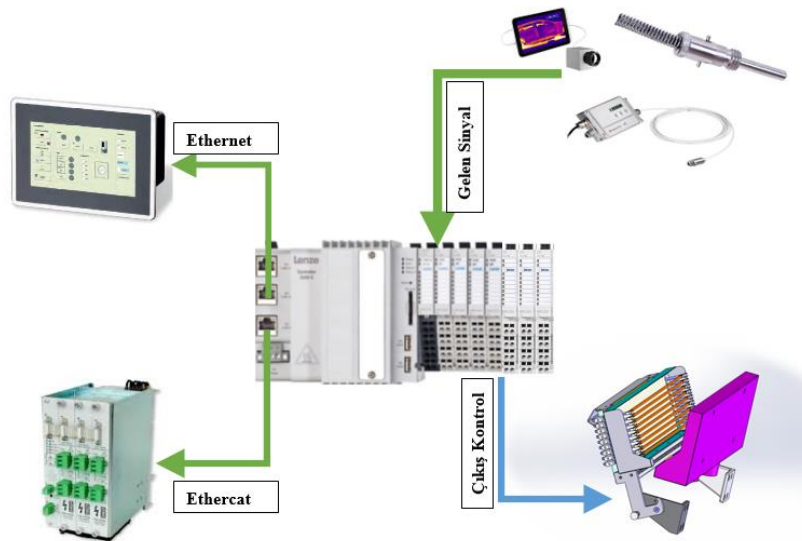
Teknolojinin ilerlemesi ile otomasyon sektörü daha çok değer kazanmakta ve teknolojiye yetişmek adına daha fazla yenilik üretmeye çalışmaktadır. HMI Sistemler de bu üretim aşamalarının temelidir. Açılımı “Human-Machine Interface” olarak bilinen HMI terimi, “İnsan-Makine Arayüzü” anlamına gelen, “dokunmatik panel”, “touch panel”, “operatör panel” gibi isimler ile “Endüstriyel Otomasyon” sektörünün gözdesi olmuştur. Erişilebilir bir bilgi içerisinde karmaşık olan verileri çevirerek, operatör üretim sürecini kontrol etmektedir (Bulut, 2015). Yapılan çalışmada LENZE p300 model HMI kullanılmış olup, ethercat üzerinden PLC ile haberleştirilmiştir (Lenze, 2016).

Panel üzerinde; infrared lambalara gönderilen referans değerlerini, fırın ve preform sıcaklığının actual değerlerini gözlemleyebilmek için özel sayfalar oluşturulmuştur.

## 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

### 3.1. Deneysel Çalışma

Şekil 8’de optimizasyon işlemine kullanılacak malzemelerin elektrik şeması yer almaktadır. PLC, ısı kontrolörü ile ethercat üzerinden haberleşmiş olup; HMI ise sisteme ethernet üzerinden adapte edilmiştir. Ethernet ve ethercat’ın aynı anda senkron çalışmasıyla birlikte yazılım oluşturulmaya başlanmıştır.



Şekil 8. Network Hattı



Fırın ünitesi içerisinde yer alan Termokupl için ayrı, ısı ölçer sensör için ayrı bir analog modül PLC' nin yan tarafına akuple edilerek sisteme dahil edilmiştir. Söz konusu iki ayrı sıcaklık ölçer cihazların anlık değerleri; değişken hava şartlarına karşın, optimizasyon sisteminin devreye girmesiyle beraber analog giriş modülleri aracılığıyla PLC' ye aktarılmıştır.

HMI üzerinde kullanıcı için lambalara referans değerlerin gönderilmesi ve preformun sıcaklıkları gösterilecektir. Operatörün panel üzerinden gireceği proses ayarları ile, yazılımın aktif hala getirilmesi sayesinde sağlıklı şişe çıkmasında önemi olan ısı işlem kendisini otomatik olarak ayarlayacaktır.

### 3.1.1 Pet Şişe Şişirme Makinasının Tasarlanan Panel Sayfası

Şişelerin hammaddesi olan preform, makineye girmesinden itibaren fırınlar içerisinde yer alan infrared lambalar tarafından belli bir sıcaklığa maruz kalırken, hava şartlarından da etkilenmektedir.

HMI' da, lambaların her birine analog referans değerler gönderilmek üzere girişler ayarlanmıştır. İklimsel değişikliği test edebilmek adına, sisteme soğutma fanları ilave edilmiştir. Havanın soğuması veya sıcaklığın artması durumu bu fanların ayarları baz alınarak teste dahil edilmiştir.

Sistemde preform ısısı için alt ve üst limit sıcaklıkları belirlenmiştir. Bu sayede alt limit sıcaklığı sağlanmadığı sürece preform fırınlara geçiş yapamamıştır, üst limitini olası aşılma durumunda ise; şişirme bölümüne gönderilmeden şişeler fırın çıkışında pasif hale getirilmiştir. Yapılan bu uygulama makinenin daha sağlıklı üretim yapmasına etken olmuştur.

Ekranında yer verilmiş olan, fırın set sıcaklık değeri ile de fırın optimizasyonu sağlamak amaçlanmıştır. Şekil 9'da panel sayfasının görseli yer almaktadır.

Çalışma Bilgileri İzleme	
Servis Havaşı (6-8)	8 bar
Körük Basınç	0 bar
Yüksek Basınç	0 bar
Preform Sıcaklığı	20 °C
Fırın Sıcaklığı	14 °C
Üretim Süresi	0 ms
Üretim Kapasitesi	3001 ş/S
Üretim Adedi	0 Adet
RESET	
Sıcaklık Setleri	
Preform Sıcaklık Üst Limit	100 °C
Preform sıcaklık alt limit	50 °C
Fırın Sıcaklık Set Değeri	35 °C

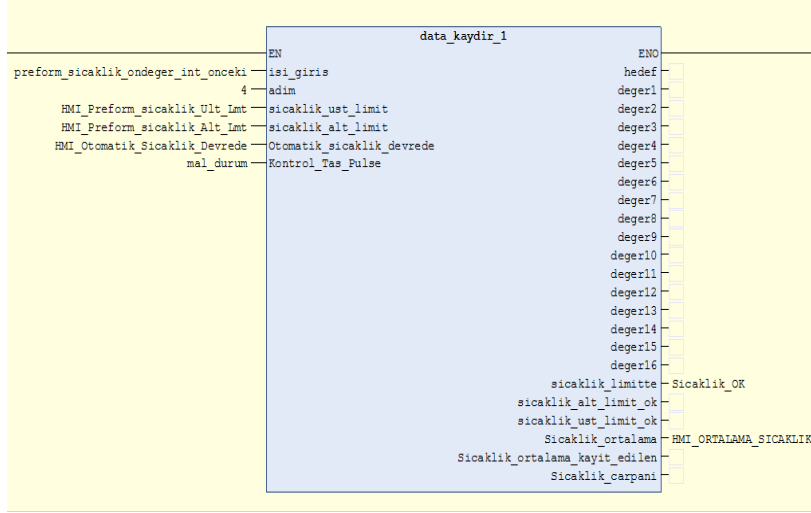
Şekil 9. Panel Sayfası

Söz konusu çalışma 4 ayrı fırının olduğu makine sistemi üzerinde geliştirilmiş olup; her fırında 8 adet infrared lamba kullanılmıştır.

### 3.1.2 Fırın Optimizasyonu

Uşalan [5], endüstriyel tip fırında PID kontrolü çalışması yapmış olup, kullanmış olduğu yazılım bloğunun neticesinde sağlıklı veriler elde etmiştir.

Şekil 10' da görülen geliştirilmiş yazılım bloğuyla, çalışma esnasında fırın içerisinde soğutma fanlarına yapılan ayar, iklimsel değişiklik olarak değerlendirilmiş olup; fırın kendi optimizasyonunu, yani ısı optimizasyonunu otomatik sağlamıştır. Değişen ortam sıcaklığına göre yazılan özel blok, ekrandan kullanıcının gireceği " Fırın Set Değeri" ne kendini sabitleme işlemi gerçekleştirmiştir. İçerisinde kullanılan katsayılarla, fırının sıcaklığında set değerini aşan bir durumda azaltan katsayılar devreye girerken, limitin altında kalan ısı değerlerinde ise artıcı katsayılar devreye girmiştir.



Şekil 10. Optimizasyon Blok

### 3.1.3 Optimizasyon Blok Yazılım

Çalışmanın yapılmış olduğu söz konusu makinede, yaklaşık 130 adet preform taşıyıcı mekanizma olup, hem makine eksenleri etrafında hem de kendi eksenleri etrafında dönme hareketini yapmaktadırlar. Fırınların tamamını aktif hale getirip, otomatik ısı optimizasyonu Şekil 10’ da yer alan optimizasyon blok üzerinden “HMI\_Otomatik\_Sıcaklık\_Devrede” girişine aktif etme sinyali gönderilmesi ile çalışma başlatılmıştır.

FBD yazılım yerine blok olarak tanımlanan “data\_kaydir\_1” isimli yazılım ST dilinde geliştirilmiş “array” tipinde bloktur. Şekil 11’ de blok tasarım yazılımının bir bölümü yer almaktadır.

```

data_blok[0]:=isi_giris;
FOR i:=0 TO 90 BY 1 DO
x:=90-i-1;
y:=90-i;
data_blok[y]:=data_blok[x];
END_FOR
hedef:=data_blok[adim];
// dataları izleme
deger1:=data_blok[1];
deger2:=data_blok[2];
deger3:=data_blok[3];
deger4:=data_blok[4];
deger5:=data_blok[5];
deger6:=data_blok[6];
deger7:=data_blok[7];
deger8:=data_blok[8];
deger9:=data_blok[9];
deger10:=data_blok[10];
deger11:=data_blok[11];
deger12:=data_blok[12];
deger13:=data_blok[13];
deger14:=data_blok[14];
deger15:=data_blok[15];
deger16:=data_blok[16];
    
```

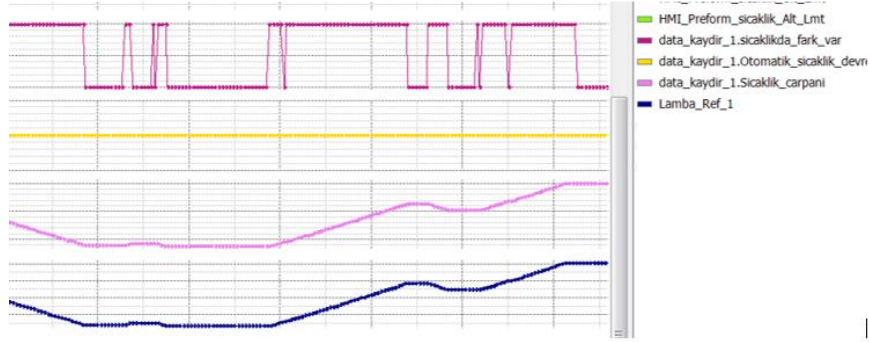
Şekil 11. Optimizasyon Blok Yazılım Giriş Bölümü

## 4. Sonuçlar

Yazılımın test aşamasında fan değerleri belirli bir seviyede tutulmuştur. Operatörün, ekrandan belirlemiş olduğu “Fırın Set” değerini, optimizasyonsuz olarak kendi ayarlamalarıyla elde etmesindeki çalışma grafiğinin dalgalı ve kararsız olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 12’ de kararsız çalışan yapının grafiğine yer verilmiştir. Tablo 3’ de grafikte kullanılan tagların renk kodlamaları belirtilmiştir.

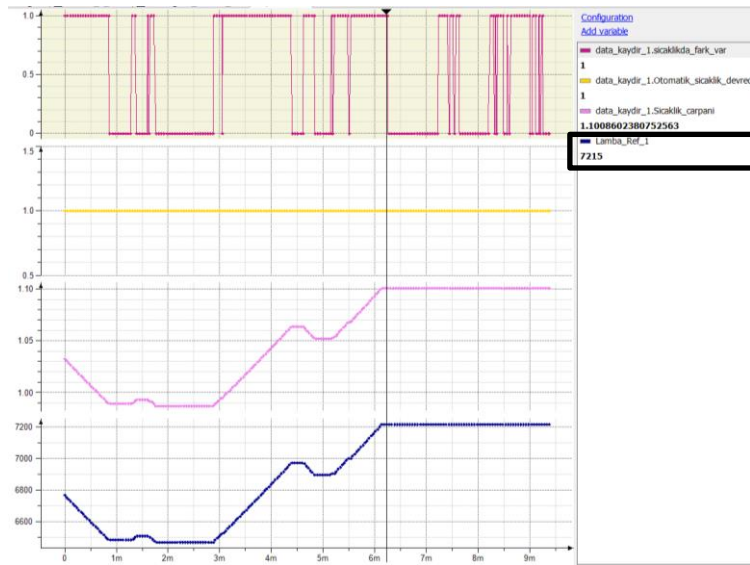
Tablo 3. Grafikte Baz Alınan Tagların Renkleri

Yazılımda Kullanılan Tag	Grafikte Kullanılan Renk
Sıcaklıkta Fark Var	Koyu Pembe
Sıcaklık Çarpanı	Pembe
Otomatik Sıcaklık Çarpanı	Turuncu
Lamba Referans	Lacivert



Şekil 12. Optimizasyonun Kullanılmadığında Elde Edilen Kararsız Çalışma Grafiği

Bloğun çalışma şartlarının daha iyi gözlemlenmesi amacıyla, ortam sıcaklığı fanların değerlerine müdahale edilerek değiştirilmiştir. Operatör, aynı lamba referans değerlerinde, HMI\_Otomatik\_Isı\_Kontrol tag bilgisini aktif hale getirmesiyle sistem kendisini, yazılımda tanımlanan katsayı çarpanıyla belirli bir süre sonunda operatörün ilk çalışmada belirlemiş olduğu set değerine sabitlemiştir. Şekil 13’ de optimizasyon sisteminin aktif olması durumunda elde edilen grafiğe yer verilmiştir.



Şekil 13. Optimizasyon Sistemi Aktif Edildiğinde Elde Edilen Kararlı Grafik

Data blok kendi içerisinde ST dilinde tanımlanmış yazılımda, otomatik sıcaklık aktif olduğu an preform set sıcaklığını hesaplayıp kendi içerisine kaydetmektedir. Preform taşıyıcıların hareketi ile de array blok tüm taşıyıcıların sıcaklık değerlerini kendi içerisine

çekerek, preform set sıcaklığını hesaplamıştır. İklim şartları değiştiği an, blok sıcaklıkta fark var bilgisini sisteme yansıtarak dengeyi kurmasını ve lambaların sıcaklarının fırın sıcaklığına sabitlemesini sağlamıştır.

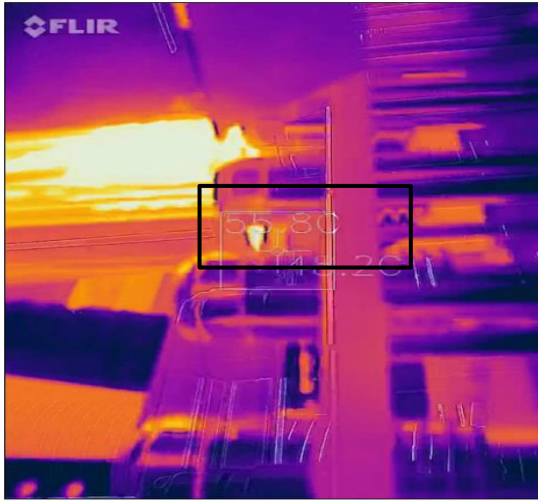
Fırın Set Sıcaklığının 44 °C olması şartları altında, optimizasyonun aktif edildiği çalışmada; lamba referansı gelen “sıcaklıkta fark var” bilgisine göre belli bir süre içerisinde kendisini otomatik ayarlamış olup 7215 değerinde sabitlemiştir.

Lambaların referans değerleri için kullanılan analog modüllerde ölçüm aralığı 16384dec olarak belirlenmiştir.

Bu hesaba göre ;

$7215/163.84 = 44$  °C ‘ ye lambanın referansı ayarlanmıştır. Elde edilen veriler değerlendirildiğinde, belirlenen fırın set sıcaklığına lamba değerlerinin kendini stabilize ettiği sonucuna varılmıştır.

Şekil 13 ve 14’ de optimizasyon yapılan fırın ile iklim şartlarına göre optimizasyonunu olmayan fırınların termal kamera ölçümleri yer almaktadır. Optimizasyon grafiği ile eş zamanlı yapılan termal ölçümde de 44 °C değeri ile bloğun sağlıklı çalıştığı test edilmiştir. Operatörün ilk çalışmasında, sistem aktif değilken elde edilen grafikte beraber yapılan termal ölçümde 55 °C değeri okunmuştur.



Şekil 14. Optimizasyon Olmayan Fırın



Şekil 15. Optimizasyon Olan Fırın

Şişelerin kalitesinde preform sıcaklığının verimli olarak uygulanması çok önemlidir. Sıcaklığı 55 °C olan fırın ünitesinden çıkan preformlar yanık halde çıkmıştır ki bu istenmeyen bir durumdur.

Makinanın başında en az bir operatörün ısı kontrolünün ayarı için sürekli bulunması, tamamen kendi gözlemleri üzerine proses ayarlarını yapıyor olması ve de doğru ayarlarının yapılamaması neticesinde; preformun 40 bar havaya maruz kaldığı anda patlaması, şişirme ünitesine dahil olamadan zayı olması veya şişe olarak çıktığında taban kısımlarındaki olası yanma, zayıflık durumlarında üretim hattının devamındaki dolun, etiketleme ve paletleme makinalarındaki tüm işleyişi bozması gibi zararlara sebep olabilmektedir. Bununla birlikte bir makine de normalde %3 e kadar preform zayıyatı kabul edilmektedir. Söz konusu proje ile bunu %1 in altına düşürülmesi hedeflenmektedir ki; makinenin çalışma esnasında operatöre olan bağımlılığının büyük ölçüde azaltılacak olması da avantaj olacaktır. Buna göre hesap yapılacak olursa;

1 Ton Preform= 1650 \$

Test Çalışması Yapılan Makine Üretim = 6000 şişe/saat

Makine Üretimi( Gün)= 48000 şişe/gün

Zayıyat = Gün üzerinden %3 hesabı ile 1440 adet

Ayda 43200 adet zayı olan preform bedeli yaklaşık 6000\$ olacaktır.

Tasarlanan yazılım ile nihai makine kullanıcısının maliyetindeki bu kaybın büyük ölçüde azaltılacak olması en büyük avantajdır.

Pet Şişe Şişirme makinelerinde, fırın içerisindeki sıcaklığın optimizasyonu son derece önemlidir. Yapılan çalışmada optimizasyonun olmadığı fırında sıcaklık değerlerinin kararsız çalıştığı ve bunun sonucunda kalitesiz preformların çıktığı gözlemlenmiştir. Optimizasyon olan fırındaysa, yazılımda oluşturulan özel blok sıcaklıkta fark var bilgisini üreterek, lambaların kendini operatörün belirlediği set sıcaklığına sabitlediği gözlemlenmiştir.

## Kaynakça

- MEB. (2012). *Şişirme Makinelerinde Üretim*. Ankara
- Avunduk, H. (2019). Yalın altı sigma: bir pet şişe makinesinde süreç iyileştirme uygulaması. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 18, 633-653.
- Brandau, O. (2019). *Stretch Blow Molding*. USA: Elsevier
- Büyükyıldız, A. (2006). Plc kullanarak cam temperleme fırınının otomasyonu. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 13, 247-256.
- Usalan, M.A., (2005). Bir endüstriyel fırın otomasyonu. Yüksek Lisans Tezi Mart 2015.
- Eason, G., Noble, B., Sneddon, I.N. (1955). On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions. *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, 529–551.
- Arslan, F. (2018). *Codesys İle Plc Programlama*. İstanbul: Birsen Yayınevi
- Gülgör, E.(2004). *Termal kamera nedir*. 22 Ekim 2019 tarihinde <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/termal-kamera-nedir-muhendislik-uygulamaları-ve-kullanım-alanları/11460#ad-image-0> adresinden erişilmiştir.
- Çalışan, M., Türkoğlu, İ. (2011). Termal Kameralar Ve Uygulamaları. *Elektrik Elektronik Bilgisayar Sempozyumu 'nda sunulan bildiri*. Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Optris , (2015). *Operator's manuel*. 22 Ekim 2019 tarihinde <https://www.optris.com.tr/compact-series> adresinden erişildi.
- Elimko, (2016). *Termokupllarla ilgili genel bilgiler*. 22 Ekim 2019 tarihinde <http://www.elimko.com.tr/files/TermokupllarGenelBilgiler.pdf> adresinden erişildi.
- Jumo, (2008). *Termokuplların yapısı ve kullanımı*. 22 Ekim 2019 tarihinde <http://www.jumo.com.tr> adresinden erişildi.
- Bulut, C. (2015). *Otomasyon sektörünün geleceği HMI sistemler*. 22 Ekim 2019 tarihinde <https://www.elektrikport.com/teknik-kutuphane/hmi-sistemlerini-yakından-taniyalim/16489#ad-image-0> adresinden erişildi.
- Lenze, (2016). *Hardware Controller 3200C and P300*. Germany





# Investigation of Sociodemographic Factors of The Individuals with Obsessive-Compulsive Disorder \*

Şaban Karayağız\*

\*Nuh Naci Yazgan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Psychology, Kayseri, Turkey (ORCID: 0000-0002-6914-4630)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf65)

**ATIF/REFERENCE:** Karayağız, Ş. (2020). Investigation of Sociodemographic Factors of The Individuals with Obsessive-Compulsive Disorder. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 505-511.

## Abstract

Obsessive-compulsive disorder (OCD) is a common, chronic, and long-term psychiatric disorder, with which the individual feels uncontrollable, recurring impulses and urging to repeat behaviors. It is described as a disorder with mental actions that cannot be prevented from repeating itself. Millions of people around the world suffer from OCD. According to 2017 data (WHO), %2,3 of the world population cope with this disorder. In this study, environmental factors including sociodemographic factors and OCD were examined. Sociodemographic factors included age, gender, occupation, marital status, and income. Data were collected from 175 individuals. 72 were male and 103 were female. Sociodemographic data form, Diagnosis DSM-V, Global OCD evaluation and Yale-Brown scale were utilized for data collection. Participants received a psychiatric examination at the beginning. Statistical analysis was calculated to reveal relationships between OCD and sociodemographic factors. According to findings, sociodemographic characteristics and individuals' disorder severity confirmed that a strong relationship existed. The most common obsessions involved contamination and suspicion. Control, cleaning, washing, and avoidance were found among the most common compulsions. OCD severity tended to decline as patients' ages increase. There existed a low correlation between income and OCD discourse, aligned with the previous studies.

**Keywords:** Obsessive-Compulsive Disorder (OCD), Sociodemographic Characteristics, Gender Issues.

## Obsesif Kompulsif Bozukluğu Olan Bireylerin Sosyodemografik Faktörlerinin Araştırılması

### Öz

Obsesif kompulsif bozukluk (OKB), bireyin kontrol edilemeyen, tekrar eden dürtüler hissettiği ve davranışları tekrarlamaya çağırdığı yaygın, kronik ve uzun süreli bir psikiyatrik bozukluktur. Zihinsel eylemleri olan ve kendini tekrar etmesini önleyemeyen bir bozukluk olarak tanımlanır. Dünya çapında milyonlarca insan OKB'den muzdarip. 2017 verilerine göre (WHO), dünya nüfusunun %2,3'ü bu bozuklukla başa çıkmaktadır. Bu çalışmada sosyodemografik faktörler ve OKB gibi çevresel faktörler incelenmiştir. Sosyodemografik faktörler yaş, cinsiyet, meslek, medeni durum ve geliri içermektedir. 175 kişiden veri toplanmıştır. 72'si erkek, 103'ü kadındır. Verilerin toplanmasında sosyodemografik veri formu, Tanı DSM-V, Global OKB değerlendirme ve Yale-Brown ölçeği kullanılmıştır. Katılımcılara başlangıçta psikiyatrik muayene yapıldı. OKB ve sosyodemografik faktörler arasındaki ilişkileri ortaya koymak için istatistiksel analiz hesaplandı. Bulgulara göre, sosyodemografik özellikler ve bireylerin hastalık şiddeti güçlü bir ilişkinin var olduğunu doğrulamıştır

**Anahtar Kelimeler:** Obsessive Kompulsif Bozukluğu (OKB), Sosyodemografik Özellikler, Cinsiyet Sorunları

\* This paper was presented at the ARACONF 2020.

## **1. Introduction**

Obsessive-Compulsive Disorder (OCD) is a psychiatric disorder, common among the nations and society around the world (Stein, 2002; Altıntaş & Özçürümez, 2015). It is typically diagnosed in childhood or adolescence. Men are mostly diagnosed earlier compared to women (Stein, 2002; Altıntaş & Özçürümez, 2015; Mathes, Morabito & Schmidt, 2019; Goldberg et al., 2015; Abramowitz & Jacoby, 2015).

OCD consists of two major parts: Obsession and Compulsion. Obsession is defined as reoccurring and intrusive thoughts, impulses and images that lead to sad feelings such as anxiety or disgust. Individuals diagnosed with OCD approve of opinions, impulses, or images being a product of their mind's thoughts, excessive or illogical (Goldberg et al., 2015; Abramowitz & Jacoby, 2015; Ollendick, King, & Yule, 2013). However, this illness cannot be fully treated by logic or reasoning skills. Many patients often put efforts to suppress or ignore such thoughts in their minds.

Compulsion is a more compressive side of the OCD. It is also identified as coercion, repeated ritual behaviors, or mental activities. Patients often fell to be required to implement such activities to reduce the concern of obsession (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010; Kolada, Bland & Newman, 1994). These repetitive behaviors generally take place to prevent any potential physical damages. Such rituals, especially in severe situations, could last for the whole day. The most common compulsive behaviors consist of "cleansing to dispose of contaminations by disease, microbe or unpleasant substances; repetitive activities for anxiety, securing the door or shutting the heater due to fear of fire hazard or damage; mental constraints against regulation and unexpected thoughts to reduce discomfort" (Ollendick, King, & Yule, 2013). This list could be extended to further activities such as hoarding, checking, asking for reassurances, hair pulling or body injuring.

The association between OCD and sociodemographic characteristics has generally been the main focus of national and international researches (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010; Kolada, Bland & Newman, 1994; Kalenderoğlu, 2017). For instance, researchers (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010) investigated the prevalence of OCD among children and adolescents aged between 5-15 in England. They used a sample size of 10,438 individuals. They found out that 0.25-0.50% of their sample had a type and levels of the OCD, aligned with the previous research findings (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010; Kolada, Bland & Newman, 1994; Kalenderoğlu, 2017; Heyman et al., 2001; Bogetto et al., 1999; Hanna et al., 1995; Myers et al., 1984; Robins et al., 1984; Bland, Orn, & Newman, 1988). Studies (Robins et al., 1984; Bland, Orn, & Newman, 1988) also suggested that the frequency of OCD increases with aging. The children diagnosed with OCD were found to have a family with low socioeconomic status (Heyman et al., 2001; Demet et al., 2005).

Bogetto, Venturello, and Albert (1999) revealed that clinical variations of OCD patients exist based on gender. They collected data from 166 outpatients with a semi-structured interview form. As a result of the data analysis, the symptoms typically occur at younger ages and among females. Acute OCD is also more common for females than males. Anxiety disorder is sometimes followed by the onset of OCD. Also, any hypomanic attack could be higher for the males, but eating disorders might be higher for the females.

In additional studies, the sociodemographic relationships with OCD in children and adults aged 12-16 years were examined in different ways. Researchers (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010; Monaghan et al., 2015) evaluated the sociodemographic and clinical features of 125 children and adolescents. Most of the patients (71%) had psychiatric problems such as anxiety and affective disorder. The most common obsessions were body damaging to him-herself or close people and obsessions of cleanliness. Common compulsions were discovered as washing and cleaning.

Scrupulosity, also known as religious OCD, roots from the early 1600s in the Catholic church. It is related to an individual's constant engagement with excessive prayers for healing psychological problems. In a related study, the relationship between OCD and religious obsessions was examined involving 45 patients (Wu et al., 2016). According to their findings, 42% of them showed religiously obsessed behaviors. In other words, it is safe to state that religious incitement is related to OCD. However, no statistically significant difference existed between them except for a low correlation. They also indicated that some obsessions might be caused by overwhelming religious views, attitudes, and behaviors.

In the light of earlier studies, we aimed to explore some of the deficiencies in the field and contribute to the field from a different perspective. In this perspective, sociodemographic characteristics such as age, gender, marital status, number of children and income level were studied in the context. Accordingly, distinctive categories of obsessions and compulsions for the participants were analyzed.

According to the previous research findings and scientific facts, we could propose some expected findings as a priory hypothesis. We expected the patients who had more children would show higher levels of obsessive and compulsive behaviors. Also, it was expected that females would have higher levels of obsessive and compulsive behaviors. We also expect marital status influence obsessive and compulsive behaviors and their severity. The family tree is also another factor that positively affects the chance of having obsessive and compulsive behaviors. The occupation of the participants is considered as another critical factor.

## 2. Material and Method

### 2.1. The Participants

The participants were classified as 1- Child, 2- Young adult, 3- Middle age, and 4- Older age. Net incomes are shown in local currency. The demographic characteristics of the participants are summarized in Table 1.

Of 175 participants, 72 (41.1%) were male and 103 (58.9%) were female. The age range was found between 7 and 73-year-old, with an average of 31.9- year-old. Regarding their marital status, 91 (52%) of them were married with kids and 84 (48%) were single, widow or divorced. In terms of the number of children, 28 (16%) had no children, 52 (29.7%) had only one child, 59 (33.7%) with two children and 36 (20.6%) with three or more children. Only 60 of them (34.3) had a professional job and the rest were housewives, students, or unemployed at the time of data collection. The majority of the participants (66.9%) had an income of 3,000 (Turkish Liras (TL)/month) with an average of 1,782 TL of monthly income, below the average income (4,350 TL) for the previous year.

### 2.2. Data Collection and Data Analysis

The data collection process was conducted with the purposeful sampling method. The patients diagnosed with OCD were purposely selected. Data collection tools included four different inventories; the sociodemographic form, Diagnosis DSM-V Scale, Global Assessment Scale (GAS), and Yale-Brown Obsession Compulsion Scale (Y-BOCS). It took place during the summer of 2018 in Kayseri in Turkey.

Sociodemographic Data Form was prepared by the researchers involving age, gender, marital status, number of children, professional job status and income level.

Table 1. Demographic Information of the Study Group.

Variables	Category	N	%	Ave.	SD
<i>Gender</i>	Male	72	41.1		-
	Female	103	58.9		
<i>Marital Status</i>	Married	91	52		-
	Single	75	42.9		
	Widow/Divorced	9	5.1		
<i>Number of Children</i>	No child	28	16.0		-
	1	52	29.7		
	2	59	33.7		
	3+	36	20.6		
<i>Occupation</i>	Housewife	35	20.0		-
	Students	45	25.7		
	Officer	60	34.3		
	Unemployed	12	6.9		
	Other	23	13.1		
<i>Age</i>	7-20 (Child)	18	10.3	31.9	11.1
	21-30 (Young adult)	57	32.6		
	31-40 (Middle Age)	66	37.7		
	41+ (Middle Age)	34	19.4		
<i>Income (Month)</i>	0-3.000	117	66.9	1,782	2,324
	3.000+	11	6.3		
	NA	47	26.9		

Diagnosis DSM-V Scale is an inventory to diagnose OCD [19]. In the APA book, the information about how to perform OCD diagnosis is explained in a separate section. Diagnostic criteria are divided into two parts: obsession and compulsion [20]. Obsession, forcing the mind, anxiety-generating repetitive thoughts, and factors related to their suppression have been specified. Compulsion is described as rigorous ritualistic behaviors or mental actions aimed at reducing anxiety against it. To be able to diagnose OCD, as described in the book, is required.

The second data collection tool (GAS) is an inventory assessing mental health in terms of psychological, social and occupational functioning of hypothetical continuity. According to the analysis of the collected data, the participants were classified among 11 interval categories that range between 0-100. The last inventory (Y-BOCS) was developed to measure the OCD severity and symptoms. It consists of a 19 five-point Likert- scale. The sub-dimensions of Y-BOCS included self-harm, contamination, uncleanness, religious, sexual, retention, symmetry, somatic, and cleansing.

### 3. Results

The results obtained from the study were compared and analyzed with sociodemographic features. Disease patterns, obsessions, and compulsions of the participants were examined in details and the findings were investigated by comparing them with sociodemographic characteristics.

#### 3.1. Statistical Evaluation

A chi-square test was utilized for categorical comparisons obtained in the study. Also, ANOVA was applied to obtain a t-test comparison. Pearson correlation analysis was performed to determine the relationships between the categories and correlation coefficients (r). All analyses were evaluated in the range of  $p < 0.05$ .

Data analysis resulted in the participants suffering from OCD at various levels. The majority had recurrent and remaining had low or chronic levels. The related results are illustrated in Figure 1. It shows that the participants were mostly (60%) suffering from the recurrent levels. In general, more female patients (63%) had obsessive-compulsive disease compared to the number of male patients (58%).



Figure 1. Obsessive-compulsive disease courses among the gender

#### 3.2. The Discourse of OCD and Related Disorder Among the Participants

Several obsessive categories were found as many as 15, but only nine of them were considered to be significant and therefore they were taken into account in this study. Table 2 presented the categories based on the data analysis. Types and levels of obsession were specified below in addition to the gender distribution.

Table 2. Obsessive Types of the Participants

	Male		Female		Total	
	N	%	N	%	N	%
Suspicion	38	35.9	51	29.1	89	50.9
Contamination	14	13.2	37	21.1	48	27.4
Religious	12	11.3	12	6.9	24	13.7
Order	9	8.5	15	8.6	24	13.7
Harm	7	6.6	17	6.9	24	13.7
Sexual	10	9.4	9	5.1	19	10.9
Somatic	7	6.6	12	6.9	19	10.9
Symmetry	6	5.7	11	6.3	17	9.7
Hoarding	1	1.0	5	2.9	6	3.4
Other/NA	3	2.8	6	3.4	9	5.1

According to the information illustrated in the above table, the most common types of obsessive behaviors included suspicion (50.9%), contamination (27.4%), religious (13.7%), order (13.7%), and harm (13.7%), respectively. The least observed obsessions were sexual (10.9%), somatic (10.9%), symmetry (9.7%), and hoarding (3.4%). In terms of gender, female patients had a higher number of obsessions based on the number of participants compared to males. Specifically, the number of males suffering from sexual obsession is higher than in females. However, females mostly suffer from suspicion, contamination, order, harm, somatic, symmetry and hoarding. The percentage of patients who had a religious obsession (Scrupulosity) was the same for both genders.

The obsession types of the participants were also categorized as physical and mental in terms of their compulsion levels. The predominant compulsive behaviors were listed from the most common to the least common in Figure 2.

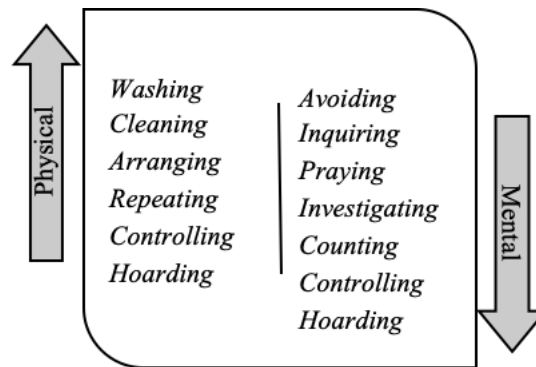


Figure 2. Compulsion Categories and Sub-types

According to the above figure, washing, cleaning, and arranging were the top three physical compulsive behaviors for the subjects. Similarly, hoarding, controlling, and counting were the most common compulsive mental behaviors. Although classified as two different compulsions, some compulsive behaviors were found to be both mental and physical such as avoidance, questioning, counting, and praying behaviors.

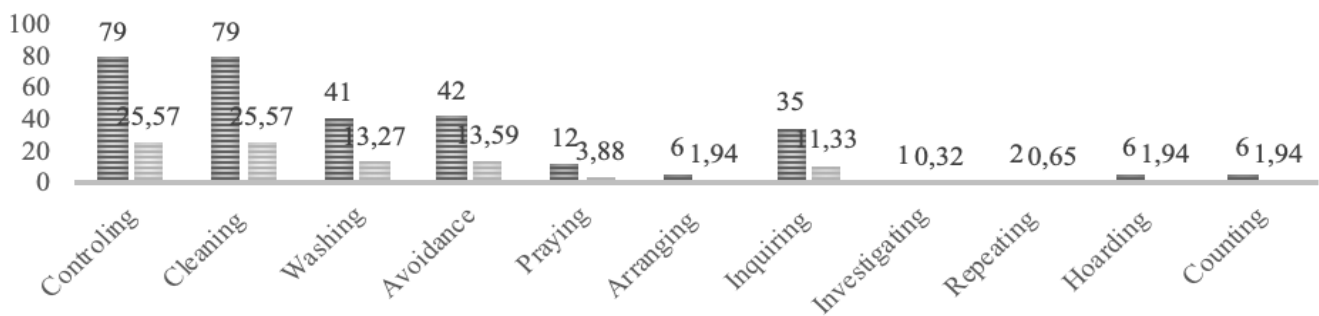


Figure 3. Frequencies Obtained from Compulsion Types

In Figure 3, the frequencies and percentages of the general compulsion behaviors resulting from data analysis were illustrated in detail. Accordingly, the most common compulsions among the participants were as follows: ‘controlling (25.57%), cleaning (25.57%), avoidance (13.59), washing (13.27%) and asking questions (inquiring) (11.33%)’. Investigating, repeating, arranging were the least common compulsive behaviors.



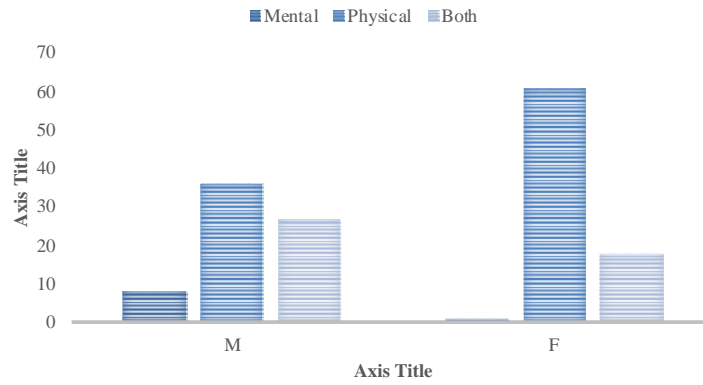


Figure 4. Types of Compulsion

We also investigated further with the compulsive behaviors in terms of gender (Figure 4). Many physical compulsive behaviors (61 of 97) were found higher for females and mental behaviors (8 out of 9) for males. The above figure also shows that participants had more physical or physical than mental compulsive behaviors. The patients showing mental compulsive behaviors were higher than physical compulsive behaviors.

Sociodemographic characteristics were one of the main objectives of the study and data regarding the relationship between OCD findings were examined. According to the data given in Table 3, no statistical difference existed between the obsessive-compulsive and gender characteristics. For example, a very low negative correlation (-0.16) was found for both genders. Besides, no correlation coefficients were significant in terms of sociodemographic factors except for the number of children and age variables as they were smaller the cutoff level (0.20) for the correlation coefficient. A very small positive correlation relationship (0.20) was found between the subjects with the young adults (20-30) and older adults (40+). Also, a medium negative relationship ( $r = -0.53$ ) was calculated between the subjects who had only one kid and the ones with two or more kids.

Table 3. Relationship Between Sociodemographic Characteristics and OCD Discourse

Sociodemographic Characteristics	Correlation Coeff (Min, Max)	p-value (Min, Max)
Gender	-0.16	0.15
Marital Status	0.03	0.80
Number of Children	-0.14 (-0.53 , -0.09)	0.43 (0.01, 0.84)
Occupation	0.002 (-0.06, 0.07)	0.27 (0.07, 0.42)
Age	-0.01 (-0.18, 0.20)	0.42 (0.06, 0.67)
Income	-0.07	0.46

Lastly, p-values were calculated as less than '0.26', which showed that no statistical differences existed for any sociodemographic characteristics. In terms of gender, no significant difference was found in the study. Not finding a statistical significance for gender or marital status did not support our hypothesis. According to p-values, there existed a statistically significant difference between the patients who had no child and two children. This finding supported our hypothesis as having more children's negative effects on suffering from obsessive and compulsive behaviors. Also, two borderline statistically significant variables existed; between young and older adults as well as housewives and students. For these reasons, the hypothesis regarding the occupation was borderline supported by the findings.

#### 4. Conclusion

This study was designed to investigate the obsessive and compulsive behaviors in terms of sociodemographic characteristics for a group of patients. In conclusion, typical compulsions were classified according to three distinct behaviors: physically, mental or both. The most common compulsive behaviors seen in patients included controlling, cleaning washing, avoidance, and questioning.

When sociodemographic features were compared, a low positive correlation existed between income and discourse of the OCD, similar to the previous findings (Demirok, Unal & Pehlivanurk, 2001). A moderate negative correlation was calculated between the number of children, especially with 3+ children, and OCD types. Furthermore, no statistically significant differences ( $p\text{-value} < 0.05$ ) existed between age and obsessive-compulsive behaviors, aligned with the previous findings (Stanley, Björgvinsson, & Frueh, 2010). A low positive correlation (0.20) existed in terms of ages and OCD levels, especially, among younger and older adult groups. This finding was somehow different from the previous studies (Monaghan et al., 2015; Demirok, Unal & Pehlivanurk, 2001).

OCD severity showed a tendency to decrease as patients' ages increase as obtained in the previous researches (Demirok, Unal & Pehlivanurk, 2001; Tek & Ulug, 2001). No significant correlation was found among gender, marital status, occupation, and OCD. Given that previous research findings, this was not an extraordinary consequence.

In terms of gender, unlike recent studies (Gıynaş et al., 1988; Karno et al., 2016; Mathis et al., 2011; Yoldascan et al., 2011; Goodman et al., 1999), gender issues had no influence ( $p = 0.15$ ) in terms of the OCD discourse. It might be due to differences in participants' sociodemographic varieties. To explore sociodemographic factors and OCD in rich content, in-depth studies should be conducted to further analyze sociodemographic issues. In conclusion, most of the participants included in this study were found to possess recurrent OCD. Obsessive types of obsessions were related to suspicion and transmission. Such results were seen as obsessive thoughts against sexual, religious obsessions or self-harm.

## References

- Abramowitz, J. S., & Jacoby, R. J. (2015). Obsessive-compulsive and related disorders: A critical review of the new diagnostic class. *Annual Review of Clinical Psychology, 11*, 165-186.
- Altıntaş, E., & Özçürümez, G. (2015). Evaluation of Obsessive-Compulsive Disorder Patients According to Gender Differences. *Cukurova Medical Journal, 40*(3), 409-417.
- APA (American Psychiatric Association). (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders (DSM-5®)*. American Psychiatric Pub.
- Bland, R. C., Orn, H., & Newman, S. C. (1988). The lifetime prevalence of psychiatric disorders in Edmonton. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 77*(S338), 24-32.
- Bogetto, F., Venturello, S., Albert, U., Maina, G., & Ravizza, L. (1999). Gender-related clinical differences in obsessive-compulsive disorder. *European Psychiatry, 14*(8), 434-441.
- Demet, M. M., Deveci, A., Deniz, F., Taşkın, E. O., Şimşek, E., & Yurtsever, F. (2005). Obsesif kompulsif bozuklukta sosyodemografik özellikler ve fenomenoloji. *Anadolu Psikiyatri Dergisi, 6*(3), 133-144.
- Demirok, D., Unal, F., & Pehlivanurk, B. (2001). Obsessive-compulsive disorder in children and adolescents: Sociodemographic and clinical features. *J Child Adolesc Ment Health, 8*(1), 11-8.
- Emhan, A., Mete, M., & Emhan, A. (2012). Investigation of the relationship between workaholism and obsession in public and private sector workers. *Dicle Tıp Dergisi, 39*(1), 75-79.
- Goldberg, X., Soriano-Mas, C., Alonso, P., Segalàs, C., Real, E., López-Solà, C. (2015). Predictive value of familiarity, stressful life events and gender on the course of obsessive-compulsive disorder. *Journal of affective disorders, 185*, 129-134.
- Goodman, W. K., Rasmussen, S. A., Price, L. H., Mazure, C., Heninger, G., & Charney, D. (1991). Yale-brown obsessive-compulsive scale (Y-BOCS). *Verhaltenstherapie, 1*(3), 226-33.
- Hanna, G. L. (1995). Demographic and clinical features of obsessive-compulsive disorder in children and adolescents. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry, 34*(1), 19-27.
- Heyman, I., Fombonne, E., Simmons, H., Ford, T., Meltzer, H., & Goodman, R. (2001). Prevalence of obsessive-compulsive disorder in the British nationwide survey of child mental health. *The British Journal of Psychiatry, 179*(4), 324-329.
- Kalenderoğlu, A. (2017). Sociodemographic And Clinical Characteristics Of Patients In The Kahta State Hospital Psychiatry Clinic. *Journal of Clinical Psychiatry, 20*(1), 30-36.
- Karno, M., Golding, J. M., Sorenson, S. B., & Burnam, M. A. (1988). The epidemiology of obsessive-compulsive disorder in five US communities. *Archives of general psychiatry, 45*(12), 1094-1099.
- Kolada, J. L., Bland, R. C., & Newman, S. C. (1994). Obsessive-compulsive disorder. *Acta Psychiatrica Scandinavica, 89*, 24-35.
- Mathes, B. M., Morabito, D. M., & Schmidt, N. B. (2019). Epidemiological and clinical gender differences in OCD. *Current psychiatry reports, 21*(5), 36.
- Mathis, M. A. D., Alvarenga, P. D., Funaro, G., Torresan, R. C., Moraes, I., Torres, A. R., & Hounie, A. G. (2011). Gender differences in obsessive-compulsive disorder: a literature review. *Brazilian Journal of Psychiatry, 33*(4), 390-399.
- Monaghan, S. C., Cattie, J. E., Mathes, B. M., Shorser-Gentile, L. I., Crosby, J. M., & Elias, J. A. (2015). Stages of change and the treatment of OCD. *Journal of Obsessive-Compulsive and Related Disorders, 5*, 1-7.
- Myers, J. K., Weissman, M. M., Tischler, G. L., Holzer, C. E., Leaf, P. J., Orvaschel, H., & Stoltzman, R. (1984). Six-month prevalence of psychiatric disorders in three communities: 1980 to 1982. *Archives of General Psychiatry, 41*(10), 959-967.
- Ollendick, T. H., King, N. J., & Yule, W. (Eds.). (2013). *International handbook of phobic and anxiety disorders in children and adolescents*. Springer Science & Business Media.
- Robins, L. N., Helzer, J. E., Weissman, M. M., Orvaschel, H., Gruenberg, E., Burke, J. D., & Regier, D. A. (1984). The lifetime prevalence of specific psychiatric disorders in three sites. *Archives of general psychiatry, 41*(10), 949-958.
- Stanley, M., Björgvinsson, T., & Frueh, B. C. (2010). Update on the nature and treatment of obsessive-compulsive-related disorders. *Bulletin of the Menninger Clinic, 74*(2), iii-vi.
- Stein, D. J. (2002). Obsessive-compulsive disorder. *The Lancet, 360*(9330), 397-405.
- Tek, C., & Ulug, B. (2001). Religiosity and religious obsessions in obsessive-compulsive disorder. *Psychiatry Research, 104*(2), 99-104.
- Gıynaş, F. F., Kızılkurt, Ö. K., & Güleç, H. (2016). İlgörüsü olan ve olmayan obsesif kompulsif bozukluk hastalarında kişilik örgütlenmesi. *Cukurova Medical Journal, 44*(1), 18-26.
- Wu, M. S., McGuire, J. F., Martino, C., Phares, V., Selles, R. R., & Storch, E. A. (2016). A meta-analysis of family accommodation and OCD symptom severity. *Clinical Psychology Review, 45*, 34-44.
- Yoldascan, E., Ozenli, Y., Kutlu, O., Topal, K., & Bozkurt, A. I. (2009). Prevalence of obsessive-compulsive disorder in Turkish university students and assessment of associated factors. *BMC psychiatry, 9*(1), 40.



# Average Neural Face Embeddings for Gender Recognition\*\*

Semiha Makinist<sup>1\*</sup>, Betül Ay<sup>2</sup>, Galip Aydın<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Data Processing Department, Firat University, Elazig, Turkey (ORCID: 0000-0002-6636-7898)

<sup>2</sup> Computer Engineering, Firat University, Elazig, Turkey (ORCID: 0000-0002-3060-0432)

<sup>3</sup> Computer Engineering, Firat University, Elazig, Turkey (ORCID: 0000-0002-9564-3329)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf67)

**ATIF/REFERENCE:** Makinist, S., Ay, B & Aydın, G. (2020). Average Neural Face Embeddings for Gender Recognition. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 522-527.

## Abstract

In recent years, with the rise of artificial intelligence and deep learning, facial recognition technologies have been developed that operate with high accuracy even in adverse conditions. However, extracting demographic information such as gender, age and race from facial features has been a hot research area. In this study, a new Average Neural Face Embeddings (ANFE) method that uses facial vectors of people for gender recognition is presented. Instead of training deep neural network from scratch, a simple, fast and effective solution has been developed that performs a distance calculation between the average gender vectors and the person's face vector. The method proposed as a result of the study carried out provided a high and successful recognition performance with with 96.47% of the males and 99.92% of the females.

**Keywords:** Face Embeddings, Face Detection, Average Embeddings, Gender Recognition, Deep Learning.

## 1. Introduction

Recently, the name of deep neural networks has been frequently heard both in image processing and natural language processing. Deep neural networks are based on the depth architecture of brain neurons. This model is also known as Deep Artificial Neural Networks in the academic world. In other words, it was discovered based on the idea of deepening artificial neural networks. In the early 2000s, serious studies were made in the field of deep learning and this period was accepted as a turning point for the field of artificial intelligence. In the mid-2000s, Geoffrey Hinton and Ruslan Salakhutdinov taught other researchers how to train multilayered forward and feedback neural networks through their publications [1]. Successful models developed to date have not exceeded two or three-layer network models. In 2006, Deep Belief Nets showed how multilayer neural networks will work and how undefined features are learned by the system. These new generation ANNs are named as Deep Net and the studies in this field are gathered under the title of Deep Learning. The development stages of facial recognition technology with deep learning are illustrated in the Figure 1.

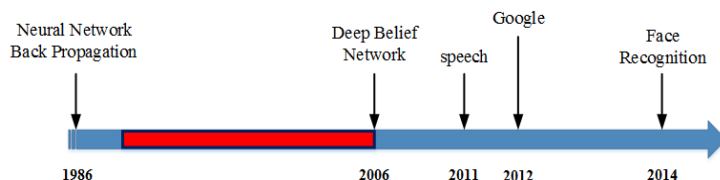


Figure 1. Face recognition timeline

\* Semiha Makinist: Data Processing Department, Firat University, Elazig, Turkey, ORCID: 0000-0002-6636-7898, [smakinist@firat.edu.tr](mailto:smakinist@firat.edu.tr)

\*\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

Deep learning is widely used in image, sound and text analysis. The major research areas in the field are face recognition and detection, age and gender detection. The success of the vanilla machine learning methods developed for the recognition of facial features such as age and gender detection remained between 75% and 80%. When the deep neural networks are used in the studies conducted in the same field, the success rate has exceeded 90%. In the studies examined, classical classifiers were generally used for face, gender or age recognition. In recognition and detection systems, the classifier reduces both system performance and success. In order to eliminate all these disadvantages, this paper is based on the idea that “With the developing technologies and methods can a face, age or sex be distinguished without using any classification algorithm?”. The starting point of the proposed method is a GitHub project shared by Geitgey [2] for face recognition. In his study, Geitgey showed how to identify a person through a single image using face embedding model of dlib library (<http://dlib.net/>). In this study, this method was made more specific and used for gender recognition. The greatest innovation in this new method proposed in the study was to show that gender recognition can be performed using 128-D average face vectors without using any classification algorithm.

Many studies have been conducted in the literature on face, age and gender recognition by using facial landmark with deep learning methods. Cha et al. [3] adopt a multi-task Deep Convolutional Neural Network (DCNN) method and performed face detection using facial landmarks for different face poses. They used the FDDB dataset [4] and as a result of the study it was observed that the method they proposed improved the other state-of-the-art methods by 3%. Sun et al. [5] designed a 3-level DCNN which cascades three levels of convolutional networks for facial point detection. They have obtained much more successful results in the detection of facial points than previous methods. But at the same time, the proposed method requires a complex cascade architecture of deep network. Based on this disadvantage, a new tasks-constrained deep convolutional network (TCDCN) reduces model complexity has been presented for facial point detection [6]. Eidinger et al. [7] has made age and gender prediction using unfiltered faces. Within the scope of the study, they formed their own dataset for age and gender prediction. They developed a dropout-SVM method for classifying data, inspired by the deep belief network's dropout learning technique. Hassner et al. [8] corrected the front view of the face by applying “frontalization” process to the face detected in unconstrained photos. They used important facial feature points in the infrastructure of their studies. As a result of the new image obtained, the percentage of success in face recognition and gender prediction systems was increased. Levi et al. [9] have designed a simple CNN that can work on a limited dataset and can predict age and gender. Ranjan et al. [10] proposed a deep multi-task learning framework called HyperFace that can perform simultaneously face detection, landmark localization, pose estimation, and gender recognition using CNN. Experimental results have shown that the proposed method can capture both global and local information on faces, and it performs far better than many algorithms for each of these four tasks. Rothe et al. [11] presented a model that can predict age and gender on a single image using the deep learning method. They used IMDB-WIKI dataset within the scope of the study. In the previous studies in this field, the images in the dataset used for training were not a single image, but the most important feature that distinguishes this study from the others is the use of a single image for training. Some convolutional layers in the VGG-16 architecture have been redesigned. For gender recognition, Mansanet et al. [12] proposed a Local Deep Neural Network named as Local-DNN. The proposed local-DNN model is based on the deep learning architecture and local features of the face. The model learns by using Feed Forward Networks in several layers and small overlapping regions in the visual fields. In another study using CNN architecture [13], face based gender estimation was performed. Xinga et al. [14] proposed a DNN model that can predict race and gender as well as age prediction using deep multi-task learning architecture. Moeini et al. [15] has performed gender detection using the features of face position and expression with gender dictionary learning. Qawaqneh et al. [16] have been designed a neural network model that can classify age and gender using DNNs. They also proposed a new cost function. Both speech data and face images were used in the study. Philip et al. [17] have been using both VGG19 and VGGface models, which were previously trained CNN-based deep neural networks. They have been studying transfer learning for model trainings. In order to increase system success, they have been changing the model parameters. they have achieved 98% success in gender recognition with their CNN-based models. Dhomne et al. [18] have proposed a VGGNet model based on D-CNN using facial images for gender recognition. Xu et al. [19] have been proposing Hierarchical Multi-task Network (HMTNet), a deep neural network that can identify both sex, race, and facial beauty from a person's portrait image.

## **2. Material and Metot**

### **2.1. Face Embeddings**

Embedding is the representation of a document, word or image in a 2D or 3D space. In other words, documents, words or pictures (objects, human, face, so on) are represented vectorically in two-Dimensional space. This representation of faces as numerical vector is called “face embeddings”. Different methods are used to create face embeddings. One of them is deep neural networks. There are two important studies in the literature that use deep neural networks to extract face embedding: Dlib [20] and Openface face recognition library [21]. dlib is written in C++ and has Python API. Openface uses the dlib library for basic operations such as face detection, while it uses a deep neural network model written in a Torch environment to extract face embedding. In these two important studies, the person uses face vector representation of 128-D to recognize. The core of the deep neural network used in the Dlib face recognition model consists of ResNet. The ResNet (Residual Networks) used is a 34-layer network developed by He, Zhang, Ren and Sun [22] for image recognition in 2016. FaceNet, Schroff et al. [23] from the Google team, is a deep neural network model for extracting face embedding vectors. In this model, faces are represented by 128D vectors. At least 3 pictures of each person for extracting face embeddings with FaceNet are required. Because FaceNet uses a triple based loss function used in the LMNN model [24]. FaceNet model consists of such layers like input, CNN for face detection, L2 distance to separate face vectors, create the face embedding, and the triple loss function, in which the error values.

dlib basically uses the ResNet-34 architecture. The number of filters and layers are reduced unlike ResNet-34 architecture. The number of filters on each layer is halved. Some layers were removed and the network was redesigned as 29 layers. Thus, the cost of



calculation has been reduced. A 128-D face embedding vector was obtained with the newly designed network. VGG and face scrub dataset was used for new network training.

### 2.2. Average Neural Face Embeddings

In this paper, we propose a novel and simple approach with Average Neural Face Embeddings (ANFE) to recognize gender without using any classifier method. The algorithm steps of the proposed method are given below:

- Step 1.** The training set is divided into two groups as male and female.
- Step 2.** 128-D embeddings for each face in two different groups in the training set are extracted with special python libraries.
- Step 3.** These 128-D embeddings of the individuals in each group within the training set are summed and then divided by this sample number. The mathematical representation of this structure is given in equation (1). In the equation, m represents the number of samples, ie the number of people. X is the face embeddings (feature vectors) extracted for each person.

$$average_{gender(x)} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_j^m X[j, i]}{m} \tag{1}$$

- Step 4.** The calculated ANFE values are saved in the MongoDB database.
- Step 5.** A controlled dataset was prepared to measure the success of the method. In test dataset, two different groups, male and female, were formed like the training dataset.
- Step 6.** The 128-D face embeddings of the images in each group in the test dataset were extracted and compared with the average gender vector of 128-D stored in the database. Euclidean distance was used to compare these two vectors (individual face embeddings and ANFE for each gender group). Mathematical representation of Euclidean Distance is given in Equation (2).

$$eu\_dist([x, y], [a, b]) = \sqrt{(x - a)^2 + (y - b)^2} \tag{2}$$

As a result of the query, the distance value of the face feature vector to the average female and male face feature vectors is returned. The minimum distance is selected from these calculated distance values. The gender with the minimum distance is the estimated value. The graphical representation of the proposed approach is presented in Figure2.

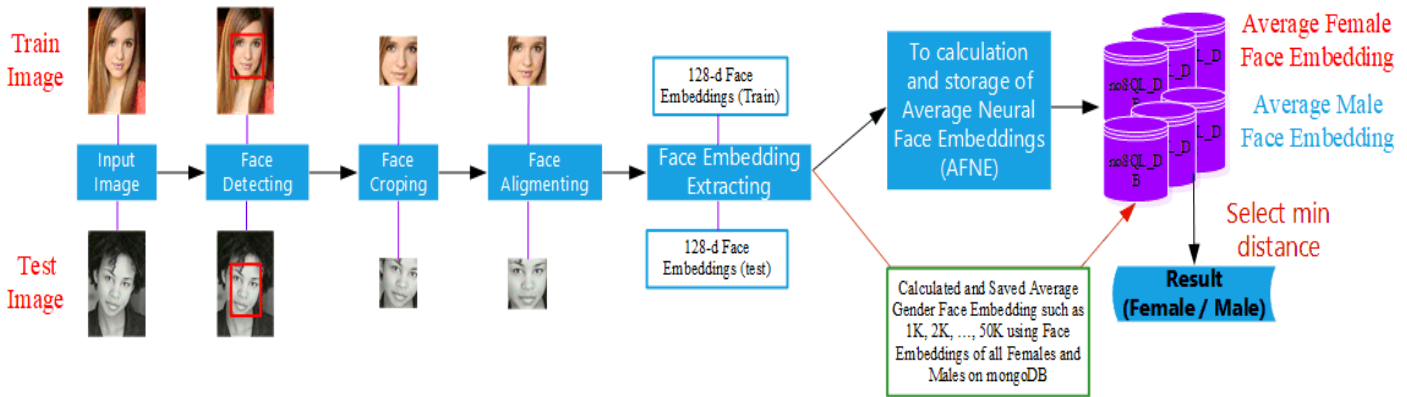


Figure 2. System architecture of ANFE

#### 2.2.1. Dataset

While the training and test dataset were created, they were passed through different stages. These stages are as follows;

- Data harvesting,
- Automatic and manual clearing of collected data,
- Creation of dataset with different numbers of data to determine the most appropriate ANFE vector.

Web scraping software developed on java platform for data collection step. With this software, pictures of famous people from different movie sites that contain gender data such as www. filmweb.pl, www.listal.com were taken. The scrapped image data is automatically foldered by gender class. Another important step is clearing the images in the dataset. Because in the automatically downloaded images there are mislabeled images or images contain more than one face. These images were cleaned by passing through two stages. In the first step, multiple face and unreadable images are extracted from the dataset using Python's face detection libraries. In the second step, the remaining images are checked manually. Incorrectly labelled images are added to the appropriate folder. All these stages were performed for both training and test datasets. The data collected from filmweb.pl was allocated as training data and the data collected from listal.com as test data. After the pre-processing steps, dataset consist of 133,498 face images, 62,333 of which are female and 71,165 of which are male. ANFE were extracted using a maximum of 50K images for both men and women. Data collection step is illustrated in Figure 3.



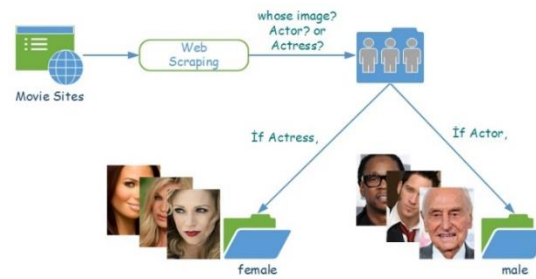


Figure 3. Data collection system with web scraping

Dataset is presented in the Figure 4.



Figure 4. Female and male dataset

Facescrub [25] benchmark dataset was used to evaluate the performance of the proposed system. This dataset was also pre-processed. With a preprocessing program written in Python script, images containing multiple faces and noisy faces were automatically removed from the dataset. Then, people between the ages of 0 and 16 were removed from the remaining pictures. Finally, the labels of the remaining images have been manually checked. As a result of all the preliminary procedures; 31,370 pictures remained in the male dataset and 26,631 pictures in the female dataset.

### 3. Research Results and Discussion

#### 3.1. Experimental Setup

Tests were performed on a desktop machine with 3.5 GHz CPU, 32GB RAM, 4GB NVIDIA card and 1TB HDD. All tests performed with this machine lasted 25 minutes in total.

#### 3.2. Experimental Tests

The system has been tested in two different ways. The first test is to find the most appropriate ANFE vector. The second test is to measure system success on the facescrub dataset. In the first performance test, the data taken from filmweb.pl as training were adjusted to be 2K (1K female, 1K male), 4K (2K female, 2K male), ..., 100K (50K female, 50K male). The images selected for the training data were taken randomly. ANFE vectors of each different data group were extracted and recorded in MongoDB database. In the database, a distinctive id is given to differentiate each different ANFE vector. For example, the id index of the 1K female and 1K male data group is g\_1000. The graphical result of gender recognition is presented in Figure 5.

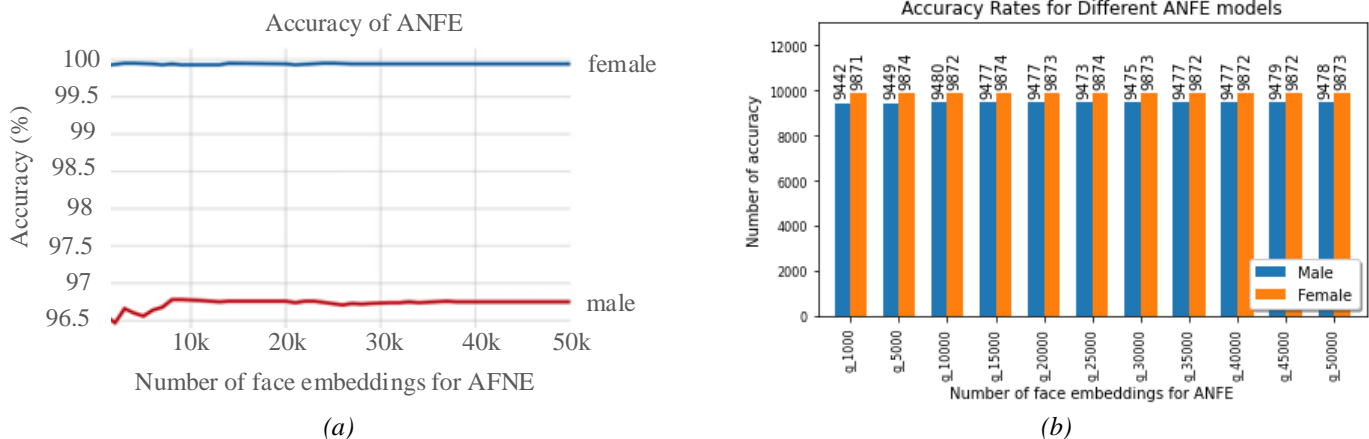


Figure 5. Recognition performance of ANFE

The same test images are used for each model shown in Figure 5. These models were tested on 20000 images, including 10000 women and 10000 men. When the Figure 5(a) is examined, it is observed that success of ANFE approach ranged between 96.5% and 99.92% according to gender. When all the average gender embeddings are examined, it is seen that the most appropriate study group is 10K (10K female and 10K male average gender embeddings). In the tests performed for this data set, the gender of 8 women (99.92%) and 353 men (96.47%) were incorrectly estimated. When the incorrect data were examined, it was found that unknown persons in males were generally Far Eastern. False negatives are given in the Figure 6.



Figure 6. False negatives

In the next step of the study, calculated distance values for correctly predicted female and male classes were investigated. As a result of the investigations, the mean values of the distance values from the images used in the tests to the ANFE vectors in their class were 0.6, and this value was observed as 0.65 on the wrongly estimated images (Figure 7).

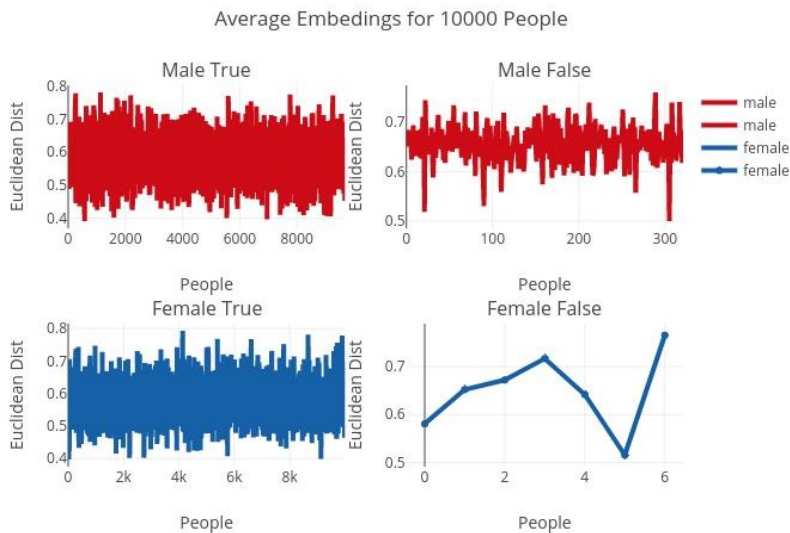


Figure 7. Suitable working range of ANFE

The second test was performed using 10K ANFE vectors determined at the end of the first test. For this test, facescrub (31.370 male and 26.631 female) data set were used. Of the 58,001 images, 228 (62 male, 166 female) pictures were incorrectly estimated. As a result of this test, it was observed that the system achieved 99.802% success in men and 99.376% success in women.

## 4. Conclusion

In this study, ANFE method which is a new, fast and simple approach instead of classical data classification methods for gender recognition is presented. The success of the proposed method was demonstrated by the tests performed.

All tests were examined and two races were identified that prevented success. One of them is black people and the other is Asian. The main reason for this is that the dlib model does not have enough picture of people related to these races. In the next study, it will be re-trained to address these shortcomings in the facial recognition model. A new study will be conducted with the new model trained.

## Acknowledgement

This study was carried under the project “Deep Learning and Big Data Analysis Platform (DEGIRMEN)” supported by Presidency of the Republic of Turkey, Presidency for Defence Industries (SSB).

## References

- [1] Hinton, G. E., Osindero, S., & Teh, Y. W. (2006). A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural computation*, 18(7), 1527-1554.
- [2] Geitgey, A., Available: [https://github.com/ageitgey/face\\_recognition](https://github.com/ageitgey/face_recognition)
- [3] Zhang, C., & Zhang, Z. (2014). Improving multiview face detection with multi-task deep convolutional neural networks. *In Applications of Computer Vision (WACV), 2014 IEEE Winter Conference on*, 036-1041.
- [4] Jain, V., & Learned-Miller, E. (2010). Fddb: A benchmark for face detection in unconstrained settings (Vol. 2, No. 6). UMass Amherst technical report.
- [5] Sun, Y., Wang, X., & Tang, X. (2013). Deep convolutional network cascade for facial point detection. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3476-3483).
- [6] Zhang, Z., Luo, P., Loy, C. C., & Tang, X. (2014, September). Facial landmark detection by deep multi-task learning. In *European conference on computer vision* (pp. 94-108). Springer, Cham.
- [7] Eidinger, E., Enbar, R., & Hassner, T. (2014). Age and gender estimation of unfiltered faces. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(12), 2170-2179.
- [8] Hassner, T., Harel, S., Paz, E., & Enbar, R. (2015). Effective face frontalization in unconstrained images. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 4295-4304).
- [9] Levi, G., & Hassner, T. (2015). Age and gender classification using convolutional neural networks. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition workshops* (pp. 34-42).
- [10] Ranjan, R., Patel, V. M., & Chellappa, R. (2017). Hyperface: A deep multi-task learning framework for face detection, landmark localization, pose estimation, and gender recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 41(1), 121-135.
- [11] Rothe, R., Timofte, R., & Van Gool, L. (2018). Deep expectation of real and apparent age from a single image without facial landmarks. *International Journal of Computer Vision*, 126(2-4), 144-157.
- [12] Mansanet, J., Albiol, A., & Paredes, R. (2016). Local deep neural networks for gender recognition. *Pattern Recognition Letters*, 70, 80-86.
- [13] Antipov, G., Baccouche, M., Berrani, S. A., & Dugelay, J. L. (2017). Effective training of convolutional neural networks for face-based gender and age prediction. *Pattern Recognition*, 72, 15-26.
- [14] Xing, J., Li, K., Hu, W., Yuan, C., & Ling, H. (2017). Diagnosing deep learning models for high accuracy age estimation from a single image. *Pattern Recognition*, 66, 106-116.
- [15] Moeini, H., & Mozaffari, S. (2017). Gender dictionary learning for gender classification. *Journal of Visual Communication and Image Representation*, 42, 1-13.
- [16] Qawaqneha, Z., Mallouha, A.A. & Barkana, B.D. (2017, November). Age and gender classification from speech and face images by jointly fine-tuned deep neural networks. *Expert Systems with Applications*, 85, 76-86.
- [17] Smith, P., & Chen, C. (2018, December). Transfer Learning with Deep CNNs for Gender Recognition and Age Estimation. In *2018 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2564-2571.
- [18] Dhomne, A., Kumar, R., & Bhan, V. (2018). Gender Recognition Through Face Using Deep Learning. *Procedia Computer Science*, 132, 2-10.
- [19] Xu, L., Fan, H., & Xiang, J. (2019, September). Hierarchical Multi-Task Network For Race, Gender and Facial Attractiveness Recognition. In *2019 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 3861-3865.
- [20] King, D.E. (2009, July). Dlib-ml: A machine learning toolkit. *Journal of Machine Learning Research*, 1755-1758.
- [21] Amos, B., Ludwiczuk, B. & Satyanarayanan, M. (2016). Openface: A general-purpose face recognition library with mobile applications." *CMU School of Computer Science* 6.
- [22] He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. (2016). Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 770-778.
- [23] Schroff, F., Kalenichenko, D., & Philbin, J. (2015). Facenet: A unified embedding for face recognition and clustering. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 815-823.
- [24] Weinberger, K.Q., & Saul, L.K. (2009). Distance metric learning for large margin nearest neighbor classification. *Journal of Machine Learning Research*, 10, 207-244.
- [25] Ng, H.W., & Winkler, S. (2014, October). A data-driven approach to cleaning large face datasets. In *2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 343-347.



# The Stratigraphic and Petrographic Properties of the Rocks in Davut – Tazekent Vicinity, Diyadin-Ağrı-Turkey\*

Gürsel Kansun<sup>1†</sup>, Ahmad Omid Afzali<sup>2</sup>, Fatih Üçgün<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-4581-6076)

<sup>2</sup> Afghanistan Academy of Sciences, Department of Geosciences, Kabul, Afghanistan

<sup>3</sup> Geothermal Energy Engineering and Consultancy Services, İzmir, Turkey

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf68)

**ATIF/REFERENCE:** Kansun, G., Afzali, A. O., & Üçgün, F. (2020). The Stratigraphic and Petrographic Properties of the Rocks in Davut – Tazekent Vicinity, Diyadin-Ağrı-Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 528-551.

## Abstract

The study is located in vicinity of Taşbasamak, Tazekent, Davut, Boyalan, Kuşburnu and Ulukent villages in the south of Diyadin district of Ağrı city. In the study area, Paleozoic aged Batbeyli metamorphites which consist of crystallized limestones which contain calc-schist interlevels are observed at the bottom. The Upper Miocene aged Alibonca formation composed of conglomerate, trachyandesitic tuff-agglomerate, sandy limestone, marl, dolomite-dolomitic limestone and lacustrine limestone are located unconformably on these metamorphites. Upper Miocene aged Sekirdağ volcanites consisting of dacitic - rhyodacitic tuffs, agglomerates and lavas are observed by lateral - vertical transition over the Alibonca formation. Higher up, Lower Pliocene aged Solhan volcanites are composed of alkaline basaltic lavas are observed. The Solhan volcanites are covered by Upper Pliocene aged Hamur volcanites consisting of trachyandesitic lava and ignimbrite. Higher up, Upper Pliocene-Pleistocene aged Kale pyroclastics consisting of lapilli tuff, ash, volcanic bomb, slag and agglomerate with alkaline basalt composition are observed. These pyroclastics are covered by Upper Pliocene-Pleistocene aged Tutak volcanites which are composed of alkaline basalts. At the top, travertine and alluvium are found.

*Calcite + dolomite ± quartz ± muscovite* mineral paragenesis is observed in metacarbonates belonging to Batbeyli metamorphites. The tuffs belonging to the Kuşburnu pyroclastic member include *quartz, plagioclase, sanidine, clinopyroxene (diopside/augite), biotite, amphibole (hornblende), sphene, opaque mineral, volcanic glass and litic fragment*. These tuffs were named as *lapillistone and ash tuff* “according to grain size”, *trachyandesite tuff* “according to composition and grain size”, *lapillistone, ash tuff and lapilli tuff* “according to percentage distribution of grains” and *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments composition”. The tuffs of Sekirdağ volcanites contain *quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral, volcanic glass and litic fragment*. The dacitic and rhyodacitic lavas belonging to these volcanites include *quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral, plagioclase microlites and volcanic glass*. Tuffs belonging to Sekirdağ volcanites were named as *lapillistone and ash tuff* “according to grain size”, *rhyodacitic tuff and dacitic tuff* “according to composition and grain size”, *lapillistone and ash tuff* “according to percentage distribution of grains” and *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments”.

Alkaline basalts of Solhan volcanites include *quartz, olivine, clinopyroxene (diopside/augite), apatite, opaque mineral and plagioclase microlites*. *Plagioclase, sanidine, amphibole (hornblende), clinopyroxene (diopside/augite), apatite, opaque mineral, plagioclase and sanidine microlites* are observed in trachyandesites belonging to Tazekent trachyandesite member. *Plagioclase, hornblende, clinopyroxene, sanidine, pumice fragments, litic fragments and volcanic glass* are located in ignimbrites belonging to Dalören ignimbrite member. The tuffs of Kale pyroclastics include *plagioclase, clinopyroxene (diopside/augite), olivine, opaque mineral, volcanic glass and litic fragment*. Agglomerates of Kale pyroclastics include *plagioclase, olivine, clinopyroxene (diopside/augite), orthopyroxene (enstatite), apatite, opaque mineral, volcanic glass and litic fragment*. These tuffs were named as *lapillistone* “according to grain size”, *basaltic tuff* “according to composition and grain size”, *lapilli tuff* “according to percentage

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0002-4581-6076, [gkansun@ktun.edu.tr](mailto:gkansun@ktun.edu.tr)



distribution of grains” and *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments composition”. The agglomerate is in *basaltic agglomerate* composition “according to composition and grain size”. Alkali basalts belonging to Tutak volcanites include *plagioclase, olivine, clinopyroxen (diopside/augite), orthopyroxen (enstatite), apatite, opaque mineral and plagioclase microlites*.

**Keywords:** Diyadin (Ağrı), Stratigraphy, Petrography, Volcanic rocks, Pyroclastic rocks

## Davut – Tazekent Civarındaki Kayaçların Stratigrafik ve Petrografik Özellikleri, Diyadin-Ağrı-Türkiye

### Öz

İnceleme alanı Ağrı ili Diyadin ilçesinin güneyinde Taşbasamak, Tazekent, Davut, Boyalan, Kuşburnu ve Ulukent köyleri civarında yer alır. Çalışma alanında tabanda, kalkıştıradüzeyli kristalize kireçtaşlarından yapıları olan Paleozoyik yaşlı Batıbeyli metamorfiteği gözlenir. Bunun üzerinde konglomera, trakiandezitik bileşimli tuf-aglomera, kumlu kireçtaşı, marn, dolomit-dolomitik kireçtaşı ve görsel kireçtaşından yapıları Üst Miyosen yaşlı Alibonca formasyonu uyumsuzlukla yer alır. Alibonca formasyonu üzerinde dasitik – riyodasitik bileşimli tuf, aglomera ve lavlardan oluşan Üst Miyosen yaşlı Sekirdağ volkanitleri yanal-düşey geçişle gözlenir. Üste doğru alkali bazaltik lavlardan oluşan Alt Pliyosen yaşlı Solhan volkanitleri yer alır. Solhan volkanitleri trakiandezitik lav ve ignimbiritten oluşan Üst Pliyosen yaşlı Hamur volkanitleri tarafından örtülmüştür. Üste doğru alkali bazalt bileşimli lapilli tufu, kül, volkan bombası, cüruf ve aglomeradan oluşan Üst Pliyosen-Pleistosen yaşlı Kale proklastikleri gözlenir. Bu proklastikler alkali bazaltlardan oluşan Üst Pliyosen-Pleistosen yaşlı Tutak volkanitleri tarafından örtülür. En üstte ise traverten ve alüvyonlar yer alır.

Batıbeyli metamorfiteğine ait metakarbonatlarda *kalsit + dolomit ± kuvars ± muskovit* mineral parajenezi gözlenir. Kuşburnu proklastik üyesine ait tüfler *kuvars, plajiolklas, sanidin, klinoproksen (diyopsit/ojit), biyotit, amfibol (hornblend), sfen, opak mineral, volkanik cam* ve *kayaç parçası* içerir. Bu tüfler “tane boyuna göre” *lapilli kayacı* ve *kül tufu*, “bileşim ve tane boyuna göre” *trakiandezitik tuf*, “tanelerin yüzde dağılımına göre” *lapilli kayacı, kül tufu ve lapilli tufu*, “cam-kristaller-kayaç parçaları bileşimine göre” *vitrik tuf* olarak adlandırılmıştır. Sekirdağ volkanitlerine ait tüfler *kuvars, plajiolklas, sanidin, biyotit, amfibol (hornblend), opak mineral volkanik cam* ve *kayaç parçası* içerir. Bu volkanitlere ait dasitik ve riyodasitik lavlar *kuvars, plajiolklas, sanidin, biyotit, amfibol (hornblend), opak mineral plajiolklas mikrolitleri ve volkanik cam* içerir. Sekirdağ volkanitlerine ait tüfler “tane boyuna göre” *lapilli kayacı* ve *kül tufu*, “bileşim ve tane boyuna göre” *riyodasitik tuf ve dasitik tuf*, “tanelerin yüzde dağılımına göre” *lapilli kayacı ve kül tufu*, “cam-kristaller-kayaç parçaları bileşimine göre” *vitrik tuf* olarak adlandırılmıştır.

Solhan volkanitlerine ait alkali bazaltlar *kuvars, olivin, klinoproksen (diyopsit/ojit), apatit, opak mineral ve plajiolklas mikrolitleri* içerir. Tazekent trakiandezit üyesine ait trakiandezitler içerisinde *plajiolklas, sanidin, amfibol (hornblend), klinoproksen (diyopsit/ojit), apatit, opak mineral, plajiolklas ve sanidin mikrolitleri* gözlenir. Dalören ignimbirit üyesine ait ignimbiritler içerisinde *plajiolklas, hornblend, klinoproksen, sanidin, pomza parçaları, kayaç parçaları ve volkanik cam* yer alır. Kale proklastiklerine ait tüfler *plajiolklas, klinoproksen (diyopsit/ojit), olivin, opak mineral, volkanik cam ve kayaç parçası* içerir. Kale proklastiklerine ait aglomeralar *plajiolklas, olivine, klinoproksen (diyopsit/ojit), ortoproksen (enstatit), apatit, opak mineral, volkanik cam ve kayaç parçası* içerir. Bu tüfler “tane boyuna göre” *lapilli kayacı*, “bileşim ve tane boyuna göre” *bazaltik tuf*, “tanelerin yüzde dağılımına göre” *lapilli tufu*, “cam-kristaller-kayaç parçaları bileşimine göre” *vitrik tuf* olarak adlandırılmıştır. Aglomera ise “bileşim ve tane boyuna göre” *bazaltik aglomera* bileşimindedir. Tutak volkanitlerine ait alkali bazaltlar *plajiolklas, olivin, klinoproksen (diyopsit/ojit), ortoproksen (enstatit), apatit, opak mineral ve plajiolklas mikrolitleri* içerir.

**Anahtar Kelimeler:** Diyadin (Ağrı), Stratigrafi, Petrografi, Volkanik kayaçlar, Proklastik kayaçlar

### 1. Introduction

The study area covers the area of 135 km<sup>2</sup> including Günbuldu, Dibekli, Taşbasamak, Tazekent, Davut, Boyalan, Taşkesen, Kuşburnu, Yukarı Dalören and Ulukent villages in the south of Diyadin district of Ağrı province (Figure 1). The aim of this study is to determine the stratigraphic and petrographic properties of the units which are commonly made of volcanic - pyroclastic rocks and outcrops in the region including Diyadin geothermal field.

The study area is an area where dense volcanic activity is observed in Neogene - Quaternary young volcanics (Figure 1). Turkey is located along the Alpine-Himalayan orogenic belt which form a part of Tethys Ocean.

The grabens, faults, volcanoes and hydrothermal alteration zones and related geothermal activities with these are observed throughout this belt (Şimşek, 1997). Turkey's continental crust was shifted northward from Oligo-Miocene with the movement of the Arabian plate and was fractured as Anatolia sub-plate in Pliocene (Irritz, 1972; Şengör and Kidd, 1979; Şengör and Yılmaz, 1981; Koçyiğit et al., 2001). This fragmentation provided magma penetration into Eastern Anatolia and was concluded with formation of various stratovolcanoes including Ağrı, Nemrut, Süphan and Tendürek volcanoes as a result of wide volcanic activity (Şaroğlu et al., 1980).



Previous studies in the region can be summarized as follows: Lambert et al. (1974) divided into two parts as “containing high itrium” at calc-alkaline feature and “containing low itrium” at calc-alkaline - tholeiitic feature to andesitic-dacitic-rhyolitic lavas observed in Ağrı Mount. Kırıl and Çağlayan (1980) stated that Plio-Quaternary aged volcanic and pyroclastic rocks which are tuff, agglomerate, basalt, andesite, dacite and rhyolite were composed in Ağrı, Kağızman and Taşlıçay vicinities and that the basaltic lavas occurred in three separate phases. Innocenti et al. (1981 and 1982) said in their study in Erzurum and Kars vicinities that volcanic rocks which were 8-13 million years old in the region were mostly calc-alkaline and relatively alkaline character and that Tertiary volcanism in Eastern Anatolia was effective to northerly about 6 million years ago.

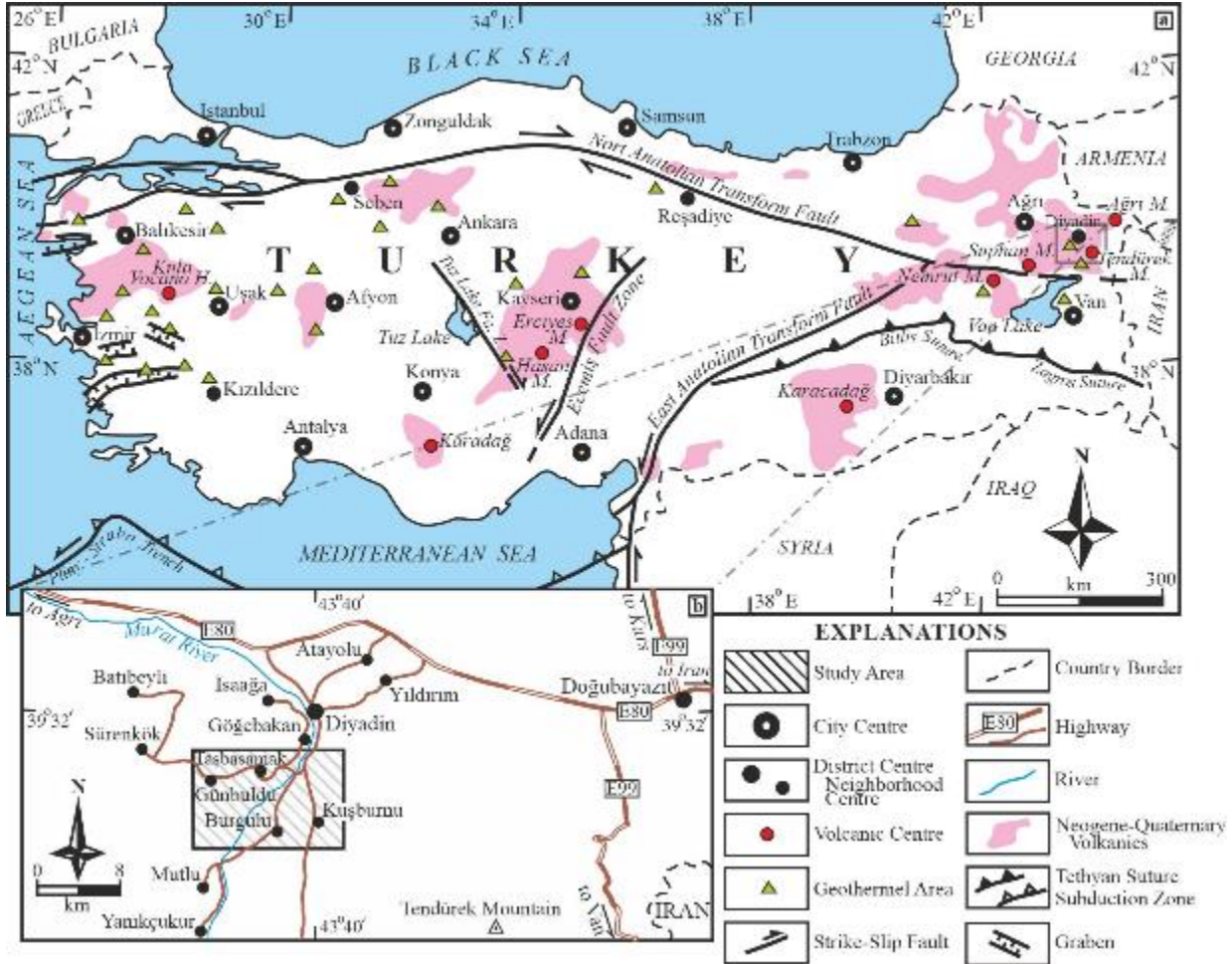


Figure 1. a) The general tectonic features and the young volcanic belts of Turkey (revised from Güleç et al. (2002) and Pasvanoğlu and Chandrasekharam (2011)), b) The location map of the study area

Bilgin (1984 and 1987) stated that Miocene aged volcanites in the vicinity of Serçeme (Erzurum) have the composition ranging from basalt to rhyolite and that they occur as a result of Himalayan type orogenic events developed during the East Anatolian compressional zone in Middle-Upper Miocene. Güner and Şaroğlu (1987) said that Ağrı Mountain completed its formation in 11 different volcanic phases and that the last phase developed towards the end of Upper Quaternary and that hornblende basalts, hyalo andesites and volcanic clays emerged in this last phase. Yılmaz et al. (1987a and 1987b), in petrochemical investigations which they made in volcanic rocks in Bingöl and Muş regions, suggested that the neotectonic period that started in Middle Miocene was formed as a result of the compression regime that started with the continental-continental collision in Eastern Anatolia. These researchers stated that Solhan volcanites were the first products of this phase in the region and that the magma in alkaline character originated from the upper mantle.

Buket (1989) said that the Upper Miocene-Lower Pliocene aged Hamurpet volcanites around Varto (Muş) are composed of basaltic andesite, trachybasalt, trachyandesite, andesite, latite and dacite and these are in alkali, calc-alkaline and partly tholeiitic composition. Pearce et al (1990) suggested that volcanic rocks in Kars and Ağrı vicinity have the ages of 7 - 0.5 Million years and that these volcanites occur as a result of subalkaline basalt-andesite-dacite-rhyolite fractionation. Ercan et al. (1990) said that the volcanites in Eastern Anatolia were generally upper continental crust, partly lower crust and rarely mantle origin. These researchers stated that the crust fragments belonging to the Arabian plate which had plunged to the bottom before the collision of the Anatolian and Arabian plates mixed with the magma forming these volcanites.

Türkecan et al. (1992a) were distinguished the Upper Oligocene - Lower Miocene aged Üryanbaba volcanites, the Middle-Upper Miocene aged Cemalverdi volcanites and the Upper Miocene aged Sekirdağ volcanites in Patnos-Hamur (Ağrı) and Tutak (Van) vicinities. Türkecan et al. (1992b) stated that the lavas observed in Hamur (Ağrı) region were the three levels and that the alkaline

silicic volcanites were composed of lava, obsidian and ignimbrite and that peralkaline ignimbrite had the very widespread outcrop. Ercan and Asutay (1993) said that Bingöl volcanites consisted of basaltic lava flows, tuffs, agglomerates and trachytes and they are formed by partial melting in the mantle.

Ercan et al. (1994) stated that basic rocks consisting of schist, marble, ophiolite and the young units consisting of claystone, tuff and marls surfaced in Diyardin, Zilan and Çaldıran regions. Erişen et al. (1996) said that Paleozoic aged marble, Neogene aged limestone, lava, tuff and volcanic sandstone surfaced in Diyardin region and that the dominant tectonic regime in the region was NE-SW, N-G, NW-SE trending.

Sümengen (2009a), in the study which he made in Karayazı (Erzurum), Aras (İğdır) and Tahir (Ağrı) regions, stated that Paleozoic aged Akdağ metamorphites consisting of gneiss, amphibolite, schist and marble and Kağızman complex consisting of ophiolite and rock types of sedimentary origin form the bottom in the region. The researcher said that the Çullu formation, which is composed of Late Miocene aged tuff, tuffite, sandstone and marl interlevels, was conformably observed on the Late Miocene aged Yastıktepe formation consisting of alternation of conglomerate, sandstone and marl. This researcher stated that the Late Miocene aged volcanites in the region are represented by Kaletepe volcanites consisting of pyroclastics and andesitic lavas and Sekirdağ volcanites consisting of dacite, rhyodacite, pyroclastic and andesite. He claimed that the Plio-Quaternary aged Karayazı volcanites are composed of basalt and andesite and same aged Tutak volcanites are composed of basalt, hawaiite and mugearite.

Sümengen (2009b) states that the Kağızman complex is located on the Paleozoic aged Akdağ metamorphic rocks which form the bottom in Patnos (Ağrı) and Malazgirt (Muş) vicinities. This researcher said that Middle-Late Miocene aged Cemalverdi volcanites, which consist of andesites and dacites, are unconformably overlain by Pliocene aged sediments and volcanites. This researcher stated that Upper Miocene aged units is represented by Karaali formation consisting of alternation of sandstone, claystone, shale and gypsum, Alibonca formation consisting of conglomerate, mudstone, siltstone and gypsum and Sekirdağ volcanites at calc-alkaline feature consisting of andesite-dacite type lavas in the region. This researcher said that the Solhan volcanites, which consist of Early Pliocene aged basalt, mugearite, hawaiite and benmorite type lava flows, were lateral - vertical transition with Pliocene aged Zırnak formation consisting of conglomerate, sandstone, claystone and limestone. This researcher indicated that the Plio-Quaternary aged Bulanık formation and Tutak volcanites are unconformably observed on Pliocene aged Hamur volcanites consisting of dacite, trachyte and ignimbrite in the region. This researcher suggested that the volcanism in the region started in the alkaline character and then ended with Süphan volcanites, which showed calc-alkaline character.

Açlan and Turgut (2017) stated that plutonic and volcanic units are observed around Şekerbulak (Ağrı). They said that the plutonic units were represented by Taşlıçay Granitoid consisting of tonalite, granodiorite, monzogranite and granite. They indicated that Yeltepe trachyandesite and Yuva rhyolite are formed the volcanic units. These researchers suggested that volcanic units showed subalkalic, calcalkalic, high K series and shoshonitic features.

In addition, some of the studies on the Diyardin geothermal field in the study area were described by Alpman (1974), Ercan et al. (1994), Erişen et al. (1996), Eşder (1997), Burçak et al. (1997), Keskin (1998), Eltez et al. (2001), Pasvanoglu (2013) and Mutlu et al. (2013). Çolakoğlu et al. (2011) studied the geology and isotope geochemistry of Diyardin (Ağrı) gold formation.

## **2. Material and Method**

In the field studies, detailed geological map of the study area was prepared on Doğubayazıt - I 51-d3, Doğubayazıt - I 51-d4, Doğubayazıt - J 51-a1 and Doğubayazıt - J 51-a2 numbered the topographic maps at the 1/25000 scale by using the geological map which was made by Burçak et al. (1997) (Figure 2). The stratigraphic cross section of the study area was made by taking into consideration ages, stratigraphic positions and boundary relations of the units which outcrops in the study area (Figure 3). During the field studies, 85 rock samples were taken from different units. Thin sections were made from 52 of these samples in Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geological Engineering.

Volcanic rocks were classified in “double triangular diagrams of Streckeisen (1967)” according to their mineralogical composition. In addition, these rock classifications were supported with the geochemical analysis results which were made from these rocks. The pyroclastic rocks were denominated by taking into consideration the grain size, the mineralogical composition and the volcanic glass-lithic fragments composition in the naming diagrams for pyroclastic rocks of Schmid (1981), Pettijohn et al. (1987) and Le Maitre (2005). The mineralogical composition and texture-structure characteristics of the metamorphic rocks are taken into consideration at the nomenclature of metamorphic rocks. The classification diagrams of metamorphic rocks at low and high temperature of Winkler (1979) and percent mineral contents of metamorphic rocks were used in these naming. Also, the structural features of the metamorphic rocks were also taken into consideration in these names. The classification diagrams of Folk (1962) and Dunham (1962) were used in the nomenclature of clastic and carbonate sedimentary rocks.

## **3. Results and Discussion**

### **3.1. Stratigraphy and Petrography**

#### **3.1.1. Batbeyli Metamorphites**

It is composed of crystallized limestones with calcschist interlevels. The unit was named as Batbeyli metamorphics by Çakır (1994). In this study, these metacarbonates were defined as Batbeyli metamorphites. Batbeyli metamorphites are observed in Ulukent Village, Ortadüz Ridge and the southwest of Kuş Ridge in the southwest of the study area (Figure 2).



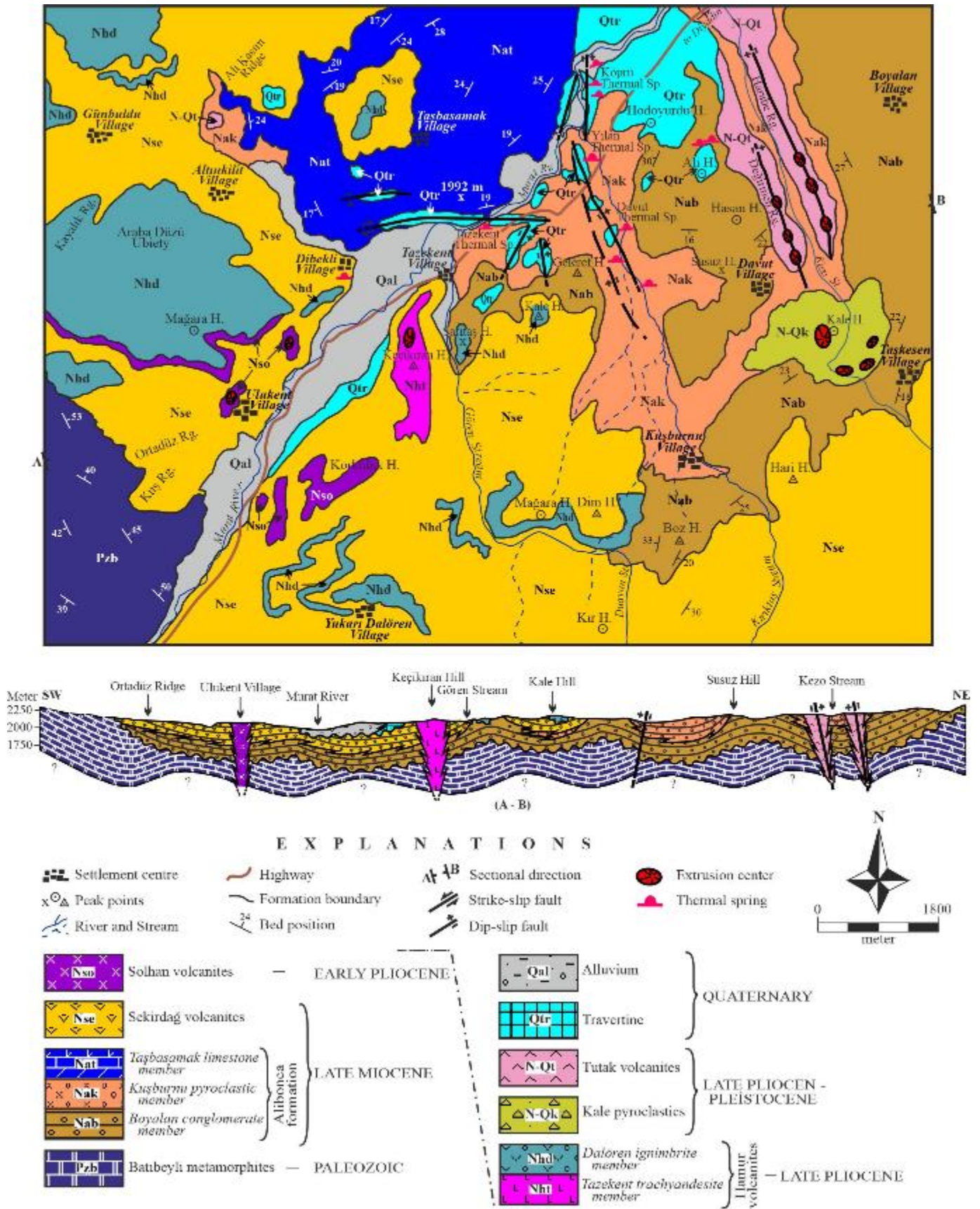


Figure 2. Geological map (revised from Burçak et al. (1997)) and horizontal geology section of the study area

ERATHEM	SYSTEM	SERIES	FORMATION	MEMBER	THICKNESS (meter)	SYMBOL	LITHOLOGY	DESCRIPTIONS
C E N O Z O I C	QUATERNARY	PLEIS-TOCENE	Link Volcanics	Link	30-20	Qnl	[Symbol]	Gravel, sand, clay and silt
								Yellowish cream colored travertine
								Unconformity
	LATE PLEISTOCENE	Kil Pyroclastic	Kil	40	30-100	N-Qk	[Symbol]	Gray-black-reddish alkaline basalts showing columnar and flow structures
								Dark gray-brownish lapilli tuff and volcanic bomb which have alkaline basalt composition
								Unconformity
	EARLY PLEISTOCENE	Hannar Volcanites	Hannar	30	30	Nhd	[Symbol]	Brown-black ignimbrite showing fiamme structure. Gray-brown trachyandesitic lav interlevels including rarely gas cavities are observed
								Gray-dark gray-brownish colored trachyandesites
								Dark gray-black surface colored and brown alteration colored alkali basaltic lavas showing columnar textures and gas cavities
	MIDDLE PLEISTOCENE	Sulhan Volcanites	Sulhan	40	40	Nso	[Symbol]	Unconformity
								Whitish light gray dacitic-rhyodacitic tuff and agglomerate. In the upper levels, dark gray dacitic and rhyodacitic lavas are observed
								Gray-yellowish gray-pinkish, thin-medium bedded, frequently folded limestone and dolomitic limestone
	LATE MIOCENE	Sekirdag Volcanites	Sekirdag	100-200	100-200	Nse	[Symbol]	White-light gray lacustrine limestone
								Gray-bluish gray sandy limestone, marl, dolomite and dolomitic limestone including chert interlevels
								Light gray-yellowish colored, pyritic limonitized, tuff and agglomerate with trachyandesitic composition
EARLY MIOCENE	Aibumen	Kugburnu Pyroclastic	200-250	200-250	Nak	[Symbol]	Red-yellowish-burgundy colored conglomerate which is include gravels of marble and schist rocks	
							Unconformity	
							Gray-dark gray-whitish gray colored crystalline limestones. They include calc-schist interlevels	
LATE MIOCENE	Ishbasamak Limestone	Ishbasamak	150-200	150-200	Nat	[Symbol]	Light gray-yellowish colored, pyritic limonitized, tuff and agglomerate with trachyandesitic composition	
							Red-yellowish-burgundy colored conglomerate which is include gravels of marble and schist rocks	
							Unconformity	
PALEOZOIC	Batibeyli Metamorphites	Boyalan Conglomerate	200-250	200-250	Nab	[Symbol]	Unconformity	
							Red-yellowish-burgundy colored conglomerate which is include gravels of marble and schist rocks	
							Gray-dark gray-whitish gray colored crystalline limestones. They include calc-schist interlevels	

Figure 3. Stratigraphic cross section of the study area

In the unit, dolomitic limestone and calcschist interlevels are observed. Crystallized limestones are gray, dark gray, whitish gray in color, generally layered and sometimes blocky in appearance (Figure 4). Layer thicknesses vary between 10-30 cm. They are mostly coarse and sometimes fine grained. Secondary calcite veins are sometimes observed in crystallized limestones. Dolomitic limestones, which are observed as interlevels in crystallized limestones, are gray-dark gray colored and thin-medium bedded. Layer thicknesses vary between 10-25 cm. Dolomitic limestones are very hard and medium-coarse grained. These metacarbonates are operated as marble and crushed stone. Metacarbonates belonging to Batibeyli metamorphites contain yellowish greenish gray colored calcschist interlevels. The calcschists have schistosity structure due to the phyllosilicate minerals such as muscovite and chlorite.



Figure 4. Crystallized limestones belonging to Batibeyli metamorphites observed in the southwest of the study area



Especially in metacarbonate levels, overturned and oblique isoclinal folds are observed in some places due to deformation effect. In addition, abundant small scale faults were found in the unit. As a result of these tectonic movements, metacarbonates gained dense fractured structures at vertical and oblique position to bedding.

*Calcite + dolomite ± quartz ± muscovite* mineral paragenesis is observed in metacarbonates belonging to Batıbeyli metamorphites. These metacarbonates, characterized by their massive structures, are typically granoblastic in texture. *Calcite + chlorite (ripidolite-picnochlorite) + muscovite ± quartz ± opaque minerals* are observed as interlevels between metacarbonates (Figure 5).

The calcite crystals are more than 90% in the crystallized limestones (Figure 5-a). 73-82% calcite and 16-24% dolomite crystals is observed in dolomitic limestones. Calcites, commonly observed in these metacarbonates, are generally xenoblastic, and have high-very high birefringence and distinct duplex cleavage in some crystals. Dolomite crystals observed in dolomitic limestones are generally xenoblastic and sometimes typical with romboeder appearance. Quartz and muscovite crystals in metacarbonates are observed in minor ratios (1% quartz, 1% muscovite).

Calcites, which constitutes the main component of the calcschists, are 52 - 65% in these rocks. The muscovites (15-24%) observed in the calc- schists are platy-shaped and show flat extinct. Chlorites, which are observed as 12-18%, are leafy-platy-shaped, green colored and probably in “ripidolite-picnochlorite” composition. Muscovite and chlorite elongated in one direction within the calcschists gave these rocks a granolepidoblastic texture (Figure 5-b).

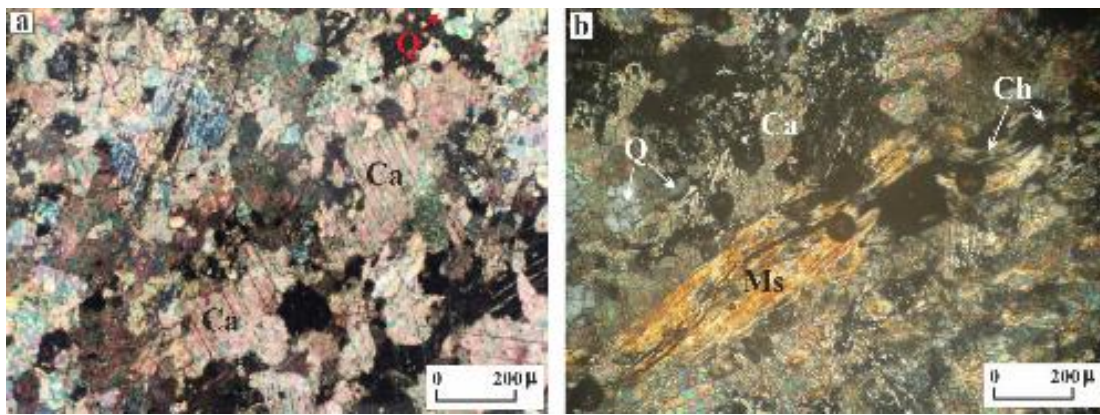


Figure 5. The view from crystallized limestone (a) and calcschist (b) belonging to Batıbeyli metamorphites. Ca: Calcite, Q: Quartz, Ch: Chlorite and Ms: Muscovite, // Nicol

Batıbeyli metamorphites, which form the basis of the study area, show dense folds due to their intense deformation effects. That the unit form the basis and it shows folded structure complicate to give real thickness to the formation. On the other hand, when the outcrops in the study area of the unit and tectonic structures (folds) of the metacarbonates take into account, the formation presents a visible thickness of approximately 400 m. Batıbeyli metamorphites, whose bottom surface cannot be observed in the study area, are unconformably overlain stratigraphically by Alibonca formation (Figures 2 and 3). The unit is unconformably overlain by Sekirdağ volcanites and Dalören ignimbrites belonging to the Hamur volcanites in the southwest of the study area (Figure 2). Batıbeyli metamorphites are Paleozoic aged according to Çakır (1994). Batıbeyli metamorphites show comparable properties with the metacarbonate levels of the Akdağ metamorphites outcropping in Patnos (Ağrı) and Malazgirt (Muş) vicinities.

### 3.1.2. Alibonca Formation

Conglomerates (Boyalan conglomerate member) are observed at the lower levels of this formation. Higher up trachandesitic tuffs and agglomerates (Kuşburnu pyroclastic member) take place in lateral-vertical transition. At the top, crystallized limestones and dolomitic limestones (Taşbasamak limestone member) are observed by lateral-vertical transition (Figure 3). Alibonca formation was first named by İlker (1966). This researcher states that the Alibonca formation consists of conglomerate, mudstone, sandstone, siltstone, marl, clayey limestone, gypsum and pyroclastic rocks.

#### 3.1.2.1. Boyalan Conglomerate Member

The unit is made up of conglomerates. It was named as Boyalan conglomerate member within Alibonca formation in relation to Boyalan Village in the northeast of the study area where typical outcrops are observed. The unit is observed particularly in the vicinities of Boyalan Village, the north of Davut Village, Geleref Hill and Taşkesen Village in the east the examination area (Figures 2 and 6).

Boyalan conglomerate member consists of reddish-yellowish burgundy colored conglomerates. The sandstone and mudstone interlevels are observed sometimes within the unit. Marble, schist, chert and tuff pebbles are seen in the conglomerates. The pebbles are generally semi-angular and semi-round, and the grain sizes of pebbles are quite variable. Conglomerates show medium-thick bedding and medium-good grading (Figure 6). They contain material ranging from mud size to large block size. The matrix of the conglomerates generally consist of carbonates. The sandstone levels in the unit are medium bedded, and the layer thicknesses of these levels vary between 5-10 cm. The lamination and cross stratification are prominent in sandstones.





Figure 6. Conglomerates belonging to the Boyalan conglomerate member observed around Boyalan Village

In the conglomerate sample taken from Boyalan conglomerate member, the grains are formed from chert fragments, crystallized limestone pebbles and magmatic rock pebbles (Figure 7-a). In this rock containing carbonate matrix, the ratio of matrix is more than 1%. The grains are round and close to the round. Since the pebbles in this conglomerate come from outside the deposition basin, they are named as “*epiclastic conglomerate*”. The naming according to textures of conglomerates is “*paraconglomerate*”. That the grains which form conglomerate are very different indicate to “*polymictic conglomerate*”. They was named as “*extraformational conglomerate*” according to the origin of the grains.

In the mudstone sample taken from Boyalan conglomerate member, sparite (47%), micrite (35%), extraclast (quartz, rock fragment, opaque beads) (15%), allochem (intraclast (3%), pellet (3%), fossil (3%)) and porosity (3%) were observed. This rock was named as “*crushed poorly sorted pel-bio-intrasparite*” according to Folk (1962) and as “*mudstone*” according to Dunham (1962) (Figure 7-b).

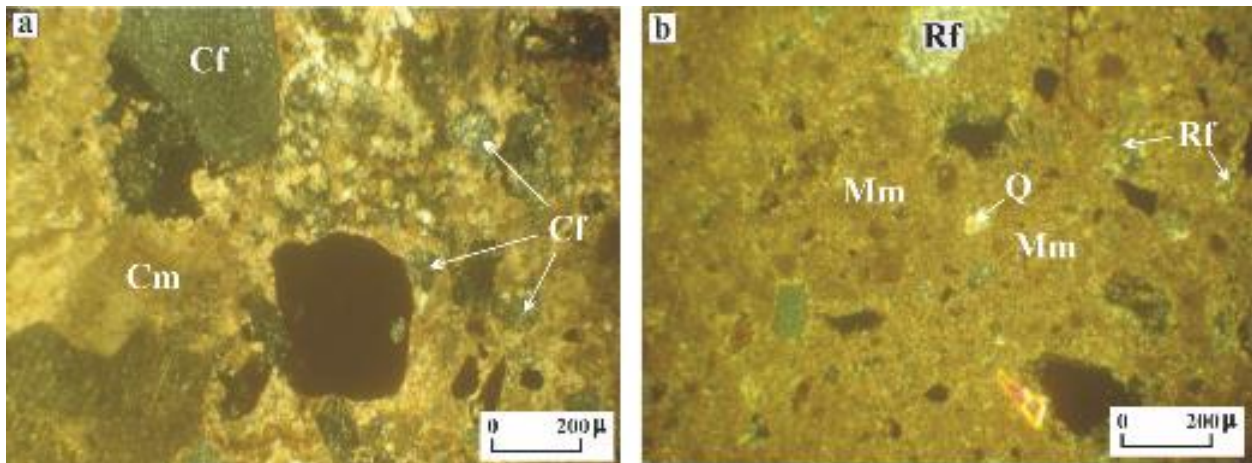


Figure 7. The views of the conglomerate (a) and mudstone (b) belonging to Boyalan conglomerate member. Cf: Chert fragment, Cm: Carbonate matrix, Rf: Rock fragment, Mm: Micritic matrix. // Nicol

Boyalan conglomerate member presents a visible thickness of 200-250 m in the study area. The unit is observed unconformably stratigraphically over Batıbeyli metamorphites from below. On the other hand, stratigraphically it is covered with lateral-vertical transition by Kuşburnu pyroclastic member which is formed tuffs and agglomerates belonging to Alibonca formation (Figure 3). The Boyalan conglomerate member is unconformably overlain by Sekirdağ volcanites in Taşkesen Village vicinity and Kale pyroclastics in Kale Hill vicinity in southeast of the study area. The unit is unconformably covered by ignimbrites belonging to Hamur volcanites in Sarıtaş Hill vicinity (Figure 2).

Boyalan conglomerate member shows similar features with Yastıktepe formation which defined in Karayazı (Erzurum) region by Sümengen (2009a) and with conglomerate-mudstone levels of Alibonca formation which defined in Bulanık (Muş) region by

Sümengen (2009a). Upper Miocen age was given to Yastiktepe formation according to stratigraphic position of this formation and Ostragod fossils, such as *Cordona angulata*, *Ilyocypris bradyi* and *Cyprinotus salinus*, by Sümengen (2009a).

### 3.1.2.2. Kuşburnu Pyroclastic Member

The unit is composed of tuffs and agglomerates in trachyandesitic composition. It was named as Kuşburnu pyroclastic member in Alibonca formation since it was observed typically in Kuşburnu village vicinity. It is also observed in the western and eastern parts of Davut Village, in the Davut Thermal Spring, Tazekent Thermal Spring and Yılanlı Thermal Spring vicinities and on the eastern and western slopes of Harabe Ridge (Figure 2).

The tuffs, tuffites and agglomerates which are light gray - yellowish colored and in trachyandesitic composition are observed in Kuşburnu pyroclastic member (Figure 8). The tuffs are easy dispersible feature. The tuffites show good bedding and bed thickness vary. Disseminated pyritic zones are observed within the unit. It is seen that these pyrite turn sometimes into limonite at alteration result.



Figure 8. A view from the tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member observed in the vicinity of Kuşburnu Village

The tuffs and tuffites were formed by fusion of ash and lapilli grains. Gray colored quartz, whitish colored plagioclase, whitish gray colored and shiny looking sanidine and black - brown colored - platy-shaped biotite are observed in these rocks. In addition, these rocks have a fine-grained phase (matrix) which can not be seen by eye in macro samples. These rocks are composed of different grain sizes and show porphyritic texture.

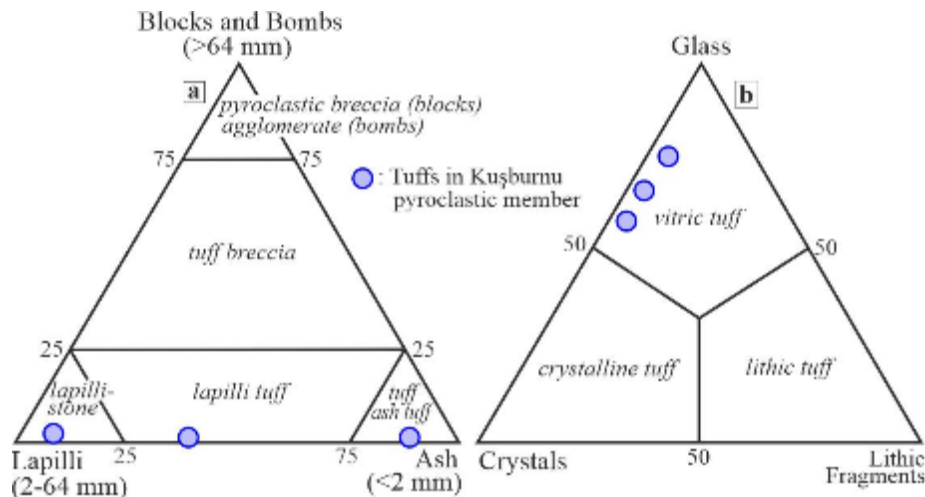
Agglomerates were formed by attaching with a matrix composed of a volcanic material of volcanic rock fragments which are pebble-block size. The volcanic matrix consists of ash-sized materials. Within the agglomerates, the volcanic material which is observed in block size consists of trachyandesites. These trachyandesites are gray - dark gray in color and consist of plagioclase, sanidine, biotite, hornblende, pyroxene phenocrystals and matrix. These rocks show porphyritic texture.

The tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member contain *quartz*, *plagioclase*, *sanidine*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *biotite*, *amphibole (hornblende)*, *sphene*, *opaque mineral* in the phenocrystalline phase and *volcanic glass* in matrix phase and also *lithic fragments*. The components, grain sizes and classifications of tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member are shown in Table 1.

Table 1. The components, percent values, grain sizes and classifications of three tuff samples belonging to Kuşburnu pyroclastic member

		Sample Number			
		L12-16	L11-15	L21-27	
The Name of Component	Phenocryst	Quartz	% 1	% 2	-
		Plagioclase	% 12	% 4	% 15
		Sanidine	% 7	% 6	% 11
		Clinopyroxene (Diopside/Augite)	% 2	% 5	-
		Biotite	% 7	-	% 5
		Amphibole (Hornblende)	-	% 2	% 3
		Sphene	-	-	% 2
		Opaque mineral	% 1	% 1	% 2
	Matrix	Volcanic glass	% 66	% 75	% 58
		Litic fragments	% 4	% 5	% 4
Grain Size (in macro sample)	Size (mm)	mostly 2-64 mm	mostly < 2 mm	mostly 2-64 mm	
Distribution of percentage of grains (in macro sample)	< 2 mm	% 07	% 88	% 38	
	2 – 64 mm	% 90	% 10	% 60	
	> 64 mm	% 3	% 2	% 2	
Classification	According to Grain Size	Lapillistone	Ash tuff	Lapillistone	
	According to Composition and Grain Size	Trachyandesitic tuff	Trachyandesitic tuff	Trachyandesitic tuff	
	According to Percentage Distribution of Grains	Lapillistone	Ash tuff	Lapilli tuff	
	According to Glass-Crystals-Litic Fragments Composition	Vitric tuff	Vitric tuff	Vitric tuff	

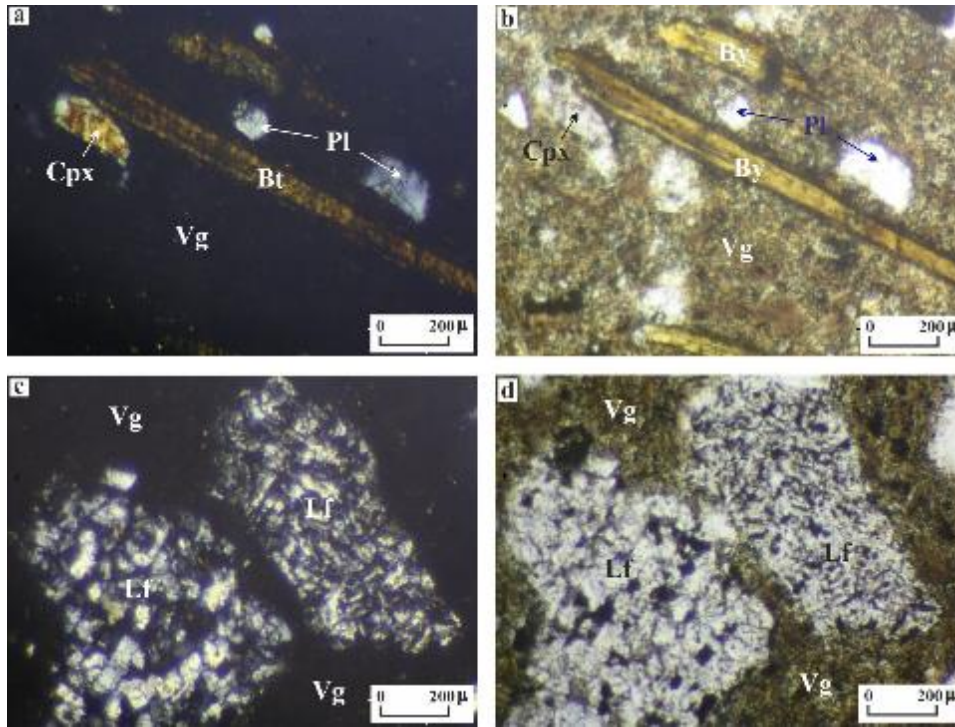
The grain size of two tuff samples is mostly between 2-64 mm and the grain size of one tuff sample is mostly < 2 mm belonging to Kuşburnu pyroclastic member (Table 1). Therefore, these rocks are defined as “lapillistone” and “ash tuff” when they are evaluated in grain size classification diagram of pyroclasts of Schmid (1981). These rocks are in “trachyandesite” composition according to chemical analysis results (Kansun and Üçgün, 2019) and mineralogical compositions of these. When these tuffs are evaluated in the triangular diagram of Le Maitre (2005) according to percentage distribution of grains in pyroclastic rocks, they are named as “lapillistone”, “ash tuff” and “lapilli tuff” (Figure 9-a). The tuffs are seen in “vitric tuff” area in glass-crystals-lithic fragments diagram (Pettijohn et al., 1987) (Figure 9-b).





*Figure 9. Classification diagrams according to percentage distribution of grains (a) and according to glass-crystals-lithic fragments composition (b) for the tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member. Diagram a was gotten from Le Maitre (2005), and Diagram b was gotten from Pettijohn et al. (1987)*

Plagioclases observed in tuffs are generally long prismatic and sub-idiomorphic. Plagioclases show polysynthetic and albite-karlsbad twins. Sanidins typically have karlsbad twins and low angle oblique extinction. Sericitization is observed in places in these feldspar. Biotites which are mafic mineral observed in tuffs are brown colored and platy-shaped (Figures 10-a and b). Clinopyroxenes are very pale green colored and prismatic shaped and show oblique extinction at 45°-48° angle. With these properties, it is thought to have diopside / augite composition of these clinopyroxenes. Amphiboles, which are another mafic mineral in tuffs, are brown colored and show oblique extinction 24°-27° angle and generally long prismatic shape. Amphiboles are probably in hornblende composition. Oxidation in biotites and hornblendes and opacitization in clinopyroxenes and hornblendes are observed. Volcanic rock fragments form to rock fragments in the tuffs (Figures 10-c and d). Tuffs consisting of phenocrysts, volcanic glass and rock fragments show porphyritic texture (Figure 10). Since the matrix in the tuffs consists entirely of volcanic glass, the tuffs have also of vitrophyric porphyritic texture.



*Figure 10. Lapilli tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member. By: Biotite, Pl: Plagioclase, Cpx: Clinopyroxen, Vg: Volcanic glass, Lf: Litic fragment. a and c: // Nicol, b and d: / Nicol*

Kuşburnu pyroclastic member shows an apparent thickness of 200-250 m in the study area. The member shows lateral-vertical transition with Boyalan conglomerate member belonging to Alibonca formation from below. It is overlain stratigraphically with a lateral-vertical transition by Taşbasamak limestone member belonging to Alibonca formation (Figure 3). The unit is cut by alkali basalts belonging to Tutak volcanites in Harabe Ridge vicinity in the northeast of the study area. The unit is unconformably covered by Kale pyroclastics in Kale Hill vicinity in the east of the study area (Figure 2).

Since the trachyandesitic tuffs and agglomerates show lateral-vertical transition with Upper Miocene Boyalan conglomerate member, the age of Kuşburnu pyroclastic member is Upper Miocene. Kuşburnu pyroclastic member offers comparable features with Upper Miocene aged pyroclastics (Sümengen, 2009b) in Patnos (Ağrı) and Malazgirt (Muş) vicinities.

### **3.1.2.3. Taşbasamak Limestone Member**

The unit consists of lacustrine limestone, dolomite and dolomitic limestone. It is named as Taşbasamak limestone member within the Alibonca formation, since it is observed typically in Taşbasamak Village vicinity in north of the study area.

The unit deposited in lacustrine environment starts with sandy limestone, marl, dolomite and dolomitic limestone which contain white, gray, bluish gray chert interlevels at the lower levels. Higher up, It passes to white, light gray colored limestone and gray, yellowish gray, pinkish colored and thin-middle bedded limestone and dolomitic limestones (Figure 3). Limestones, marls and dolomitic limestones observed in the lower and middle levels of the unit show thin-medium-thick bedding. The lignite veins and conglomerate interlevels are observed in limestone containing Planorbis. These carbonate rocks show a transition to clayey limestones and marls with increasing clay content. Marns are distinguished from limestones by their easy brittleness. The weathering colors of the marls observed in light gray color are greenish gray. Marns contain plant clastics and show alternation with limestones which are

sandy-clayed, with abundant micro fossils and thin bedded. The limestones and dolomites observed at the upper levels of the member are thin-medium bedded and show occasionally folded structures.

In the dolomitic limestone sample taken from the Taşbasamak limestone member; micrite (76%), sparite (10%) and fossil shells (14%) are observed (Figure 11-a). The rock was formed by attaching allochems (fragments of the fossil shells) with a micritic matrix. A small amount of sparite greater than 10 microns is also present in the rock. It was found that 65% of micrites and sparites was calcite and 35% of these was dolomite crystals. Neomorphism is observed in the rock. As a result of the neomorphism, the fossil shells were dissolved and they filled with sparite again (Figure 11-a). The grain sizes of the shell fragments in the rock vary from thin to large (Figure 11-a). Sparite crystals in the rock are anhedral and show very high birefringence. In some sparite crystals, bi-directional oblique cleavages are evident. The rock show cracked structure. These cracks developed in several directions. The cracks were subsequently filled by the secondary sparite. This rock, which is named as “dolomitic limestone” in the macro observations, is named as “biomicrite” according to the limestone classification of Folk (1962) considering the above mentioned components in micro (thin section) observations. Since fossils more than 10% are observed in the rock, it can be named as “wackestone” according to the classification of Dunham (1962).

As a result of the thin section study made from another limestone sample taken from Taşbasamak limestone member; sparite (50%), skeletal grain (17%), micrite (25%) and pellet (8%) were observed in the rock. This rock was named as “wackestone” according to Dunham (1962), and as “pel-biosparite” according to Folk (1962) (Figure 11-b).

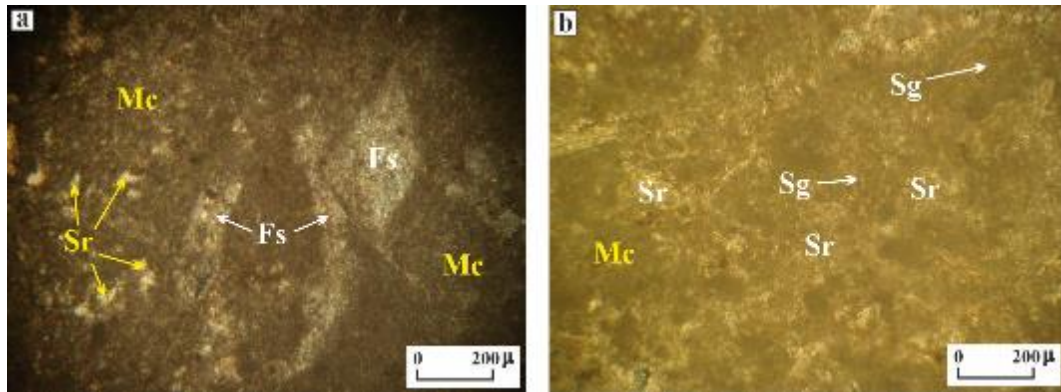


Figure 11: The views from biomicrite (a) and pel-biosparite (b) belonging to Taşbasamak limestone member. Mc: Micrite, Sr: Sparite, Fs: Fossil shell, Sg: Skeletal grain. // Nicol

Taşbasamak limestone member presents a visible thickness of 150-200 m in the study area. The unit stratigraphically shows lateral - vertical transition with tuffs and agglomerates of Kuşburnu pyroclastic member belonging to Alibonca formation from the bottom and with dacitic and rhyodacitic tuffs and agglomerates belonging to Sekirdağ volcanites from the top (Figure 3). The unit is unconformably overlain by Travertine in the western parts of Köprü Thermal Spring (Figure 3).

Taşbasamak limestone member presents comparable features to clayey limestone and marl levels of Upper Miocene aged Alibonca formation in the vicinities of Patnos (Ağrı) and Malazgirt (Muş) (Sümengen, 2009b). In the study area, Taşbasamak limestone member belonging to Alibonca formation shows lateral - vertical transition with Upper Miocene aged Kuşburnu pyroclastic member belonging to the same formation (Figure 3). Therefore, the age of Taşbasamak limestone member is Upper Miocene.

### 3.1.3. Sekirdağ Volcanites

The unit is composed of dacitic and rhyodacitic tuff, agromera and sometimes lava levels. The unit was first named as Sekirdağ volcanites by Türkecan et al. (1992a) according to typical outcrops in Sekirdağ vicinity observed in south of Eleşkirt (Ağrı). Sekirdağ volcanites is observed in vicinities of Günbuldu Village, Altinkilit Village, Dibekli Village, Ulukent Village, Yukarı Dalören Village, Dim Hill, Mağara Hill, Kır Hill and Hari Hill in the study area (Figure 2). Sekirdağ volcanites are composed of whitish light gray colored dacitic-rhyodacitic pyroclastics and dark gray-gray colored dacitic-rhyodacitic lavas (Figure 12). Lava levels are observed in the upper levels of Sekirdağ volcanites. Pyroclastic precipitated from time to time in a water-containing environment. The majority of pyroclastic are agglomerates. Tuffs were formed by fusing ash and lapilli sized grains. The rock fragments of dacites and trachyandesites are common in tuffs. Plagioclase, quartz, sanidine and biotite phenocrysts are prominent in some tuff samples. Volcanic glass forms the fine grained section of the tuffs. The agglomerates were formed by attaching with a volcanic matrix which had ash size of the dacite and trachyandesite rock fragments in the size of gravel and block. The dacitic-rhyodacitic lavas observed in the upper levels of Sekirdağ volcanites are dark gray-gray colored and the flow structures are particularly prominent in the dacitic levels. These rocks, which are characterized by porphyritic textures, are generally thin and rarely medium grained. Quartz, plagioclase, sanidine, hornblende and biotite phenocrysts can be distinguished in these rocks.



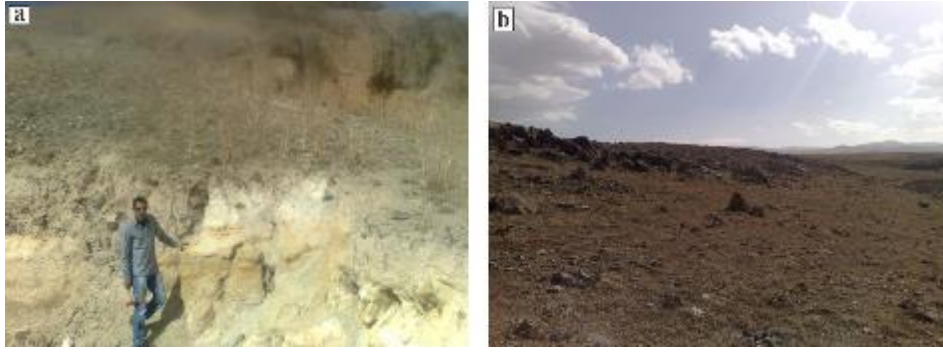


Figure 12. a) The tuffs belonging to Sekirdağ volcanites observed in the northern parts of Ulukent Village, b) The tuffs and lavas belonging to Sekirdağ volcanites observed in the northeastern part of Dim Hill

The tuffs belonging to Sekirdağ volcanites contain quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral in phenocrystal phase and volcanic glass in matrix phase and also litic fragments. The dacitic and rhyodacitic lavas belonging to Sekirdağ volcanites contain quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral in the phenocrystal phase and plagioclase microliths and volcanic glass in matrix phase. Tuffs show vitrophyric porphyritic texture, and lavas show hypocrySTALLINE porphyritic texture. The components, grain sizes and classifications of tuffs and lavas belonging to Sekirdağ volcanites are shown in Table 2.

Table 2. The components, percent values, grain sizes and classifications of two tuffs and two lavas samples of Sekirdağ volcanites

		Sample Number				
		L19-25	L15-21	L32-2	L41-5	
The Name of Component	Phenocryst	Quartz	% 6	% 5	% 8	% 10
		Plagioclase	% 11	% 13	% 26	% 14
		Sanidine	% 9	% 4	% 6	% 10
		Biotite	% 4	% 2	% 17	% 4
		Amphibole (Hornblende)	% 2	% 3	% 10	% 5
		Opaque mineral	% 1	% 1	% 1	% 1
	Matrix	Plagioclase microlites	-	-	% 1	% 2
		Volcanic glass	% 59	% 62	% 31	% 54
	Litic fragments	% 8	% 10	-	-	
Grain Size (in macro sample)	Size (mm)	mostly 2-64 mm	mostly < 2 mm	thin-medium grained	thin-medium grained	
Distribution of percentage of grains (in macro sample)	< 2 mm	% 17	% 88	-	-	
	2 – 64 mm	% 79	% 9			
	> 64 mm	% 4	% 3			
Classification	According to Grain Size	Lapillistone	Ash Tuff			
	According to Composition and Grain Size	Rhyodacitic tuff	Dacitic tuf			
	According to Percentage Distribution of Grains	Lapillistone	Ash tuff	Dacite	Rhyodacite	
	According to Glass-Crystals-Litic Fragments Composition	Vitric tuff	Vitric tuff			

The grain size of one tuff sample which is examined belonging to Sekirdağ volcanites is mostly between 2-64 mm and the grain size of the other tuff sample which is examined is mostly < 2 mm (Table 2). Therefore, these rocks are defined as “lapillistone” and “ash tuff” when they are classified in the grain size classification diagram of the pyroclasts of Schmid (1981). When the chemical analysis results (Kansun and Üçgün, 2019) and the mineralogical compositions (Table 2) in Q-A-P-F diagram (Streckeisen, 1967) of these tuffs are considered, these are “rhyodacite” and “dacite”. When these tuffs are examined in the classification diagram according to percentage distribution of grains in pyroclastic rocks of Le Maitre (2005), they are named as “lapillistone” and “ash tuff” (Figure 13-a). Tuffs are seen as “vitric tuff” in glass-crystals-lithic fragments diagram (Pettijohn et al., 1987) (Figure 13-b). When the analysis results (Kansun and Üçgün, 2019) and the mineralogical compositions in Q-A-P-F diagram (Streckeisen, 1967) of the lavas are considered, these lavas are “dacite” and “rhyodacite” (Table 2).

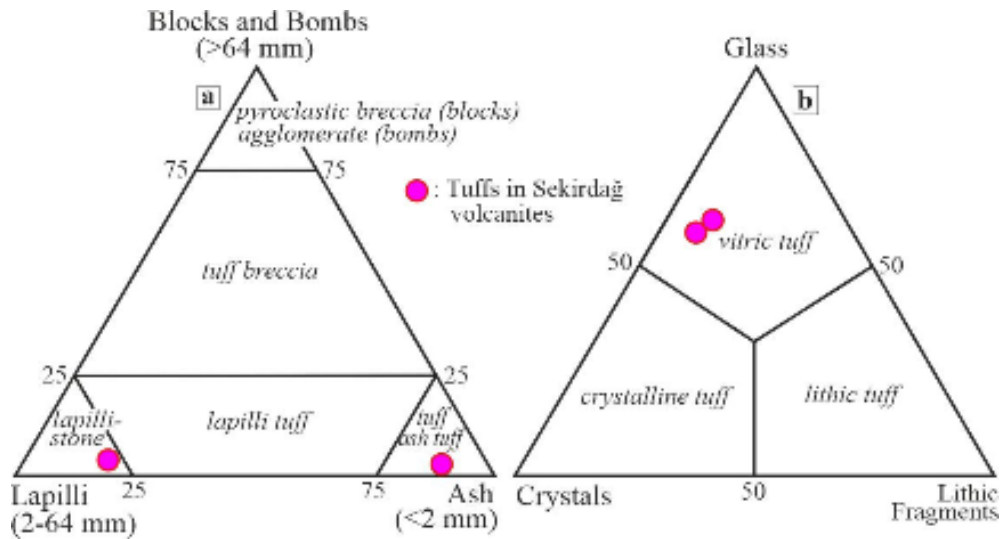


Figure 13. The classification diagrams according to percentage distribution of grains (a) and according to composition of glass-crystals-lithic fragments (b) for the tuffs belonging to Sekirdağ volcanites. Diagram a was gotten from Le Maitre (2005), and Diagram b was gotten from Pettijohn et al. (1987)

The quartzs observed in tuffs and lavas are xenomorphic (Figure 14-a). Plagioclases, which are generally sub-idiomorphic, show typically polysynthetic twins and zoned structures (Figures 14-c and d). The plagioclases in dacitic-rhyodacitic lavas are in oligoclase ( $Ab_{75}An_{25}$ ,  $Ab_{78}An_{22}$ ) and andesine ( $Ab_{66}An_{34}$ ,  $Ab_{52}An_{48}$ ) compositions. Sanidines which are other felsic mineral show typical prismatic form, karlsbad twin and low angle oblique extinction. The biotites in these rocks are brown colored and platy-shaped. The amphiboles are brown colored and show oblique extinction at low angle and prismatic shape (Figures 14-c and d). These amphiboles are in hornblende composition. Amphiboles and biotites which are observed in especially tuffs and in rarely lavas are commonly opacited and oxidized (Figure 14-b). Volcanic rock fragments rock fragments form in tuffs (Figure 14-c).

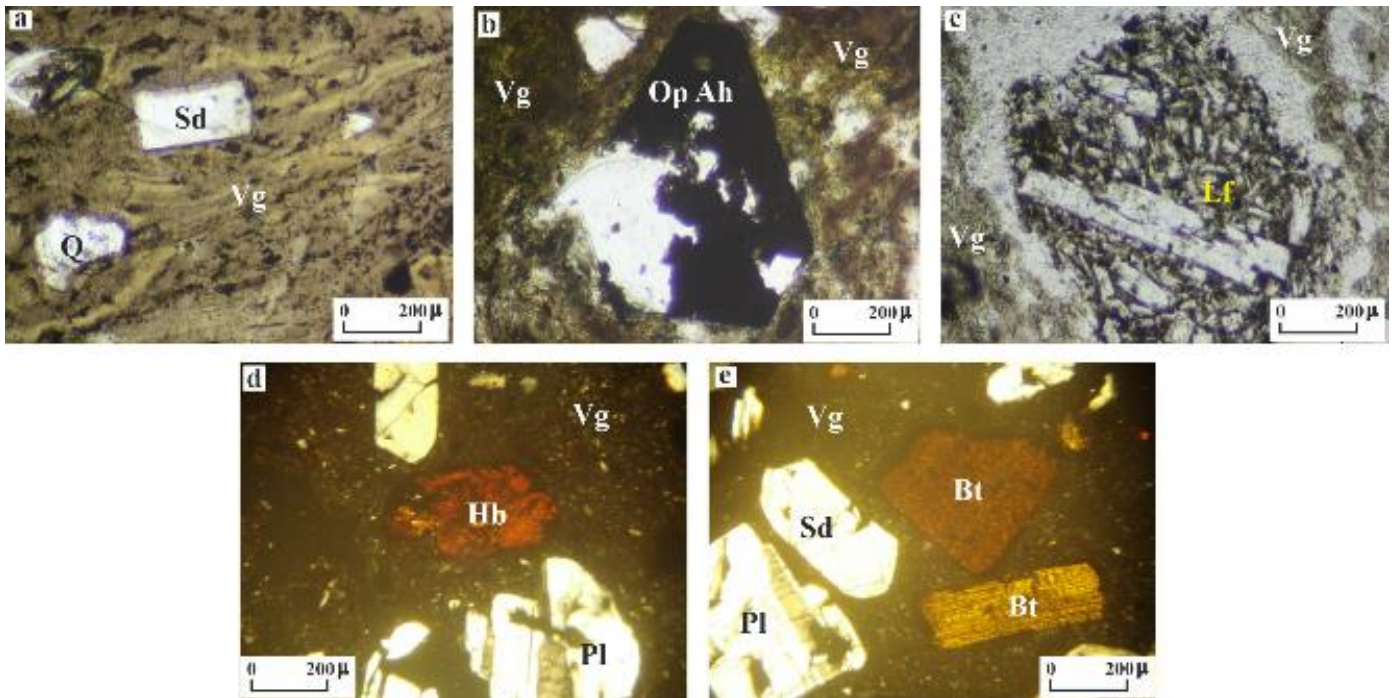


Figure 14. The tuffs (a, b and c) and dacites (d and e) belonging to Sekirdağ volcanites. Q: Quartz, Sd: Sanidine, Vg: Volcanic glass, Op Ah: Opacitated amphibole, Lf: Lithic fragment, Pl: Plagioclase, Hb: Hornblende, Bt: Biotite. a, b and c: / Nicol, d and e: // Nicol

Sekirdağ volcanites show a thickness of 100-200 m in the study area. Sekirdağ volcanites stratigraphically show lateral - vertical transition with Taşbasamaklar member belonging to Alibonca formation. It is overlain by alkaline basalts belonging to Solhan volcanites (Figure 3).

The age of the unit was found as  $11.2 \pm 1.5$  Ma according to the age determinations made from the agglomerates belonging to Sekirdağ volcanites in Eleşkirt-Horasan vicinity (Ercan et al., 1990). Therefore, the age of Sekirdağ volcanites is Upper Miocene.

### 3.1.4. Solhan Volcanites

The unit is mainly composed of alkali basalts. These basalts are called as Solhan volcanites by Yılmaz et al. (1987a) according to their typical outcrops in Solhan (Bingöl) region. The unit is seen in the vicinity of Korkuluk Hill and in the northern part of the Ulukent Village in the central and southwestern parts of the study area (Figure 2).

The unit consists of alkali basalts, which are dark gray-black colored and brown alteration colored and show columnar blocks and occasional gas voids. These basaltic lavas were generally formed by cleft eruption and flowed as plateau lavas. They usually show a massive structure in macro samples. These basalts show a porous structure at the levels where pores which are formed due to gas outlets are more. They are generally fine grained. Plagioclase phenocrysts are sometimes observed as slats in these basalts. Therefore, the basalts show aphanitic porphyritic texture. In some outcrops of alkaline basalts in the study area, columnar block structures are quite characteristic.

Alkali basalts belonging to Solhan volcanites contain quartz, olivine, clinopyroxene (diopside/augite), apatite, opaque mineral in phenocrystal phase and plagioclase microliths in matrix phase. The components, percentage values of the components and rock names of these components of the alkali basalts are shown in Table 3.

Table 3. The components, percent values and rock names of two samples taken from Solhan volcanites

		The Ratio of Component (%)		
		L14-18	L14-19	
The Name of Component	Phenocryst	Plagioclase	5	3
		Olivine	7	5
		Clinopyroxene (Diopside/Augite)	4	8
		Apatite	1	-
		Opaque mineral	1	1
	Matrix	Plagioclase microlites	82	82
The Name of Rock		Olivine basalt	Pyroxene basalt	

The basalts belonging to Solhan volcanites are fine grained. The matrix which is formed from plagioclase microlites is commonly observed in basalts (Figure 15). Phenocrystalline phase of these rocks is less than 20%. Plagioclase, olivine and clinopyroxen form phenocrystal phase. Plagioclases show generally long prismatic shape, polysynthetic - karlsbad twin and distinct zoned structure. These plagioclases are in andesine ( $Ab_{55}An_{45}$ ,  $Ab_{52}An_{48}$ ) and labrador ( $Ab_{37}An_{63}$ ,  $Ab_{40}An_{60}$ ) compositions. Olivines show characteristically prismatic – sub-idiomorphic shapes, colorless-very pale green colors, cracked structures and flat extinctions (Figure 15-a). Clinopyroxenes generally have long-short prismatic shape and oblique extinction at  $42^{\circ}$  -  $44^{\circ}$  angle. It are thought that these pyroxenes, which are very pale green colored, are in diopside/augite composition. The olivines and pyroxenes are observed both in phenocrystalline phase and in matrix phase in basalts (Figure 15-b). These basalts whose matrix are composed of only microliths show holocrystalline porphyritic texture. In some basalts, the microlites extend in one direction and give these rocks a trachytic texture. The porous structure was also found in basalts. Some pores are filled with secondary carbonate minerals. In the study area, the rocks belonging to Solhan volcanites were named as olivine basalt “and pyroxene basalt” according to their mineralogical composition (Table 3). According to chemical analysis values (Kansun and Üçgün, 2019), these rocks are in “alkaline basalt” composition.

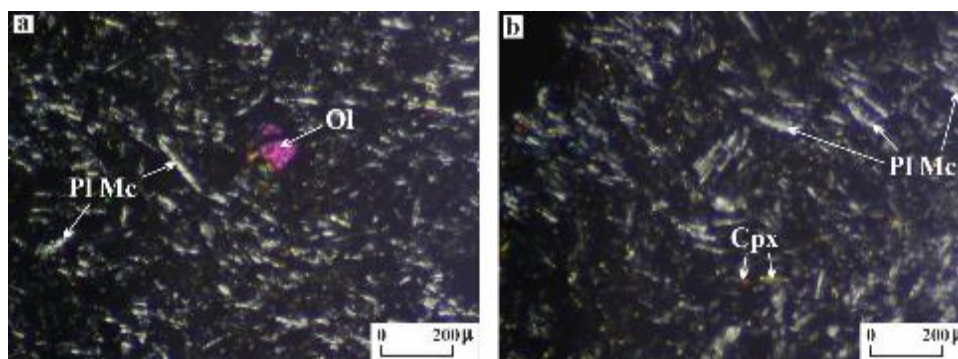


Figure 15. The views of alkali basalts belonging to Solhan volcanites. Pl Mc: Plagioclase microlites, Ol: Olivine, Cpx: Clinopyroxen, // Nicol

Solhan volcanites show a visible thickness of 40 m in the study area. Solhan volcanites stratigraphically overlie Alibonca formation and Sekirdağ volcanites from the bottom. They are covered by Tazekent trachyandesite member belonging to Hamur volcanites (Figure 3). Solhan volcanites cover Sekirdağ volcanites in vicinities of Korkuluk Hill and northwest of Ulukent Village in the study area. They are covered by Dalören ignimbrite member belonging to Hamur volcanites in northwest of Ulukent Village (Figure



2). In the study area, Solhan volcanites cover Upper Miocene clastic, carbonated and pyrolastic-volcanic rocks. Akay and Türkecan (1990) and Türkecan et al. (1992b) sayed that the age of the unit was  $4.3 \pm 0.8$  Ma,  $4.4 \pm 1.3$  Ma and  $6.0 \pm 0.6$  Ma according to the radiometric age analysis which are made from Solhan volcanites in Solhan (Muş) vicinity. Therefore, the age of Solhan volcanites is Lower Pliocene.

### 3.1.5. Hamur Volcanites

Hamur volcanites were named by Türkecan et al. (1992a) and Türkecan et al. (1992b). Hamur volcanites were investigated by dividing into two members as Tazekent trachyandesite member and Dalören ignimbirite member from bottom to top in the study area (Figure 3).

#### 3.1.5.1. Tazekent Trachyandesite Member

The unit is composed of trachyandesites. These trachyandesites are named as Tazekent trachyandesite members due to their outcrops in south of Tazekent Village where they are typically observed. The unit is observed in Keçikıran Hill vicinity in south of Tazekent Village (Figure 2).

Trachyandesites are gray-dark gray-brownish colored (Figure 16). They are observed as lava flows and domes in the study area. The sizes sanidine and plagioclase phenocrysts in the rocks reach up to 1 cm. These rocks are characterized by their hard structures, fine grains and massive appearances. The gas gaps are rarely seen in trachyandesites observed at the upper levels of the member.



Figure 16. The trachyandesites belonging to Tazekent trachyandesite member observed in the vicinity of Tazekent Village

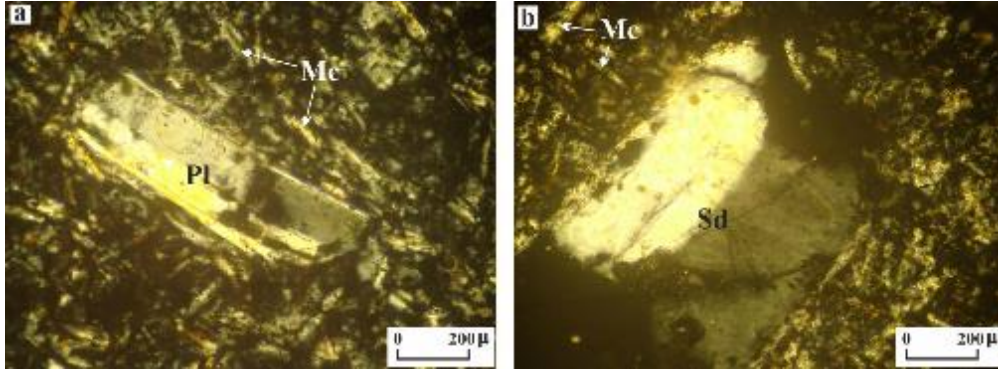
The trachyandesites include plagioclase, sanidine, amphibole (hornblende), clinopyroxene (diopside/augite), apatite, opaque mineral in phenocrystalline phase and plagioclase and sanidine microliths in matrix phase. The components, percentage values of the components and rock names of trachyandesites are shown in Table 4.

Table 4. The components, percent values and rock names of three samples taken from the tazekent trachyandesite member

		The Ratio of Component (%)			
		L17-22	L17-23	L-17-24	
The Name of Component	Phenocryst	Plagioclase	6	7	6
		Sanidine	5	4	5
		Amphibole (Hornblende)	3	2	4
		Clinopyroxene (Diopside/Augite)	4	4	4
		Apatite	-	1	1
		Opaque mineral	2	1	1
	Matrix	Plagioclase and Sanidine microliths	80	81	79
The Name of Rock		Trachyandesite	Trachyandesite	Trachyandesite	

The trachyandesites are fine grained and contain small amounts of phenocrysts. The matrix phase in these rocks is around 80%. The matrix phase of these rocks consists of plagioclase and sanidine microliths (Figure 17). Plagioclases in phenocrystalline phase are mostly zoned, twinning and long prismatic (Figure 17-a). Plagioclases are in composition of oligoclase ( $Ab_{73}An_{27}$ ) and andezine ( $Ab_{58}An_{42}$ ,  $Ab_{62}An_{38}$ ). Sanidines show a very pronounced karlsbad twin and a prismatic shape (Figure 17-b). The mafic minerals in

the rocks are generally small amounts in matrix phase. Amphiboles from these mafic minerals show brown color and long prismatic shape. Amphiboles are probably in hornblende composition. Clinopyroxenes, which are colorless-very pale green colored, show prismatic shape and oblique extinction between 43° - 47°. Clinopyroxenes are probably in diopside/augite composition according to these properties. Oxidation and carbonation are observed in trachyandesites. Carbonation is observed in plagioclases and amphiboles in matrix and phenocrystalline phase. Oxidation is observed in mafic minerals. The trachyandesites show holocrystalline porphyritic texture (Figure 17). Some trachyandesite samples also show trachytic texture. The rocks belonging to tazekent trachyandesite member are in “trachyandesite” composition both according to their chemical analysis values (Kansun and Üçgün, 2019) and according to their mineralogical compositions (Table 4).

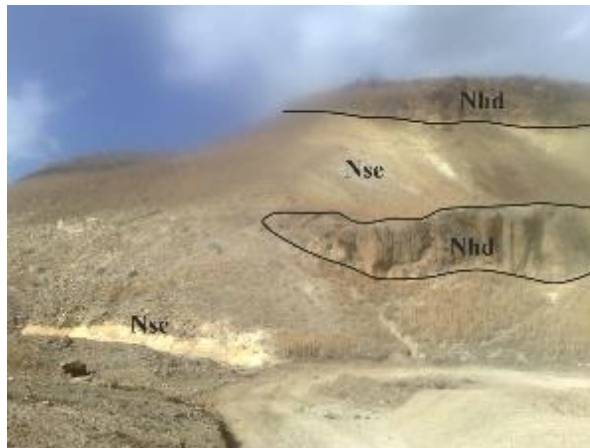


*Figure 17. Trachyandesites belonging to Tazekent trachyandesite member. Pl: Plagioclase, Sd: Sanidine, Mc: Plagioclase and Sanidine microlites, // Nicol*

Tazekent trachyandesite member has an apparent thickness of approximately 30 m in the study area. This unit, which is observed stratigraphically on Sekirdağ volcanites (Figure 3), cuts out Sekirdağ volcanites in the study area (Figure 2). The unit is covered by Dalören ignimbrite member belonging to Hamur volcanites. Innocenti et al. (1980) said that the age of lavas belonging to Hamur volcanites was  $5.6 \pm 0.3$  Ma and  $5.1 \pm 0.2$  Ma. Therefore, the age of Tazekent trachyandesite member is Lower Pliocene.

### **3.1.5.2. Dalören Ignimbrite Member**

The unit contains ignimbrites. These ignimbrites are observed in Yukarı Dalören Village and Mağara Hill vicinities, north of Günbuldu Village, west of Dibekli Village and northwest of Taşbasamak Village in the study area (Figures 2 and 18).



*Figure 18. The view from the ignimbrites belonging to Dalören ignimbrite member (Nhd) and the tuffs belonging to Sekirdağ volcanites (Nse) observed southwest of Dibekli Village*

The ignimbrites are brown-black colored, and show fiamme structure. These ignimbrites show lateral-vertical transition with trachyandesitic lavas which are gray-brown colored and contain rarely gas gaps. The ignimbrites consist of grains of ash and lapilli size. Fiamme structures in the ignimbrites are dark brown-black colored and lenticular. Pumice fragments form fiamme structures. In the study area, ignimbrites flowed over a large area. The upper surfaces of the ignimbrites are plateau-shaped and the lower surfaces of these conform to the morphology. Plagioclase, sanidine, hornblende and proxene phenocrysts are observed in some ignimbrite samples. They have porphyritic texture.

When we look at the thin section samples of ignimbrites, plagioclase (5%), hornblende (4%), clinopyroxene (4%), sanidine (2%), pumice fragments (8%), lithic fragments (7%) and matrix which contain volcanic glass (70%) are observed (Figure 19). The rock fragments are composed of volcanic, pyroclastic and metamorphic rock fragments. Very prominent flowing texture is observed in these rocks. The ignimbrites have vitrophyric porphyritic texture. Plagioclases in the ignimbrites show zoned structure, albite twinning and long prismatic shape. Sanidines are characterized by karlsbad twin and oblique extinction at low angle. The hornblendes show prismatic shape and brown color. Clinopyroxenes show prismatic shape and colorless-very pale green color. Pumice parts are



observed as generally ellipsoidal grains extending in one direction (Figure 19). The ignimbrites have the andesite/trachyandesite composition according to their mineralogical compositions.

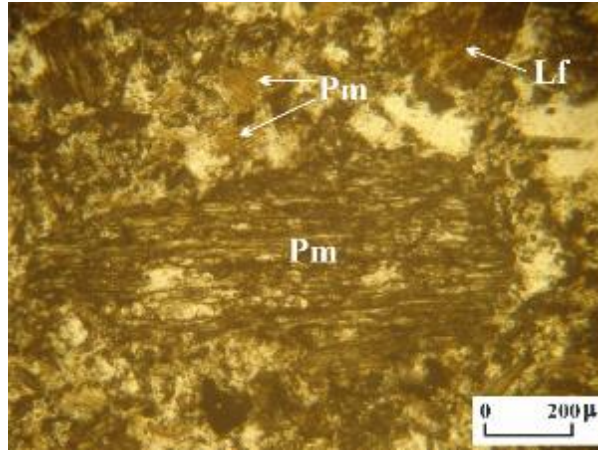


Figure 19. Pumice parts (Pm) and litic fragment (Lf) observed in ignimbrite belonging to Dalören ignimbrite member, / Nicol

Dalören ignimbrite member shows the visible thickness of approximately 20 m in the study area. Dalören ignimbrite member stratigraphically covers Tazekent trachyandesite member belonging to Hamur volcanites from the bottom and is overlain unconformably by Kale pyroclastics at the top (Figure 3). Dalören ignimbrite member is observed on Boyalan conglomerate member belonging to Alibonca formation, Sekirdağ volcanites and Solhan volcanites in the study area (Figures 2 and 18). Innocenti et al. (1980) determined that the age of ignimbrites belonging to Hamur volcanites was  $5.2 \pm 0.2$  Ma. Accordingly, the age of Dalören ignimbrite member is Lower Pliocene.

### 3.1.6. Kale Pyroclastics

The pyroclastics consist of lapilli tuff, ash, volcanic bomb, basaltic slag and agglomerate in alkaline basalt composition. These lithologies were named as Kale pyroclastics, referring to Kale Hill where typically was observed in the east of the study area. This unit was named as “pyroclastics” by Aydoğan (2000) which studied in the investigation area and as “Tutak volcanites” by Sümengen (2009b) which studied in Patnos (Ağrı) - Malazgirt (Muş) and Bulanık (Muş) vicinities. Sümengen (2009b) specified that Upper Pliocene – Pleistocene aged Tutak volcanites are composed of basalt, hawaiite and benmorite lavas which contained sometimes slag. In this study, separation of the pyroclastics and basalts, which were lithologies which Sümengen (2009a) was named as “Tutak volcanites” was done. The pyroclastics were named as “Kale pyroclastics”, and basaltic lavas were named as “Tutak volcanites”. Kale pyroclastics are observed in Kale Hill and its vicinity in the east of the study area (Figure 2).

The unit is composed of dark gray - brownish colored lapilli tuff, ash, volcanic bomb, slag and agglomerate in alkaline basalt composition (Figure 20). Lapilli tuffs are easily dispersed and have porphyritic texture. Plagioclase and pyroxene phenocrysts in these tuffs are sometimes prominent. The fine grained section of lapilli tuffs forms from the matrix. Volcanic bombs are in basaltic composition. They are very hard structured and have a diameter of up to 20 cm. The slags are black colored and very light and have plenty pore and an irregular surface. The slags are composed of pyroclastic grains at lapilli and block sizes.



Figure 20. Kale pyroclastic observed in Kale Hill vicinity

The tuffs belonging to Kale pyroclastics include plagioclase, clinopyroxene (diopside/augite), olivine, opaque mineral in phenocrystalline phase, volcanic glass in matrix phase and also litic fragments. The agglomerates belonging to Kale pyroclastics include plagioclase, olivine, clinopyroxene (diopside/augite), orthopyroxene (enstatite), apatite, opaque mineral in phenocrystalline phase, volcanic glass in matrix phase and also litic fragments. Tuffs and agglomerates show vitrophyric porphyritic texture. The components, grain sizes and classifications of tuffs and agglomerates belonging to Kale pyroclastics are shown in Table 5.

Table 5. The components, percent values, grain sizes and classifications of two tuffs and one agglomerate samples belonging to Kale pyroclastics

			Sample Number		
			L24-31	L24-32	L25-34
The Name of Component	Phenocryst	Plagioclase	% 8	% 7	% 7
		Olivine	% 3	% 5	% 4
		Clinopyroxene (Diopside/Augite)	% 4	% 3	% 5
		Orthopyroxene (Enstatite)	-	-	%3
		Apatit	-	-	% 1
		Opaque mineral	% 1	% 1	% 1
	Matrix	Volcanic glass	% 74	% 76	% 17
	Litic fragments	% 10	% 8	% 62	
Grain Size (in macro sample)	Size (mm)	mostly 2-64 mm	mostly 2-64 mm	mostly > 64 mm	
Distribution of percentage of grains (in macro sample)	< 2 mm	% 32	% 28	% 3	
	2 – 64 mm	% 65	% 70	% 20	
	> 64 mm	% 3	% 2	% 77	
Classification	According to Grain Size	Lapillistone	Lapillistone	Agglomerate	
	According to Composition and Grain Size	Basaltic tuff	Basaltic tuff	Basaltic agglomerate	
	According to Percentage Distribution of Grains	Lapilli tuff	Lapilli tuff	Agglomerate	
	According to Glass-Crystals-Litic Fragments Composition	Vitric tuff	Vitric tuff	-	

The grain sizes of the tuff samples belonging to Kale pyroclastics are mostly between 2-64 mm (Table 5). Thus, tuffs are defined as “lapillistone” when they are evaluated in *grain size classification diagram of pyroclasts* of Schmid (1981). The grain size of agglomerate which has been examined is mostly > 64 mm. Furthermore, the litic fragments in this agglomerate have rounded shapes. Therefore, the rock was named as “agglomerate” when it is evaluated in *grain size classification diagram of pyroclasts* of Schmid (1981). When the mineralogical compositions of these tuffs and this agglomerate (Table 2) are evaluated in Q-A-P-F diagram (Streckeisen, 1967), it is seen that these are in “basalt” composition. When these tuffs are evaluated in the classification diagram according to *percentage distribution of grains in pyroclastic rocks* of Le Maitre (2005), they are named as “lapilli tuff”. When the agglomerate is evaluated in the classification diagram according to *percentage distribution of grains in pyroclastic rocks* of Le Maitre (2005), it is defined as “agglomerate” (Figure 21-a). The tuffs are seen in “vitric tuff” area in *glass-crystals-lithic fragments diagram* of Pettijohn et al. (1987) (Figure 21-b).

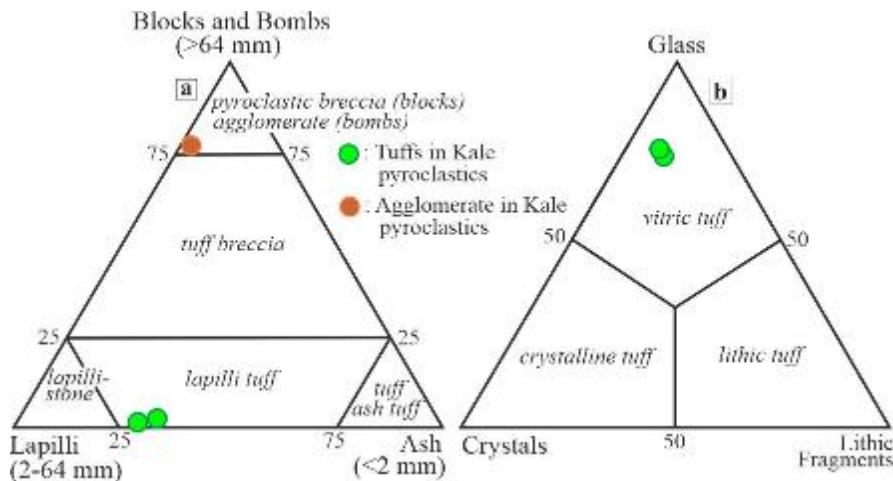


Figure 21. The classification diagrams according to percentage distribution of grains for tuffs and agglomerate belonging to Kale pyroclastics (a) and according to glass-crystals-lithic fragments compositions for tuffs belonging to Kale pyroclastics (b). Diagram a was gotten from Le Maitre (2005), and Diagram b was gotten from Pettijohn et al. (1987)

Kale pyroclastics show a visible thickness of approximately 30-100 m in the study area. The pyroclastics stratigraphically are unconformably located on Dalören ignimbrite member belonging to Hamur volcanites. They are covered by Tutak volcanites from the top (Figure 3). Kale pyroclastics are unconformably observed on Boyalan and Kuşburnu pyroclastic members belonging to Alibonca formation in the study area (Figure 2).

Türkecan et al. (1992a) determined that the age of the Tutak volcanites, which consisted of pyroclastic and lavas and which were observed in Tutak (Van) vicinity, was Upper Pliocene - Pleistocene. In addition, Sanver (1968), which studied Hamur (Ağrı) vicinity, and Innocenti et al. (1980), which studied Patnos (Ağrı), specified that the age of the basaltic lavas observed together with these pyroclastics was Upper Pliocene – Pleistocene according to the radiometric age determinations. Therefore, the age of the Kale pyroclastics is Upper Pliocene - Pleistocene.

### 3.1.7. Tutak Volcanites

They consist of alkaline basalts which show columnar structure and flow structure. Türkecan et al. (1992a), which studied in Tutak (Van) vicinity, were named as “Tutak volcanites” to the lithologies which consisted of basalt, hawaiite and mugearite. Later, Sümengen (2009a and 2009b) , which studied in Patnos (Ağrı) - Malazgirt (Muş) and Bulanık (Muş) vicinities, were defined as “Tutak volcanites” to the rocks which consisted of basalt, hawaiite and benmorite lavas which contained slag. The separation of pyroclastics and basalts, which were named as “Tutak volcanites” by Sümengen (2009a ve 2009b), was done in this study. In the study, the pyroclastics were named as “Kale pyroclastics”, and the basaltic lavas were named as “Tutak volcanites” adhering to the first nomenclature of Türkecan et al. (1992a). Tutak volcanites are located in the vicinities of Değirmen Ridge and Harabe Ridge in the northeast of the study area (Figure 2).

Tutak volcanites are composed of gray-black-reddish colored alkaline basalts, and these basalts show column structure (Figure 22). Also, they is observed as lava flows in the study area. The basalts is generally fine grained and porous. Plagioclase, olivine and pyroxene phenocrysts rarely distinguish in macro samples. The fine grained sections of these rocks are formed from matrix. The basalts show aphanitic porphyritic texture.

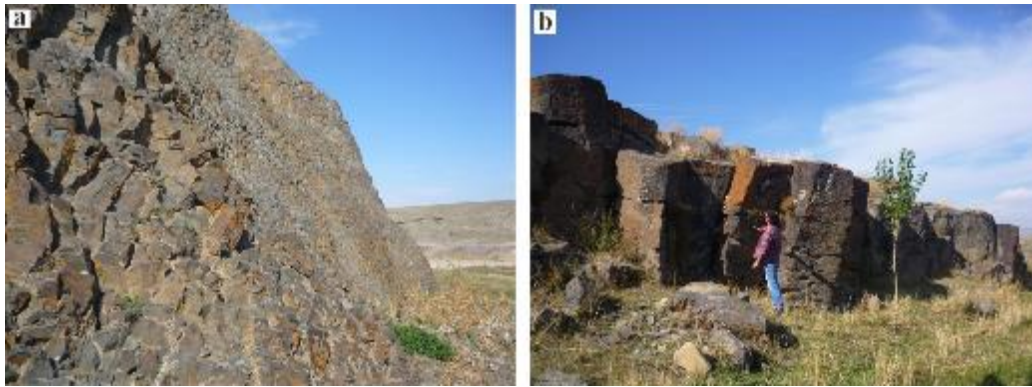


Figure 22. Alkaline basalts belonging to Tutak volcanites (a) and column structure in these basalts (b) observed in Kezo Dere vicinity in east of Değirmen Ridge

Alkaline basalts include plagioclase, olivine, clinopyroxene (diopside/augite), orthopyroxene (enstatite), apatite, opaque mineral in phenocrystal phase and plagioclase microliths in matrix. The components of alkaline basalts, percentage values of the components and rock names are shown in Table 6.

Table 6. The components, percent values and rock names of four samples taken from Tutak volcanites

		The Ratio of Component (%)				
		L2-1	L8-12	L9-13	L22-29	
The Name of Component	Phenocryst	Plagioclase	4	6	6	7
		Olivine	14	13	10	11
		Clinopyroxene (Diopside/Augite)	8	5	6	10
		Orthopyroxene (Enstatite)	-	2	3	4
		Apatite	1	1	-	-
		Opaque mineral	2	1	1	2
	Matrix	Plagioclase microlites	71	72	74	66
The Name of Rock		Olivine basalt	Olivine basalt	Olivine basalt	Olivine basalt	

Basalts are fine grained and phenocrystals in these are small amount. The matrix formed by plagioclase microlites is commonly observed in the basalts (Figure 23). The phenocrystals rarely observed in basalts are plagioclase, olivine and proxen. Plagioclases, characterized by their prismatic form, show polysynthetic - karlsbad twins and mostly zoned structure. Plagioclases are in andesine (Ab<sub>59</sub>An<sub>41</sub>, Ab<sub>62</sub>An<sub>38</sub>) and labrador (Ab<sub>48</sub>An<sub>52</sub>, Ab<sub>43</sub>An<sub>57</sub>) compositions according to the extinction angle determination of these. Olivines observed in the basalts are mostly observed as small size crystals (Figure 23-a). Olivines are prismatic shaped, sometimes



cracked and colorless-very pale green colored. Clinopyroxenes are observed as prismatic and sub-idiomorphic crystals. They show angled extinction between  $45^{\circ}$  -  $47^{\circ}$ . It is thought that the colorless - very pale green colored clinopyroxenes are in “diopside/augite” composition. Orthopyroxenes are typical with flat extinction, whitish pale green colors and prismatic shapes (Figure 23-b). Orthopyroxenes are probably in “enstatite” composition according to these properties. The pyroxenes observed in the basalts are mostly observed as small size crystals (Figure 23-d). The basalts have holocrystalline porphyritic and trachytic textures.

The rocks belonging to Tutak volcanites according to chemical analysis values (Kansun and Üçgün, 2019) are in “alkaline basalt” composition. In the Q-A-P-F diagram (Streckeisen, 1967), these rocks were named as “olivine basalt” according to their mineralogical compositions (Table 6).

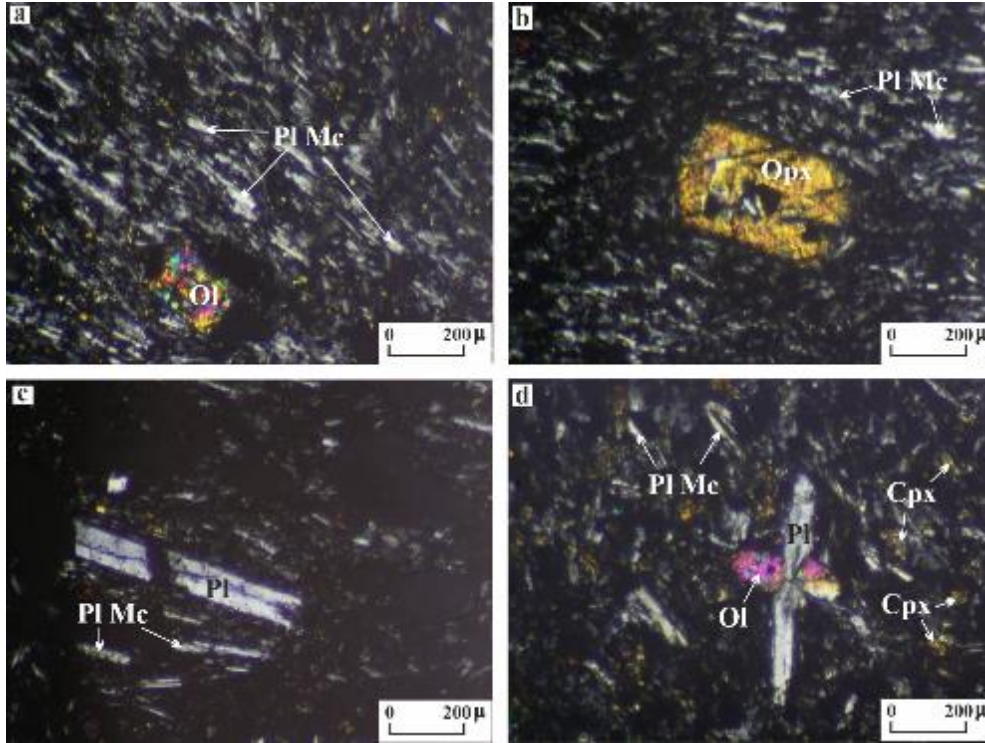


Figure 23. Olivine basalts belonging to Tutak volcanites. Pl: Plagioclase, Ol: Olivine, Cpx: Clinopyroxene, Opx: Orthopyroxene, Pl Mc: Plagioclase microlites, // Nicol

Tutak volcanites show a visible thickness of approximately 40 m in the study area. They cover stratigraphically Kale pyroclastics from the bottom, and are unconformably overlain by Travertine and Alluvium from the top (Figure 3). Tutak volcanites are unconformably observed on Boyalan and Kuşburnu pyroclastic members belonging to Alibonca formation to northeast of the study area (Figure 2).

Sanver (1968) determined that the age of basaltic lavas, which were located in Hamur (Ağrı) vicinity, were  $1.07 \pm 0.12$  Ma. Innocenti et al. (1980) said that the age of basaltic lavas belonging to Tutak volcanites, which are observed in northeast of Karabulak Village (Patnos-Ağrı), was  $2.0 \pm 0.1$  Ma and that the age of basaltic lavas belonging to Tutak volcanites, which are observed in Güllükoru (Malazgirt-Muş) vicinity, was  $3.9 \pm 0.4$  Ma. Therefore, the age of Tutak volcanites is Upper Pliocene - Pleistocene.

### 3.1.8. Travertine

Travertines is carbonated rocks, which are deposited by carbonated spring waters and show sometimes bedding. Travertines are observed the vicinities of Köprü Thermal Spring, Yılanlı Thermal Spring, Davut Thermal Spring, Tazekent Thermal Spring, Hocayurdu Hill, Ali Hill and Ulukent Village in the study area (Figures 2 and 24). They have a visible thickness of about 30 m. The age of the travertines is Holocene (Quaternary).



Figure 24. Travertines observed in Köprü Thermal Spring vicinity

### 3.2. Discussion

The aim of this study is to determine the stratigraphic and petrographic properties of the units which are commonly made of volcanic - pyroclastic rocks and outcrops in the region including Diyadin geothermal field. Keskin (1998) and Pasvanoğlu (2013) stated that the Upper Miocene aged lithologies consisted of pyroclastics, lavas, ignimbrites and lacustrine sediments in the region. On the other hand, carbonated-clastic rocks and trachyandesitic tuffs-agglomerates (Alibonca formation) and dacitic-rhyodacitic tuffs-agglomerates-lavas (Sekirdağ volcanites) are Upper Miocene aged in the study area. The ignimbrites belonging to Hamur volcanites are Lower Pliocene aged and cover unconformably to Upper Miocene lithologies.

Pasvanoğlu (2013) stated that glassy textured basalts and andesitic-dacitic tuffs were deposited on Upper Miocene aged lacustrine limestones. In this study, it was found that dacitic-rhyodacitic tuffs and agglomerates were deposited by lateral-vertical transitions on the lacustrine limestones forming the Taşbasamak limestone member and that these units were cut by the Lower Pliocene aged alkaline basaltic lavas (Solhan volcanites). Pasvanoğlu (2013) stated that the lavas, which are stratigraphically related to Upper Miocene aged ignimbrites, are in andesite composition. This researcher also said that the basalts overlying these are covered by pyroclastics which consisted of volcanic bombs, lapilli and volcanic ash. In contrast, these lavas that Pasvanoğlu (2013) specified are in trachyandesite composition and are Lower Pliocene aged. The Pyroclastics (Kale pyroclastics), which are composed of, lapilli tuff, ash, volcanic bomb, slag and agglomerate in alkaline basalt composition, are covered by alkaline basaltic lavas (Tutak volcanites) in the region.

### 4. Conclusions

Paleozoic and Cenozoic aged lithologies take part in the study area. Paleozoic aged Batıbeyli metamorphites are observed at the base of the study area. Batıbeyli metamorphites are composed of crystallized limestones containing calcschist interlevels. The Upper Miocene aged Alibonca formation is unconformably observed on these metamorphites. Alibonca formation consists of conglomerates (Boyalan conglomerate member) at the base, on these, of tuffs and agglomerates in trachyandesitic composition (Kuşburnu pyroclastic member). The sandy limestone-marl-dolomite-dolomitic limestone-lacustrine limestone-limestone which contain chert interlevels are observed at upper levels of Alibonca formation. Upper Miocene aged Sekirdağ volcanites are observed with lateral-vertical transition on Alibonca formation. These volcanites consist of dacitic - rhyodacitic tuffs, agglomerates and lavas. Towards up, Lower Pliocene aged Solhan volcanites, which are composed of alkaline basaltic lavas, are observed. Solhan volcanites are covered by Upper Pliocene aged Hamur volcanites. Hamur volcanites are composed of trachyandesites (Tazekent trachyandesite member) at the base and ignimbrites (Dalören ignimbrite member) covering these trachyandesites. Towards up, Upper Pliocene-Pleistocene aged Kale pyroclastics consisting of lapilli tuff, ash, volcanic bomb, slag and agglomerate and being in alkaline basalt composition are observed. Kale pyroclastics are covered by Upper Pliocene-Pleistocene aged Tutak volcanites, which show columnar block structure and flow structure and are in alkaline basalt composition. At the top, travertine and alluvium are found.

*Calcite + dolomite ± quartz ± muscovite* mineral paragenesis is observed in metacarbonates belonging to Batıbeyli metamorphites. The calcschists, which are seen as interlevels among these metacarbonates, contain *calcite + chlorite (ripidolite-pinochlorite) + muscovite ± quartz ± opaque mineral*. The tuffs belonging to Kuşburnu pyroclastic member include *quartz, plagioclase, sanidine, clinopyroxene (diopside/augite), biotite, amphibole (hornblende), sphene, opaque mineral* in phenocrystalline phase, *volcanic glass* in matrix phase and also *lithic fragments*. These tuffs have been named as *lapillistone and ash tuff* “according to grain size”, as *trachyandesitic tuff* “according to composition and grain size”, as *lapillistone, ash tuff and lapilli tuff* “according to percentage distribution of grains” and as *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments compositions”.

The tuffs belonging to Sekirdağ volcanites contain *quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral* in phenocrystalline phase, *volcanic glass* in matrix phase and also *lithic fragments*. The *dacitic and rhyodacitic lavas* belonging to these volcanites contain *quartz, plagioclase, sanidine, biotite, amphibole (hornblende), opaque mineral* in phenocrystalline phase and *plagioclase microliths* and *volcanic glass* in matrix phase. The tuffs of Sekirdağ volcanites have been named as *lapillistone* and *ash*



tuff “according to grain size”, as *rhyodacitic tuff* and *dacitic tuff* “according to composition and grain size”, as *lapillistone* and *ash tuff* “according to percentage distribution of grains” and as *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments components”.

*Alkaline basalts* belonging to Solhan volcanites contain *quartz*, *olivine*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *apatite*, *opaque mineral* in phenocrystalline phase and *plagioclase microliths* in matrix phase. The *trachyandesites* belonging to tazekent trachyandesite member (Hamur volcanites) contain *plagioclase*, *sanidine*, *amphibole (hornblende)*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *apatite*, *opaque mineral* in phenocrystalline phase and *plagioclase and sanidine microlithes* in matrix phase. *Plagioclase*, *hornblende*, *clinopyroxene*, *sanidine*, *pumice fragments*, *litic fragments and volcanic glass* are observed in the *ignimbrites* belonging to Dalören ignimbrite member (Hamur volcanites).

The *tuffs* belonging to Kale pyroclastics contain *plagioclase*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *olivine*, *opaque mineral* in phenocrystalline phase, *volcanic glass* in matrix phase and also *litic fragments*. The *agglomerates* belonging to Kale pyroclastics include *plagioclase*, *olivine*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *orthopyroxene (enstatite)*, *apatite*, *opaque mineral* in phenocrystalline phase, *volcanic glass* in matrix phase and also *litic fragments*. These tuffs have been named as *lapillistone* “according to grain size”, as *basaltic tuff* “according to composition and grain size”, as *lapilli tuff* “according to percentage distribution of grains” and as *vitric tuff* “according to glass-crystals-lithic fragments compositions”. The agglomerate in *basaltic agglomerate* composition “according to composition and grain size”. The *alkaline basalts* belonging to Tutak volcanites contain *plagioclase*, *olivine*, *clinopyroxene (diopside/augite)*, *orthopyroxene (enstatite)*, *apatite*, *opaque mineral* in phenocrystalline phase and *plagioclase microliths* in matrix phase.

## 5. Acknowledge

This study was prepared by using the project numbered 10201138 supported by Selçuk University Scientific Research Projects Coordination Unit.

## References

- Açlan, M., & Turgut, İ. K. (2017). Şekerbulak (Diyadin-Ağrı) dolaylarında yüzeyleyen volkanik kayaçların mineralojik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(4), pp. 163-174.
- Akay, E., & Türkecan, A. (1990). *Muş Tersiyer havzasının stratigrafisi, yapısal jeolojisi, bazı jeomorfolojik özellikleri ve volkanolojisi* (Report No:8973). MTA, Ankara, Turkey.
- Alpman, N. (1974). *Doğu Anadolu'da Sıcak Suların Envanteri*. MTA Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Aydoğan, B. M. (2000). *Diyadin (Ağrı) jeotermal suların hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal incelenmesi* [Unpublished master's thesis]. Çukurova University, Adana, Turkey, 103 p.
- Bilgin, A. (1984). Serçeme (Erzurum) deresi ve dolayındaki volkanitlerin jeokimyası. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bült.*, 5, pp. 41-50.
- Bilgin, A. (1987). Serçeme (Erzurum) volkanitlerinin mineralojisi, petrografisi. *A. Ü. Isparta Müh. Fak. Derg.*, 3, pp. 47-59.
- Buket, E. (1989). Petrology and major element geochemistry of Tertiary and Quaternary volcanics from Varto region, Eastern, Turkey. *Metu Journal of Pure and Applied Sciences*, 22 (3), pp. 69-89.
- Burçak, M., Yıldırım, T., & Yücel, M. (1997). *Ağrı - Diyadin Çermik Sahası Jeotermal-Jeofizik Etüt Raporu*. MTA, Ankara, Turkey, 12 p.
- Çakır, Y. (1994). *Ağrı, Diyadin ve Iğdır dolayının Jeoloji Etüdü* (Report No:9988). MTA, Ankara, Turkey.
- Çolakoğlu, A. R., Oruç, M., Arehart, G. B., & Poulson, S. (2011). Geology and isotope geochemistry (C–O–S) of the Diyadin gold deposit, Eastern Turkey: A newly-discovered Carlin-like deposit. *Ore Geology Reviews*, 40, pp. 27-40.
- Dunham, R. J. (1962). Classification of carbonate rocks according to depositional texture. *AAPG*, 1, pp. 108-121.
- Eltez, M., Doğan, M. A., Durukan, M., & Hepbaşlı, A. (2001). Diyadin integrated geothermal application. *Proceedings, Twenty-Sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*, Stanford, California, SPG-TR-168.
- Ercan, T., Fujitani, T., Matsuda, J. L., Notsu, K., Tokel, S., & Ui, T. (1990). Doğu ve Güneydoğu Anadolu Neojen-Kuvaterner volkanitlerine ilişkin yeni jeokimyasal, radyometrik ve izotopik verilerin yorumu. *MTA Derg.*, 110, pp. 143-164.
- Ercan, T., & Asutay, H. I. (1993). Malatya-Elazığ-Tunceli-Bingöl-Diyarbakır dolaylarındaki Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanitlerin petrolojisi. *AÜFF Jeoloji Böl. Suat Erk Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, pp. 291-302.
- Ercan, T., Ölmez, E., & Yıldırım, T. (1994). Tendürek (Doğu Anadolu) Jeotermal Alanı'nın (Diyadin, Zilan, Çaldıran) Volkanolojisi ve Jeotermal Enerji Olanakları. *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni*, 9, pp. 48-55.
- Erişen, B., Akkuş, İ., Uygur, N., & Koçak, A. (1996). *Türkiye Jeotermal Envanteri*, MTA, Ankara, 480 p.
- Eşder, T. (1997). *Diyadin (Ağrı) jeotermal alanında 23.07.1997-24.07.1997 tarihinde yapılan prospeksiyon çalışmasına ilişkin rapor*. REMAR, İzmir, 25 p.
- Folk, R. L. (1962). Spectral subdivision of limestone types, in Ham W. E. (ed.), classification of carbonate rocks., *A.A.D.G. Memoir*, 1, pp. 62-84.
- Güleç, N., Hilton, D. R., & Mutlu, H. (2002). Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities. *Chem. Geol.*, 187, pp. 129-142.
- Güner, Y., & Şaroğlu, F. (1987). Doğu Anadolu'da Kuvaterner volkanizması ve jeotermal enerji açısından önemi. *Türkiye 7. Petrol Kong. Bildiriler Kitabı*, pp. 371-383.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Serri, G., & Villari, L. (1980). Geology of the volcanic area north of Lake Van (Turkey). *Geologische Rundschau*, 69 (1), pp. 292-323.

- Innocenti, F., Manetti, P., Mazzuoli, R., Pasquare, G., & Villari, L. (1981). *Anatolia and northwestern Iran, Andésites: Orogenic andésites and related rocks* (R.S. Thorpe Ed.). Wiley, Newyork, N.Y., pp. 327-349.
- Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati, F., & Villari, L. (1982). Tertiary and Quaternary volcanism of the Erzurum-Kars area (Eastern Turkey): Geochronological Data and Geodynamic Evolution. *Jour. Volcan., Geoth. Res.*, 13, pp. 223-240.
- Irrlitz, W. (1972). Lithostratigraphie und tektonische Entwicklung des Neogens in ordostanatolien. *Beih. Geol. Jb.* 120, pp. 1-111.
- İlker, S. (1966). *Erzurum-Muş bölgesinde Karaköse-J48a4 ve J48d1 paftalarının 1:25000 ölçekli detay petrol etüdü hakkında rapor* (Report No:4177). MTA Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Kansun, G. & Üçgün, F. (2019). *Davut-Tazekent köyleri (Diyadin-Ağrı) civarındaki volkanitlerin petrografi-jeokimyası ve Diyadin jeotermal sahasının özellikleri* (Number: 10201138). Selçuk University Scientific Research Projects, Konya, Turkey.
- Keskin, B. (1998). *Ağrı- Diyadin jeotermal alanı jeolojik etüd raporu ve jeotermal potansiyeli*. MTA Raporu, Ankara, Turkey, 16 p.
- Kıral, K., & Çağlayan, A. (1980). *Kağızman (Kars-Ağrı-Taşlıçay) dolayının jeolojisi* (Report No:6785). MTA Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Koçyiğit, A., Yılmaz, A., Adamia, S., & Kuloshvili, S. (2001). Neotectonics of east Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting. *Geodynamica Acta*, 14, pp. 1-19.
- Lambert, I., Holland, J. G., & Owen, P. F. (1974). Chemical petrology of a isuite calc-alkaline lavas from mount Ararat, Turkey. *Jour. Ged.*, 82, pp. 419-438.
- Le Maitre, R. W. (2005). *Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks* (2nd Ed.). Cambridge University Press.
- Mutlu, H., Aydın, H., & Kazancı, A. (2013). Diyadin (Ağrı) jeotermal sahasına yönelik jeokimyasal ve izotopik bulgular. *11. Ulusal Tesisat Müh. Kong.*, İzmir, pp. 47-67.
- Pasvanoğlu, S., & Chandrasekharam, D. (2011). Hydrogeochemical and Isotopic study Of Thermal and Mineralized Waters from The Nevşehir (Kozakli) Area, Central Turkey. *J. Volcanol*, 202, pp. 241-250.
- Pasvanoğlu, S. (2013). Hydrogeochemistry of thermal and mineralized waters in the Diyadin (Ağrı) Area, Eastern Turkey. *Applied Geochemistry*, 38, pp. 70-81.
- Pearce, J. A., Bender, J. F., de Long, S. E., Kidd, W. S. F., Low, F. J., Güner, Y., Şaroğlu, F., Yılmaz, Y., Moofbath, S., & Mitchell, J. G. (1990). Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Jour. Volcan. Geoth. Res.*, 44, pp. 189-229.
- Pettijohn, F. J., Potter, P. E., & Siever, R. (1987). *Sand and Sandstone*. Springer Verlag, New York, N.Y. 553 p.
- Sanver, M. (1968). A paleomagnetic study of Ouaternary volcanic rocks from Turkey. *Phys. Earth Planet Interiors*, 1, pp. 403-421.
- Schmid, R. (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geology, The Geological Society of America*, Boulder, 9, pp. 41-43.
- Streckeisen, A. (1967). Classification and nomenclature of igneous rocks. *Nues Jarbuch fur Mineralogie Abhandlungen*, 107, pp. 144-240.
- Sümengen, M. (2009a). *Ağrı-İ48 paftası, MTA Genel Müdürlüğü 1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları* (Report No:110). MTA, Ankara, Turkey, 19 p.
- Sümengen, M. (2009b). *Ağrı-J49 paftası, MTA Genel Müdürlüğü 1:100000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritaları* (Report No:112). MTA, Ankara, Turkey, 18 p.
- Şaroğlu, F., Güner, Y., Kidd, W. S. F., & Şengör, C. (1980). Neotectonics of Eastern Turkey:New evidence for crustal shortening and thickening in a collisional zone. *EOS, Trans. Am. Geophys*, Union 61, 17, 360.
- Şengör, C., & Kidd, W. S. F. (1979). Post-collisional tectonics of the Turkish-Iranian plateau and a comparison with Tibet. *Tectonophysics*, 55, pp. 361-376.
- Şengör, C., & Yılmaz, Y. (1981). Tethyan evolution of Turkey; A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75, pp. 181-241.
- Şimşek, Ş. (1997). *Geochemical potential in Northwestern Turkey*. In: Schindler C, Pfister M (Eds), *Active Tectonics of Northwestern Anatolia (The Marmara Poly-Project)*, Zurich, 111-123.
- Türkecan, A., Dönmez, M., Özgür, B., Mutlu, G., Sevin, D., & Bulut, V. (1992a). *Patnos-Tutak-Hamur (Ağrı) yöresinin jeolojisi ve volkanik kayaçların petrolojisi* (Report No:9434). MTA Enstitüsü, Ankara, Turkey.
- Türkecan, A., Dönmez, M., Sevin, D., Özgür, B., & Mutlu, G. (1992b). Perakalen volkanizma ve Doğu Anadolu'daki örnekleri. *Türkiye Jeolojisi Kurultayı Bülteni*, pp. 108-115.
- Winkler, H. G. F. (1979). *Petrogenesis of metamorphic rocks* (5th ed.). Springer-Verlag, New York-Berlin, p. 348.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, R., & Güner, Y. (1987a). Initiation of die neoniagmatism in East Anatolia. *Tectonophysics*, 134, pp. 177-199.
- Yılmaz, Y., Şaroğlu, R., & Güner, Y. (1987b). Doğu Anadolu'da Solhan (Muş) volkanitlerinin petrojenetik incelenmesi. *Hacettepe Yerbilimleri*, 14, pp. 133-163.



# The Stratigraphic and Petrographic Characteristics of Metamorphites of Alanya Unit, and the Porphyroblast - Foliation Relationships in Sugözü Complex (Middle Nappe), Anamur-Mersin-Turkey\*

Gürsel Kansun<sup>1†</sup>, Kerim Koçak<sup>2</sup>, Ahmad Omid Afzali<sup>3</sup>, Alican Öztürk<sup>4</sup>, Arif Delikan<sup>5</sup>, Selma Delikan<sup>6</sup>, Fuat Işık<sup>7</sup>

<sup>1</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey (ORCID: 0000-0002-4581-6076)

<sup>2</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey

<sup>3</sup> Afghanistan Academy of Sciences, Department of Geosciences, Kabul, Afghanistan

<sup>4</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey

<sup>5</sup> Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey

<sup>6</sup> Enerya Konya Gas Distribution Anonymous Company, Konya, Turkey

<sup>7</sup> Konya Governorate, Administration and Audit Directorate, Konya, Turkey

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf69)

**ATIF/REFERENCE:** Kansun, G., Koçak, K., Afzali, A. O., Öztürk, A., Delikan, A., Delikan, S., & Işık, F. (2020). The Stratigraphic and Petrographic Characteristics of Metamorphites of Alanya Unit, and the Porphyroblast – Foliation Relationships in Sugözü Complex (Middle Nappe), Anamur-Mersin-Turkey. *European Journal of Science and Technology*, (Special Issue), 552-584.

## Abstract

The study area is located in the southern part of the Central Taurus in Anamur (Mersin) vicinity. The Alanya Unit consisting of completely metamorphites consists of threeimbricate metamorphic nappes. Lower-Middle Cambrian aged the Mahmutlar group (lower nappe) is composed of widespread mica schists containing crystallized limestone, cherty dolomite, quartzite interlevels and greenschist lenses. Precambrian aged Sugözü complex (middle nappe) contains kyanite-sillimanite-staurolite mica schists and widespread garnet-mica schists, which contain greenschist-amphibolite-amphibol schist bands-lenses and metagabro-metadiabase dykes-interlevels. In the middle nappe, Cambrian and Permian blocks belonging to Alanya Unit are observed. The Yumrudağ group (upper nappe) begins with Lower-Middle Cambrian aged mica schists containing cherty dolomite, crystallized limestone, quartzite interlevels and greenschist lenses. Higher up with an unconformity pass into the Upper Permian aged alternation of quartz schist - calc schist - crystallized limestone - phyllite and thick bituminous crystallized limestone containing greenschist lenses. Barite, copper and galenite formations take place in upper nappe lithologies (Ağzıkara formation). Upper Paleocene - Middle Eocene aged Kötekler formation unconformably overlies the Alanya Unit.

Alanya Unit has been subjected to multi-stage deformations in connection with intense tectonic movements. Especially, *biotite* (brown, green) + *muscovite* + *garnet* (prop-*almandine-grossular*) + *quartz* ± *chlorite* (*ripidolite-picnochlore*, *pennin-clinoclone*) ± *kyanite* ± *staurolite* ± *sillimanite* + *plagioclase* (*albite-oligoclase-andesine*) ± *epidote* ± *zoisite/clinozoisite* ± *orthoclase* + *tourmaline* (green, brown) ± *graphite* ± *sphene* ± *rutile* ± *apatite* mineral paragenesis are observed in metapelitic and metasemipelitic rocks belonging to Sugözü complex (middle nappe). Amphibolites and amphibole schists of this complex contain *hornblende* (*tchermacite*, *ferro-tchermacite*, *magnesian-hornblende* and *edenite*) + *garnet* + *plagioclase* (*albite-oligoclase-andesine*) ± *relic clinopyroxene* (*augite-pigeonite*) + *chlorite* (*ripidolite*, *clinoclone*) ± *orthoclase* ± *epidote* ± *zoisite/clinozoisite* ± *biotite* (green, brown) ± *actinolite* ± *muscovite* ± *quartz* ± *calcite* ± *sphene* ± *apatite* ± *rutile* mineral assemblage. *Hornblende* (*tchermacite*, *ferro-tchermacite*) ± *plagioclase* (*albite-oligoclase-andesine*) + *relic clinopyroxene* (*augite*) ± *garnet* + *quartz* + *chlorite* (*ripidolite*, *pennin-clinoclone*) ±

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geology Engineering, Konya, Turkey, ORCID: 0000-0002-4581-6076, [gkansun@ktun.edu.tr](mailto:gkansun@ktun.edu.tr)

*actinolite* ± *zoisite/clinozoisite* ± *epidote* ± *calcite* ± *sphene* ± *apatite* is observed in metagabbros and metadiabases. The greenschists are characterized by *tremolite* + *actinolite* + *chlorite* (*ripidolite-picnochlorite*) + *plagioclase* (*albite*) ± *garnet* + *zoisite / clinozoisite* + *epidote* ± *quartz* ± *microcline* ± *relic clinopyroxene* (*augite*) ± *calcite* + *sphene* ± *apatite* mineral assemblage. Especially when the index minerals, different mineral paragenesis and deformation-metamorphism relations within the Sugözü complex take into account, it has been seen that Alanya unity underwent three phases of metamorphism which follow one another.

**Keywords:** Anamur (Mersin), Alanya Unit, Stratigraphy-petrography, High temperature - middle pressure metamorphism, Deformation - metamorphism relationship

# Alanya Birliği Metamorfitlerinin Stratigrafik ve Petrografik Karakteristikleri ve Sugözü Karışığında (Orta Nap) Porfiroblast - Foliasyon İlişkileri, Anamur-Mersin-Türkiye

## Öz

Çalışma alanı Orta Toroslar'ın güney kesiminde Anamur (Mersin) civarında yer alır. Çalışma alanında tabanda tamamen metamorfitlerden oluşan Alanya Birliği gözlenir. Alanya Birliği üst üste duran üç metamorfik naptan ibarettir. Mahmutlar grubu (alt nap), Alt-Orta Kambriyen yaşlı kristalize kireçtaşı, çörtlü dolomit, kuvarsit ara seviyeleri ve yeşilşist mercekleri içeren yaygın mika şistlerden oluşur. Prekambriyen yaşlı Sugözü karışığı (orta nap) yeşilşist-amfibolit-amfibolşist bantları-mercekleri ve metagabro-metadiyabaz dayk-ara düzeyleri içeren distenli-sillimanitli-stavrolitli mika şistleri ve yaygın granatlı mika şistleri içerir. Birim içerisinde Alanya birliğine ait Kambriyen ve Permian yaşlı bloklar gözlenir. Yumruadağ grubu (üst nap), altta Alt-Orta Kambriyen yaşlı çörtlü dolomit, kristalize kireçtaşı, kuvarsit ara seviyeleri ve yeşilşist mercekleri içeren mika şistlerle başlar. Üste doğru uyumsuzlukla, yeşilşist mercekleri içeren Üst Permian yaşlı kuvarşist-kalkşist-kristalize kireçtaşı-fillit araldanması ve kalın bitümlü kristalize kireçtaşları gözlenir. Üst nap litolojileri (Ağzıkara formasyonu) içerisinde barit, bakır ve galenit oluşumları yer alır. Çalışma alanında Üst Paleosen – Orta Eosen yaşlı Kötekler formasyonu Alanya Birliği'ni uyumsuzlukla örter.

Alanya Birliği yoğun tektonik hareketlerle ilişkili olarak çok evreli deformasyonlara maruz kalmıştır. Özellikle orta napı oluşturan Sugözü karışığı içerisinde metapelitik ve metasemipelitik kayalarda *biyotit* (*kahve, yeşil*) + *muskovit* + *granat* (*prop-almandin-grossular*) + *kuvars* ± *klorit* (*ripidolit-piknoklorit, pennin-klinoklor*) ± *disten* ± *stavrolit* ± *sillimanit* + *plajioklas* (*albit-oligoklas-andezin*) ± *epidot* ± *zoisit/klinozoisit* ± *ortoklas* + *turmalin* (*yeşil, kahve*) ± *grafit* ± *sfen* ± *rutil* ± *apatit* mineral parajenezi yer alır. Bu karışığa ait amfibolitler ve amfibol şistler *hornblend* (*çermakit, ferro-çermakit, magnesio-hornblend ve edenit*) + *granat* + *plajioklas* (*albit-oligoklas-andezin*) ± *relikt klinoproksen* (*ojit-pijeonit*) + *klorit* (*ripidolit, klinoklor*) ± *ortoklas* ± *epidot* ± *zoisit/klinozoisit* ± *biyotit* (*yeşil, kahve*) ± *aktinolit* ± *muskovit* ± *kuvars* ± *kalsit* ± *sfen* ± *apatit* ± *rutil* mineral topluluğu içerir. Metagabrolar ve metadiyabazlarda *hornblend* (*çermakit, ferro-çermakit*) + *plajioklas* (*albit-oligoklas-andezin*) + *relikt klinoproksen* (*ojit*) ± *granat* + *kuvars* + *klorit* (*ripidolit, pennin-klinoklor*) ± *aktinolit* ± *zoisit/klinozoisit* ± *epidot* ± *kalsit* ± *sfen* ± *apatit* gözlenir. Yeşilşistler *tremolit* + *aktinolit* + *klorit* (*ripidolit-piknoklorit*) + *plajioklas* (*albit*) ± *granat* + *zoisit/klinozoisit* + *epidot* ± *kuvars* ± *mikroclin* ± *klinoproksen* (*ojit*) (*relikt*) ± *kalsit* + *sfen* ± *apatit* mineral topluluğu ile belirgindir. Özellikle Sugözü karışığı içerisindeki indeks mineraller, farklı mineral parajenezleri ve deformasyon-metamorfizma ilişkileri gözönüne alındığında Alanya Birliği'nin birbirini takip eden üç evreli metamorfizmaya uğradığı görülür.

**Anahtar Kelimeler:** Anamur (Mersin), Alanya Birliği, Stratigrafi-petrografi, Yüksek sıcaklık - yüksek basınç metamorfizması, Deformasyon-metamorfizma ilişkisi

## 1. Introduction

The study area is located in the north-northeast of Anamur district of Mersin city (Figure 1). Alanya Unit observed in the study area is one of the Middle Taurus tectonic units. The Alanya Unit is distinguished from the other tectonic units in the Middle Taurus belt by its metamorphism characteristics at high pressure – lower temperature in Alanya region and its metamorphism characteristics at middle pressure – high temperature in Anamur region. In this study, it has been aimed that the stratigraphic and petrographic characteristics of the metamorphic series of the Alanya Unit and the porphyroblast - foliation relationships which observed in Sugözü Complex (middle nappe) which outcrops in the region are investigated.

Alanya Unit is located in the Taurides Main Tectonic Unit (Ketin, 1966) and the Anatolid-Tauride Block (Okay and Tüysüz, 1999) (Figure 1-a). The Taurides Main Tectonic Union is observed as Western Taurides, Central Taurides and Eastern Taurides extending from west to east in the southern part of Turkey. Alanya Unit is the metamorphic belt which is located in south of the Central Taurides which are bounded by the Ecemiş fault and the Kırkkavak fault (Figure 1-a).

Blumenthal (1951) divided the metamorphites, which were named “Alanya Massif” in Alanya region, to two unites as “schisteous section” at the base and “overburden limestone” at the top. Peyronnet (1965 and 1971) distinguished three stratigraphic series in the



Alanya Massif in his work in the Alanya region. These are “schistose series” (Upper Carboniferous), “carbonated series” (Permo-Triassic) and “Neogene”.

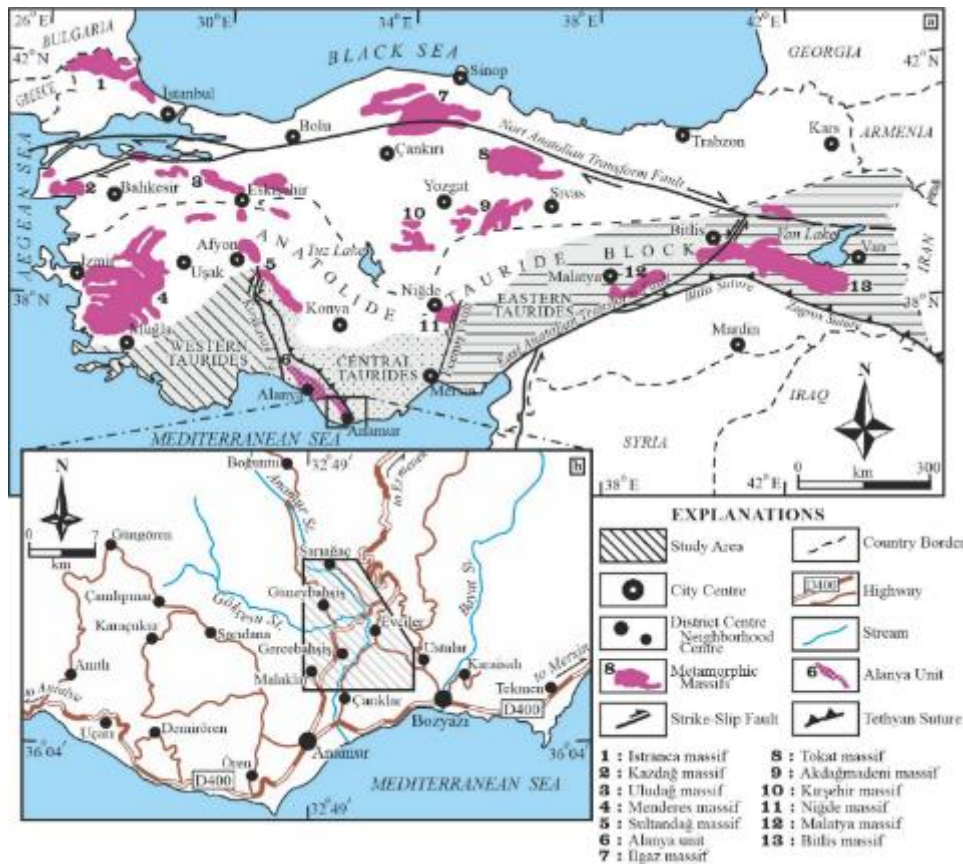


Figure 1. a) The general tectonic features of Turkey, the main parts and the dispersions of Taurus, and metamorphic massifs in Turkey (modified from Okay and Tüysüz (1999), Özgül (1984), Atalay (1987) and Şahin (2002)), b) The location map of the study area

Özgül and Arpat (1973) stated that the Alanya metamorphites (Alanya Unit) were tectonically located on the rock assemblage (Antalya Unit), which showed more or less similar age was not metamorphic, and that both unites covered tectonically to the Geyikdağı Unit at north. Ricau et al. (1974) said that Alanya and Antalya units were initially located in the north of the Taurus-Anatolian platform and that the both reached today's position in the south by crossing the platform with the Eo-Oligocene phase. Şengül et al. (1978) specified that the Alanya Massif was the stratigraphic and structural basis of Western Taurides and that these Massif was covered by the Upper Triassic aged clastic rocks as transgressive. Okay and Özgül (1982) specified that the Sugözü nappe underwent metamorphism in the blueschist / eclogite facies ( $13,5 \pm 1,5$  kb,  $510 \pm 15$  °C) at a depth of 45 km within the Alanya Unit and that the Mahmutlar nappe underwent metamorphism in the greenschist-amphibolite facies ( $7,5 \pm 0,5$  kb,  $484 \pm 23$  °C) at a depth of 25 km.

Özgül (1984), in his study between Alanya-Gazipaşa, stated that Alanya Unit consisted of three imbricate metamorphic nappes. This researcher said that Mahmutlar formation, which formed the lower nappe, was represented by Permian-probably Upper Permian aged meta-clastic and metacarbonates and that Yumruadağ group, which formed the upper nappe, was represented by Upper Permian-Lower Triassic aged meta-clastic and metacarbonates. This researcher stated that Sugözü formation, which formed the middle nappe, was composed of garnet-mica schists containing eclogite, amphibolite and glaucophanite bands-lenses. Okay (1986) said that the Alanya Massif was composed of three superimposed nappes. The researcher stated that the Mahmutlar nappe formed by metamorphism of a heterogeneous series which consisted of sandstone, dolomite, shale and limestone were observed at the bottom and that the Sugözü nappe consisting of garnet-mica schist and sparse metabasite bands and lenses were observed in middle levels these Massif and that the Yumruadağ nappe being formed with metamorphism of a thin shale unite and thick Permian carbonates taken part in the top.

Öztürk et al. (1995) specified that Cambrian and Ordovician aged “Payallar unite” taken part in the base of Alanya nappe and that Upper Triassic and / or Upper Cretaceous aged and flysch characterized “Chaotic series” was tectonically observed on Payallar unite. The researchers said that Çukuryurt unite deposited in various ages and lithologies from the Cambrian to the Cretaceous was tectonically observed at the top. Işık and Tekeli (1995) indicate that Alanya metamorphites outcropping around Anamur contained the metapelites, metabasites, marble and quartzites and that these rocks were affected by a Barrovian type metamorphism reaching up to amphibolite facies at high temperature.

Kansun (2000), in his study in Alanya-Demirtaş-Bucak-Kızılcashehir vicinities, specified that Alanya Unit consists of three imbricate metamorphic nappes. The researcher said that Mahmutlar group (lower nappe) was composed of Cambrian aged chloritoid schist and widespread mica schists containing crystallized limestone, cherty dolomite, quartzite interlevels and greenschist



lenses at the base and that this group was composed of Upper (?) Permian aged metasediments, phyllite, quartzite and crystallized limestone at upper levels. Kansun (2000) stated that Late Cretaceous-Paleocene (?) settlement aged Sugözü complex (middle nappe) composed of garnet-mica schists containing greenschist, amphibolite, glaucophanite, eclogite bands-lenses and metagabro levels and that Cambrian, Permian and Triassic aged blocks were observed within the complex. The researcher specified that Yumrudağ group (upper nappe) started with Cambrian aged mica schists containing cherty dolomite, crystallized limestone, quartzite interlevels and greenschist lenses at the bottom and higher up that Upper Permian aged containing greenschist lenses, indicates that alternation quartz schist - chloritoid schist - calcschist - crystallized limestone - phyllite and thick bituminous crystallized limestone were unconformably observed. The researcher said that Lower Triassic aged calcschists starting with a bauxite level at the bottom unconformably taken part in these units and that Middle (?) - Upper Triassic dolomites, which contain also bauxite lenses at the bottom, formed the highest level of Yumrudağ group.

Turan (2007), in his study in Bozyazı (Mersin) vicinity, specified that Late Cretaceous aged Sugözü nappe taken part in the lower part of the metamorphites belonging to Alanya Unit and that Yumrudağ nappe was observed the upper metamorphic slice in the Bozyazı (Mersin) region. The researcher suggested that these metamorphic nappes were unconformably covered by Late Paleocene-Eocene aged flyschoids.

Çetinkaplan (2018), in his study in Anamur vicinity, stated that Precambrian aged metaclastics (Sarıağaç unite), which was cut by basic and acidic metamagmatics in the region and underwent metamorphism under the conditions of upper amphibolite facies, constituted the paraautochthonic base. The researcher suggested that the Kapıdağ nappe, which underwent medium pressure metamorphism at Barrov type under greenschist facies conditions, covered the Sarıağaç unite with a tectonic contact. Çetinkaplan (2018) said that the Kapıdağ nappe, which forms a regular and thick sequence, started with a possible infracambrian aged group consisting of alternation of dolomite, marble, muscovite-quartz schist and chlorite schist at the base and that low-grade metamorphics consisting of quartzites, metacarbonates and schists, which were derived from Cambro-Oordovician aged Hüdayi, Çaltepe and Seydişehir formations, were observed on these unites.

## **2. Material and Method**

In the field studies, detailed geological map of the study area was prepared by using the Alanya - P 29-c1 and Alanya - P 29-c2 numbered topographic maps at 1/25000 scale (Figure 2). In addition, it was made use of the geological map prepared by Kansun et al. (2018) and Deli (2011). The stratigraphic cross section of the region was created by taking into account the bottom-top relationships of the lithologies in the study area (Figure 3). The lithologies outcropping in the study area were identified and 295 rock samples were taken for petrographic studies. Thin sections were made from 210 rocks at Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Geological Engineering. These thin sections were investigated to determine mineralogical compositions, texture - structure properties, mineral paragenesis, index minerals and metamorphism - deformation relations with polarizing microscope. In particular, the definitions of some index minerals in the Sugözü complex were supported by microprobe analyzes (Kansun et al., 2018), which were made in the laboratories of the Middle East Technical University.

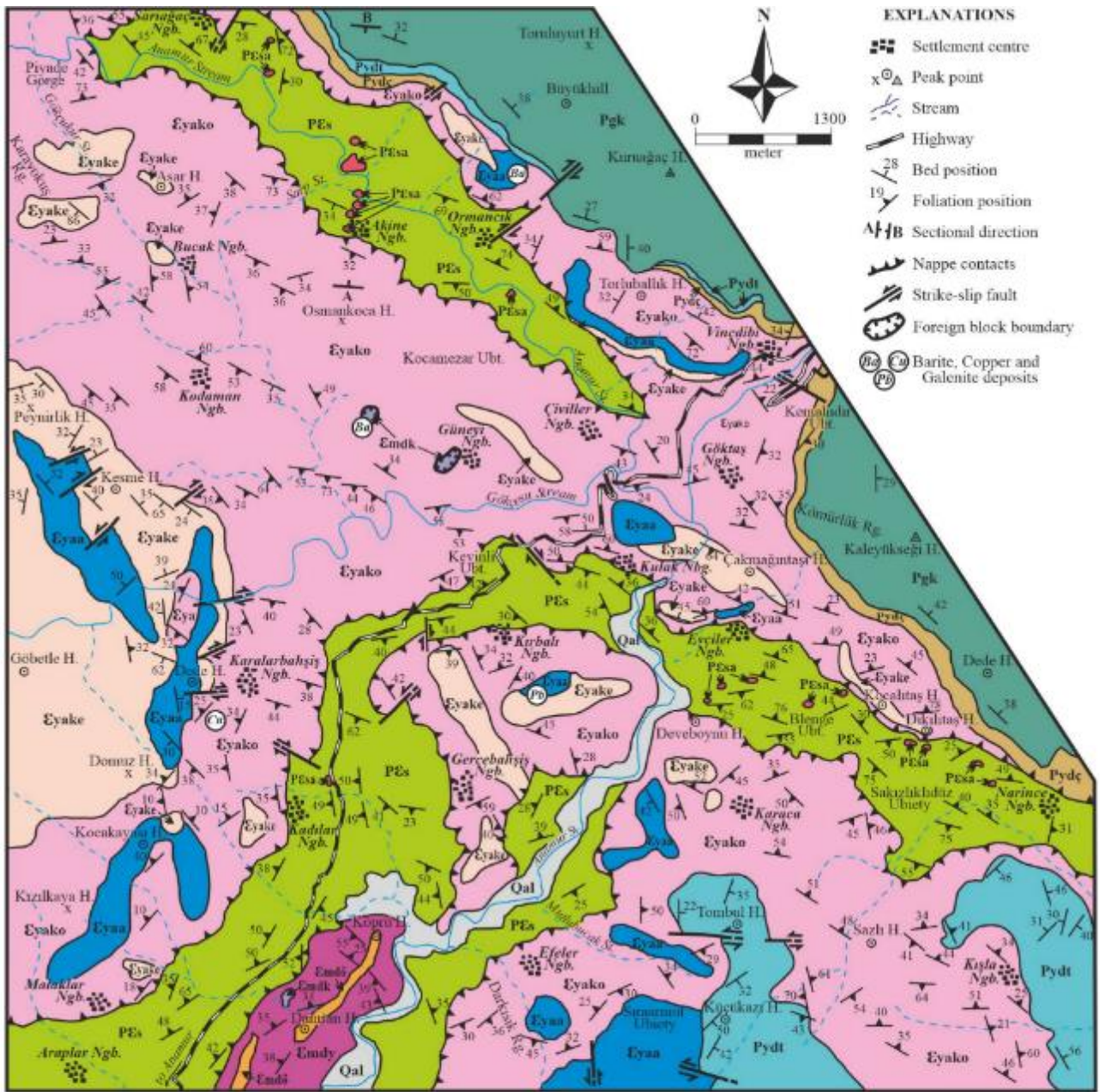
The classification of metamorphic rocks have been made by considering mineralogical compositions, texture-structure properties and sometimes characteristics of origin. "Phyllite", "quartzite" and "mica schist" were determined in "the classification diagrams of metamorphic rocks at low and high temperature" of Winkler (1979). The massive structured metamorphic rocks, which are rich with regard to carbonate minerals, were named as "crystallized limestone", "dolomitic limestone" and "dolomite". The rocks containing calcite minerals more than 90% were named as "crystallized limestone". The rocks containing dolomite minerals more than 90% were named as "dolomite". The rocks containing 50-90% calcite mineral and 10-50% dolomite mineral were named as "dolomitic limestone". The separation of calcite and dolomite minerals in these rocks was made with the help of their optical properties at the polarizing microscope and with the test of the alizerine applied to these rocks. It was observed that the rocks, which were classified as "metagabro" and "metadiabase", underwent to metamorphism and that they protected the origin rock textures. These rocks were named as "gabro" and "diabase" by considering the mineralogical composition and texture-structure properties, and the prefix "meta", which showed that they underwent metamorphism, was placed at the beginning of these naming.

## **3. Results and Discussion**

### **3.1. Stratigraphy and Petrography**

The metamorphic rocks observed between Manavgat-Alanya-Anamur in south of the Middle Taurides were named as first "Alanya Massif" and later "Alanya-Anamur Massif" in the Alanya region by Blumenthal (1951 and 1963). It was understood that these metamorphites hadn't an old basic characteristic with both their age and their structural location, and this group consisting of metamorphites was named as "Alanya Unit" by Özgül (1976) according to Alanya District where it is best observed.

Alanya Unit consists of three imbricate metamorphic nappes. These, from the bottom to the top, are Lower-Middle Cambrian aged Mahmutlar group (lower nappe), Precambrian aged Sugözü complex (middle nappe) and Lower-Middle Cambrian and Upper Permian aged Yumrudağ group (upper nappe) (Figure 3). The base of Alanya unit could not be observed in the study area. On the other hand, the Alanya Unit tectonically overlies the Antalya Unit in the vicinities of Gündoğdu, Köprülü and Demirtaş (Antalya) and in the west and southwest of the study area (Özgül, 1984). Alanya Unit is unconformably overlain by Upper Paleocene - Middle Eocene aged Kötekler formation in the study area (Figure 3). The lithologies belonging to the Aladağ Unit are observed by tectonic contact over the Alanya Unit and Kötekler formation in about 2 km northeast of the study area (Özgül, 1984; Turan, 2007).



ALANYA UNIT

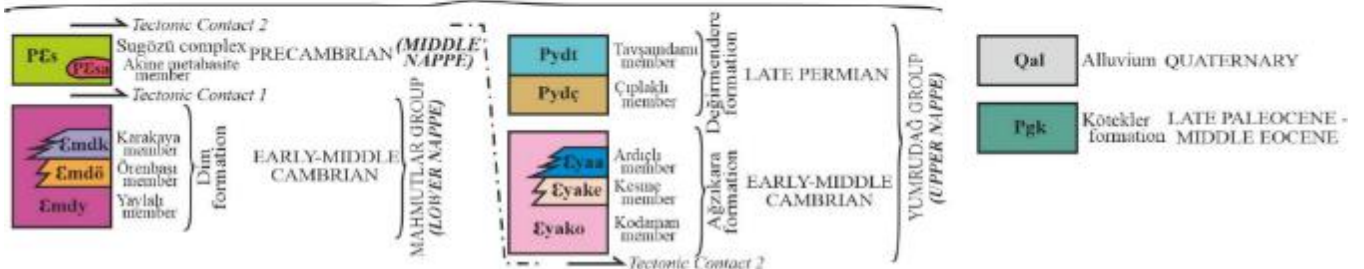


Figure 2. Geological map of the study area

3.1.1. Mahmutlar Group (Lower Nappe)

The metamorphites observed at the base of the Alanya Unit were initially named as Permian aged “Mahmutlar formation” by Okay and Özgül (1982). Kansun (2000) stated that these metamorphites consisted of two formations shown different ages, and he was named as the Mahmutlar group to these lithologies. The Mahmutlar group is observed in places where the topography is lower



according to Sugözü complex (middle nappe) and Yumruadağ group (upper nappe). Mahmutlar group is represented by Dim formation in the study area (Figures 2 and 3).

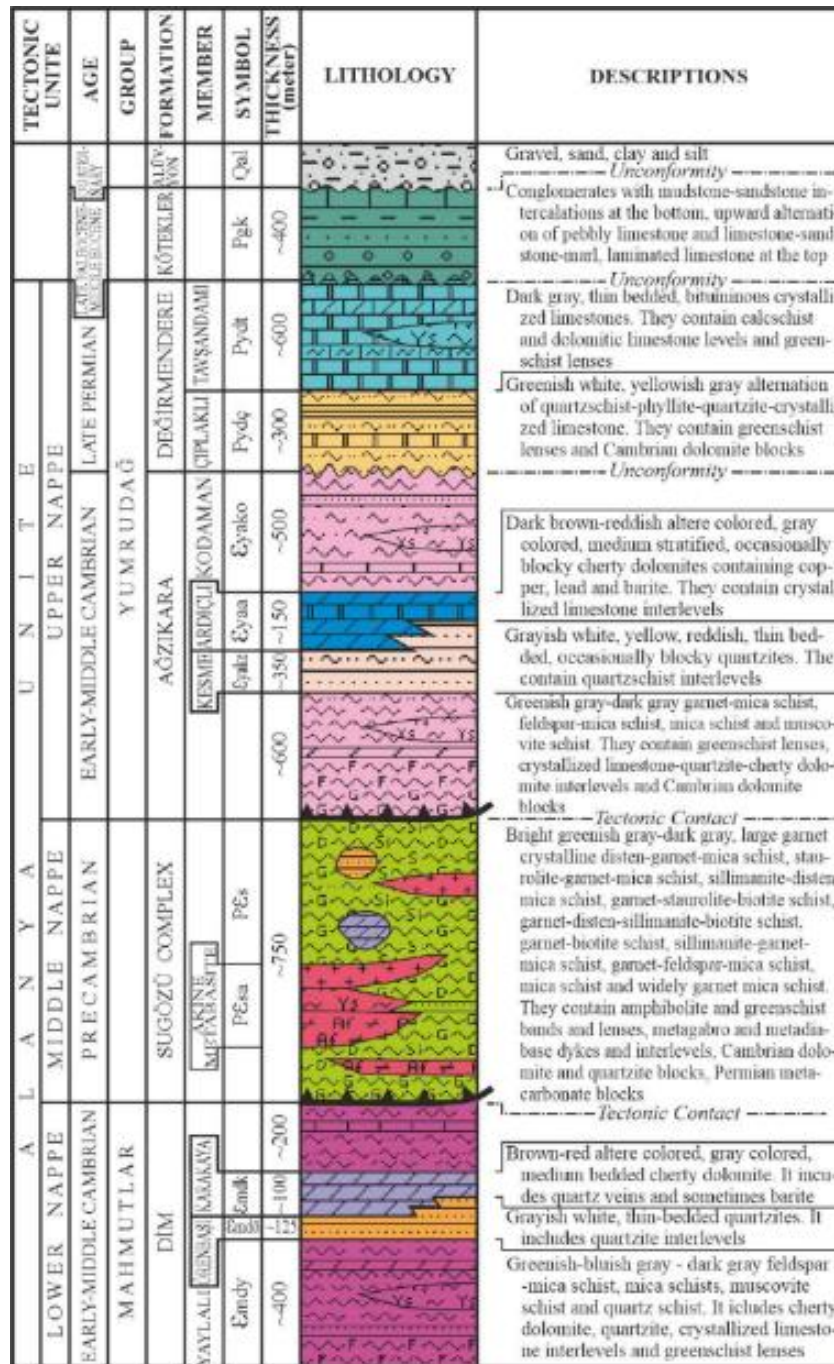


Figure 3. The tectono-stratigraphic cross section of the study area

### 3.1.1.1. Dim Formation

It is a lithostratigraphic unit composed of mainly cherty dolomite, quartzite, crystallized limestone interlevels, greenschist lenses and muscovite schist, quartz schist and widespread mica schists. It was named as Dim formation by Kansun (2000), referring to the Dim River area in Alanya, where it was typically observed. The formation is divided into three members by considering its lithological characteristics and mappable dimensions. These are Örenbaşı member consisting of quartzites, Karakaya member consisting of cherty dolomites and Yaylalı member consisting of extensively metapelitic rocks (Figures 2 and 3).

#### 3.1.1.1.1. Yaylalı Member

It is composed of quartz schist, muscovite schist and extensively mica schists containing cherty dolomite, quartzite, crystallized limestone interlevels and greenschist lenses. It was named as Yaylalı member by Kansun (1993), referring to Yaylalı Neighborhood

(Alanya) where it typical was observed. Yaylalı member observes in the western parts of the Anamur Stream in south of the study area (Figure 2).

Yaylalı member is commonly composed of greenish-yellowish gray, dark gray colored mica schists (Figure 4). Feldspar-mica schists emerge especially at the base levels of the member. Muscovite schists and quartz schists are sometimes seen in the member. The metapelitic schists, which are rich in chlorite, show green color. The folded structures are sometimes observed in these pelitic schists. Mica schists generally show not densely curved structure in the study area. On the other hand, the densely folded structures and the small-scaled faults are dominant in mica schists observed especially in the boundaries where Sugözü complex overlies tectonically Mahmutlar group. Especially in the mica schists in these zones, the amount of chlorite increases, the rocks are green color due to large amounts of chlorite, the grain size is smaller in the rocks, and the thickness of the foliation levels is thinner in the rocks. Abundantly milk-white colored secondary quartz veins has filled the cracks of these mica schists. The effects of dislocation metamorphism are observed in very narrow areas in some mica schists observed in the thrust zones. The rocks turned to mylonite schists in these zones.



Figure 4. a) Mica schists belonging to Yaylalı member shown in the west of Damran Hill, b) Dolomite interlevels in mica schists observed in south of Köprü Hill

The cherty dolomite, quartzite and crystallized limestones are observed as lenses and interlevels in metapelitic schists. These show sometimes alternate of with schists. The cherty dolomites, which are observed as thin levels, are dark gray colored, brown alteration colored, and show 5-20 cm layer thickness and sometimes blocky structure. These dolomites show thicknesses up to 2 meters in mica schists (Figure 4-b). The quartzite interlevels are gray - white colored, pink-red alteration colored and thin bedded. Layer thicknesses of these quartzites reach up to 30-40 cm. The gray colored crystallized limestone interlevels are thin-medium bedded. The isoclinal oblique folds are observe typically in these metacarbonates, whose thicks reache sometimes up to 1 m in schists.

There are yellowish green - green colored and foliated greenschists at sizes that can not be mapped in very narrow areas within Yaylalı member. These metabasic rocks are in the form of bands and lenses developed parallel to the foliations within the metapelitic schists. The albite-chlorite schists and epidote-actinolite schists form the greenschists.

**Metapelitic schists** belonging to Yaylalı member show porphyroblastic and granolepidoblastic textures. *Biotite (brown) + muscovite + quartz + chlorite (pennin-grocoyite and ripidolite) + plagioclase ± microcline ± epidote ± tourmaline (brown) ± apatite* are observed in these rocks. Albite-chlorite schists and epidote-actinolite schists (greenschist) show porphyroblastic, granolepidoblastic, granonematoblastic and nematoblastic textures. The mineralogical composition in the **greenschists** is *chlorite (ripidolite-picnochlorite) + actinolite (bluish green, green) + plagioclase (albite) + epidote ± zoisite / clinozoisite ± quartz ± calcite ± tremolite ± muscovite ± biotite (green) + sphene ± apatite*.

The **biotites** in the mica schists are brown - reddish brownish colored (Figure 5). The biotites are sometimes have been converted to chlorite from their crystal edges and cleavages. Two different recrystallization planes are observed from time to time in mica schists, in which increase muscovite content. These are primary foliation planes ( $S_1$ ) that develop with early stage deformations, and are secondary foliation planes ( $S_2$ ) been formed with progressive deformations. The primary foliations have been folded again over time, and muscovite, sometimes chlorite (ripidolite-picnochlorite turned to from biotite) and biotite (green) recrystallizations have been developed in the axial planes of the secondary folds. The new foliation planes ( $S_2$ ) belonging to late stage deformations cut the previous foliations at an angle. This structure is called as monoclinial kink bands (Etheridge and Hopps, 1974). Since muscovites are easily foldable minerals, the kink band formation is typical in rocks where muscovites are dense. The muscovites, chlorites and biotites show symmetrical creasing folds (kink band) by depending repetitive and advanced deformations in mica schists.

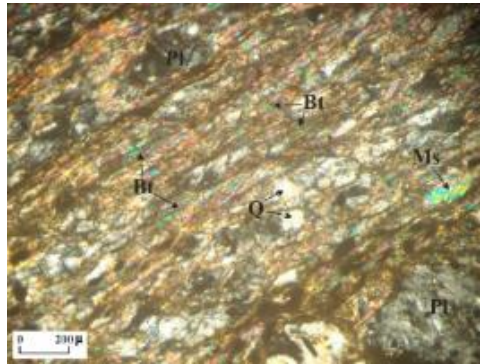


Figure 5. The view from the micaschist belonging to the Yaylali member. Ms: Muscovite, Bt: Biotite, Pl: Plagioclase, Q: Quartz, // Nicol

**Chlorites** have formed with retrograde metamorphism from biotites in metapelitic schists. These chlorites in these rocks are green colored and probably in ripidolite composition. Chlorites, which are observed primary in some micaschists, are pale green colored and probably in pennin-grocoite composition from Mg-chlorites. Chlorites are the major component of chlorite schists. The green colored chlorites in these rocks are in probably ripidolite-pinochlorite composition from Mg-Fe chlorites. **Plagioclases** generally are in porphyroblast view, and contain abundant inclusions (Figures 5 and 6). The quartzs, muscovites and opaque minerals form the inclusions. According to extinction angle determinations, plagioclases are albite ( $Ab_{94}An_{06}$ ,  $Ab_{96}An_{04}$ ), oligoclase ( $Ab_{82}An_{18}$ ), andezine ( $Ab_{67}An_{33}$ ) in metapelitic schists, and are albite ( $Ab_{92}An_{08}$ ,  $Ab_{96}An_{04}$ ) in greenschists. **Actinolites**, which are green-bluish green colored and prismatic-fibrous shaped, form the major component of the greenschists (Figure 6). **Tremolites** observed in a small amount in greenschists are prismatic shape and colorless-very pale green colored.

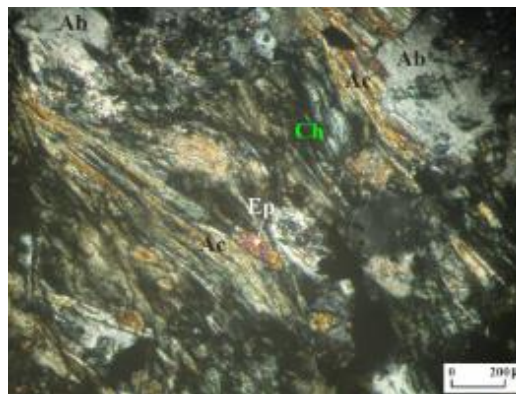


Figure 6. The view from the epidote-actinolite schist belonging to Yaylali member. Ac: Actinolite, Ep: Epidote, Ch: Chlorite, Ab: Albite, // Nicol

The minerals and their percentage values in the five samples belonging to metapelitic schists and greenschists are given in Table 1.

Table 1. Components, percentage values of components and rock names of five samples belonging to metapelitic schists and greenschists observed in Yaylali member

The Name of Mineral	The Name of Rock				
	Mica schist	Feldspar-mica schist	Muscovite schist	Albite-chlorite schist	Epidote-actinolite schist
Biotite	15	17	-	1	2
Muscovite	35	31	45	2	-
Quartz	30	23	35	3	2
Chlorite (from biotite)	15	12	-	-	-
Plagioclase	3	12	4	18	7
Chlorite	-	3	12	57	13
Actinolite	-	-	-	5	42
Zosite/Clinozoisite	-	-	-	3	8
Calcite	-	-	-	-	2
Tremolite	-	-	-	-	3
Microkline	1	-	2	-	-
Epidote	-	1	-	9	18
Sphene	-	-	-	1	2
Tourmaline	1	-	1	-	-
Apatite	-	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>



The visible thickness of Yaylalı member, which forms a large part of the Dim formation, is approximately 600 m. The base of Yaylalı member could not be observed in the study area. The metapelitic rocks constituting the dominant lithology of Yaylalı member show lateral and vertical transitions with metaclastics and metacarbonates belonging to Örenbaşı member and Karakaya member (Figure 3). Yaylalı member is tectonically covered by Sugözü complex in the east of Araplar Neighborhood in the south of the study area (Figure 2).

According to Kansun (2000), Yaylalı member offers features that can be correlated with metapelitic schist levels of Precambrian (?) and Upper Cambrian - Ordovician aged Payallar unite, which defined in the northeast of the Payallar by Öztürk et al. (1995), and with Cambro-Ordovician aged Gevinde formation, which defined in Demirtaş-Gazipaşa (Antalya) vicinities by Erbay (1998). Kansun (2000) specified that the metapelites belonging to Yaylalı member of Dim formation in Alanya region show lateral-vertical transition with quartzites and cherty dolomites, which were Lower and Middle Cambrian aged according to Öztürk et al. (1995) and Erbay (1998), and that the metapelites belonging to Yaylalı member contained the quartzites (Örenbaşı member) and the cherty dolomites (Karakaya member) as the interlevels. Therefore, Kansun (2000) said that the age of Yaylalı member was Lower-Middle Cambrian.

Also, Yaylalı member show features that can be correlated with "Pre-Ordovician" aged the base levels of the Tülüce complex Caran (1999) within Menderes Massif, which observed between Uşak-Banaz-Sivaslı (Kansun, 2000).

### **3.1.1.1.2. Örenbaşı Member**

It is composed of quartzites containing quartz schist interlevels. It was named by Kansun (2000), referring to Örenbaşı Ubiety (Alanya) where it was best observed. Örenbaşı member is observed as the thin level at Damran Hill and Köprü Hill in the south of the study area (Figures 2 and 7).

Örenbaşı member is composed of pink-red surface colored and grayish white breakage colored quartzites (Figure 7). Muscovite-quartz schists are observed as interlevels in places where phyllosilicate minerals are increased within the member. Quartzites are thin bedded and mostly massive. The thicknesses of bed of quartzites is between 5-30 cm. Abundant fractured structures are observed in quartzites.



*Figure 7. Quartzites belonging to Örenbaşı member observed in the south of Köprü Hill*

Quartzites and quartz schists observed in the member show granoblastic and granolepidoblastic textures. These rocks have mineral paragenesis of *quartz* ± *muscovite* ± *epidote* ± *microcline* ± *chlorite* ± *biotite* (brown) ± *plagioclase* (albite) ± *tourmaline* (green) ± *apatite*. Muscovite-quartz schists come into the open at the result of that of the micas and chlorites increase in in tha rocks and that the rock show the foliated structure.

Örenbaşı member, which is observed within Dim formation in the study area, presents an apparent thickness of approximately 125 m. Quartzites are observed as thin levels at dimensions which sometimes can be mapped and sometimes can be not mapped, within metapelitic schists belonging to Dim formation. Örenbaşı member generally show vertical transitions with metapelitic schists belonging to Yaylalı member from the bottom, and show lateral-vertical transitions with cherty dolomites belonging to Karakaya member from the top (Figure 3).

Öztürk et al. (1995) said that the quartzites observed in the bottom levels of "Payallar unite", which defined in the bottom levels of Alanya Unit in the northeast of Payallar were Lower Cambrian aged. Erbay (1998) stated that the quartzites, which observed at the base of the Alanya Unit, taken part in as concordant under Middle Cambrian aged cherty dolomites containing trilobite, and that the quartzites were Lower Cambrian aged (Kansun, 2000). The quartzites belonging to Örenbaşı member in the study area are observed as concordant under cherty dolomites (Figure 3). Therefore, Örenbaşı member is Lower Cambrian aged.

The quartzites belonging to Örenbaşı member show features that can be correlated with Lower Cambrian aged Hüdai quartzite (Özgül et al., 1991) in Homa-Akdağ and Sultandağları, with Lower Cambrian aged Kocaosman formation (Şenel, 1992) in the Karacahisar dome and with Lower Cambrian aged Hacıısaklı formation (Demirtaşlı, 1987) in Silifke vicinity (Kansun, 2000).

### **3.1.1.1.3. Karakaya Member**

It is composed of cherty dolomites. These dolomites were named as Karakaya member referring to Karakaya Ridge in the northern part of Alanya, where they observed typically, by Kansun (2000). In addition, these cherty dolomites are observed as

interlevels within the schists belonging to Dim formation (Figure 4-b). It is seen at the very narrow area in the northwest of Damran Hill (Figure 2).

Karakaya member is composed of reddish brown-red surface colored and gray-dark gray breakage colored dolomites. These dolomites are very hard structured, medium bedded and sometimes at blocky appearance (Figure 8). The thicknesses of stratum of them varies between 10-25 cm. The chert levels, which developed parallel to stratification, are observed in dolomites. The cherts are in dark gray - blackish colors, and the thicknesses of the chert levels are 1-3 cm. Sometimes, the cherty dolomites are typical with their blocky appearances. The diameters of these blocks reach up to 3 meters. The cleft and crack systems developed in different directions are observed in the cherty dolomites. These cleft and crack systems are filled with milk white colored quartz (Figure 8).

Dolomites contain *dolomite* + *calcite* ± *quartz* ± *chlorite* (*pennin-clinoclone*) as mineralogical composition. The amount of dolomite mineral in these metacarbonates is more than 90% (Figure 9). Chlorites observed in minor amounts in metacarbonates are pale green colored and are possibly in Mg-chlorite composition.

The dolomites belonging to Karakaya member have the visible thickness of approximately 100 m in places, where the thickest outcrops are observed (Figure 3). These dolomites show lateral and vertical transition with metapelitic schists belonging to Yaylalı member. They show lateral and vertical transition with quartzites belonging to Örenbaşı member in many locations, where they are observed, in Dim formation (Figure 3).



Figure 8. The blocked dolomites containing milky white colored quartz veins belonging to Karakaya member in northwest of Damran Hill

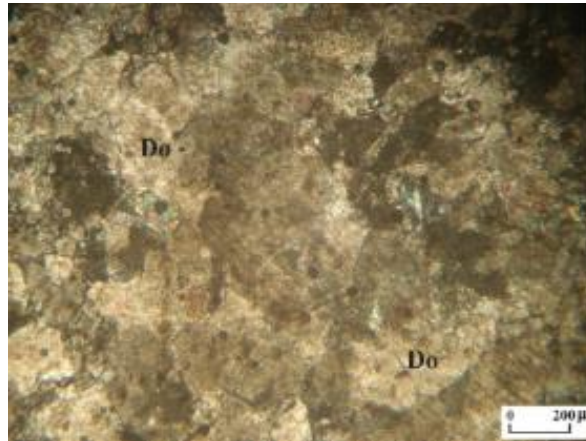


Figure 9. The dolomites belonging to Karakaya member. Do: Dolomite, // Nicol

Erbay (1998) stated that the thick-bedded dolomites, which contain the chert nodules and barite veins and which are called as Çaltepe formation at the bottom levels of Alanya Unit in Demirtaş-Gazipaşa (Antalya) vicinities, contain trilobite fossils and that are Middle Cambrian aged. Reference Öztürk et al. (1995) said that the dolomites, which contain the chert nodules and barite veins and which observed in Payallar unite defined as the bottom levels of Alanya Unit in the northeast of Payallar, are Middle Cambrian aged. Kansun (2000) claimed that the chert dolomites observed at the bottom levels of Alanya Unit in Alanya region are Middle Cambrian aged. In the study area, the dolomites belonging to the Karakaya member, which show very similar features with the lithologies and the boundary relations, which were defined by Erbay (1998), Öztürk et al. (1995) and Kansun (2000) should be Middle Cambrian aged.

The dolomites belonging to Karakaya member have similar lithological features with Middle Cambrian aged Çaltepe limestone (Monod, 1977) observed in Homa-Akdağ (Özgül et al., 1991), Sultandağları (Öztürk et al., 1981) and Karacahisar dome (Şenel, 1992), and with Middle Cambrian aged Ovacıkışıklı formation (Demirtaşlı, 1987) observed in Silifke vicinity (Kansun, 2000).

### 3.1.2. Sugözü Complex (Middle Nappe)

It is composed of mica schists with kyanite-sillimanite-staurolite and extensively granat-mica schists. In these metapelitic schists, it is observed sometimes quartzite and quartzschist interlevels, amphibolite - amphibole schist - greenschist bands and lenses, metagabbro - metadiabase dykes and interlevels, Cambrian aged dolomite – quartzite blocks and Upper Permian aged metacarbonate blocks belonging to Alanya Unit. This unit was first described as the Sugözü formation by Okay and Özgül (1982). Kansun (2000) specified that the intense metabasite interlevels - metagabbro blocks - metacarbonate levels together with metasediments and also Cambrian - Permian - Triassic blocks at various ages and lithologies belonging to Alanya Unit were observed in the unite. Therefore, Kansun (2000) was named as Sugözü complex the litologies, which are composed of many different rocks and lost their primary relations. In this study, the intense metabasite interlevels and metagabbro - metadiabase blocks together with metasediments and Cambrian - Permian aged the rock blocks at different ages and lithologies belonging to Alanya Unit have been observed in the unite. Therefore, these lithologies have been named as Sugözü complex in this study. In the study area, Sugözü complex according to Mahmutlar group is observed in areas where topography is higher. Whereas, Sugözü complex according to Yumrudağ group where topography is lower. Sugözü complex are seen in the vicinities of Araplar Neighborhood, Kadılar Neighborhood, Evciler Neighborhood, Narince Neighborhood, Sariağaç Neighborhood, Akine Neighborhood and Ormancık Neighborhood in the study area (Figure 2).

Sugözü complex is commonly composed of mica schists with garnet (Figure 10-a). In the complex, also sillimanite-garnet-mica schist, staurolite-garnet-mica schist, garnet-feldspar-mica schist, sillimanite-kyanite-mica schist, kyanite-garnet-mica schist, garnet-staurolite-biotite schist, garnet-biotite schist and garnet-kyanite-sillimanite-biotite schist are observed (Figure 10-b). These metapelitic rocks do not have a regular sequence, and can be observed at all levels of the complex. The bands and lenses of amphibolite-amphibole schist- greenschist, dykes and interlevels of metagabbro - metadiabase are observed in Sugözü complex (Figures 3 and 11). The metapelitic and metabasic rocks of the Sugözü complex are characterized by garnet porphyroblasts, bright greenish colors due to retrograde metamorphism and generally thick foliation structures. For this reason, the Sugözü complex is easily distinguished from the lithologies of the Mahmutlar and Yumrudağ groups within the Alanya Unit. Garnet porphyroblasts are generally brown and sometimes green colored, and diameters of these porphyroblasts reach up to 5-6 mm in places (Figure 10-a). These garnet porphyroblasts observed in Sugözü complex are used to determine the boundaries in the field. Because, these garnet porphyroblasts have been not observed in both the lithologies of Mahmutlar group forming the lower nappe and the lithologies of Yumrudağ group forming the upper nappe. In metapelitic rocks belonging to Sugözü complex in places near the thrust boundaries at the bottom and top levels of the Sugözü complex, the garnets disappear due to the retrograde metamorphism that occurs probably simultaneously or later with the thrust, the garnets disappear and turn to completely chlorite, biotite and epidote.

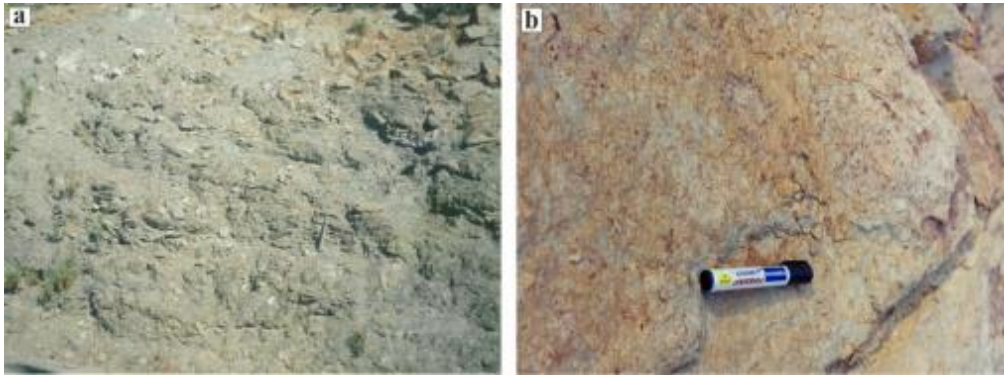


Figure 10. a) The sillimanite-kyanite-micaschists belonging to Sugözü complex observed in the vicinity of Blende Ubiety, b) Brown colored garnet porphyroblasts observed in mica schists with garnet belonging to Sugözü complex, the south of Evciler Neighborhood



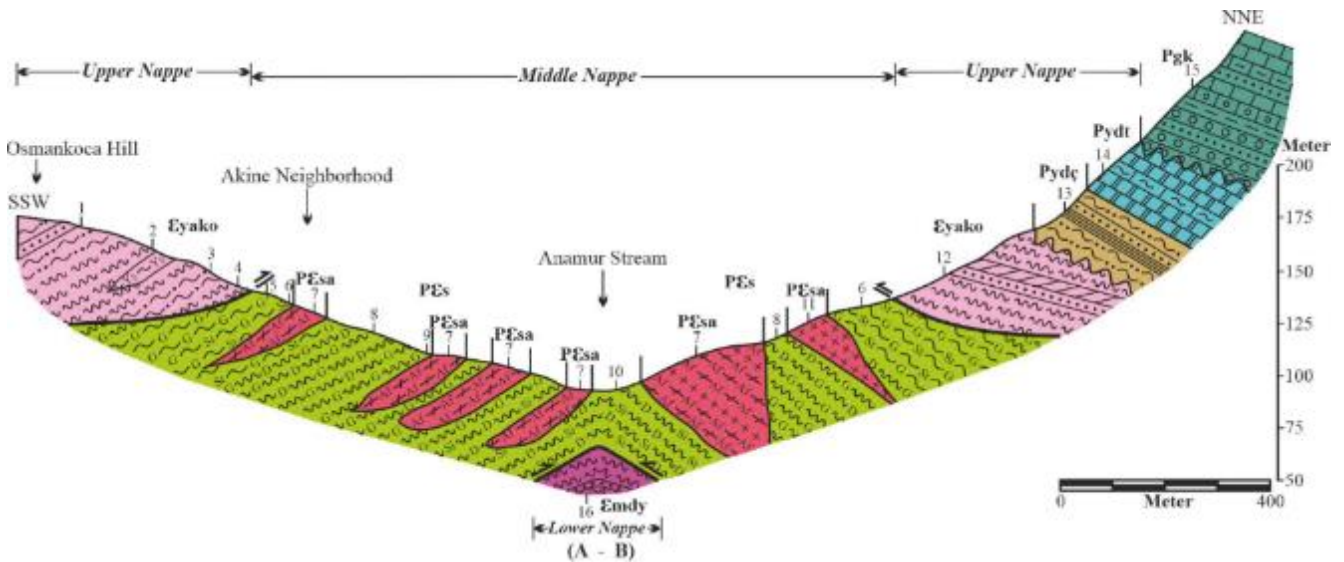


Figure 11. Geological section of the outcrops belonging to Sugözü complex (Pes, Pesa), Yumrudağ group (eyako, Pydç, Pydt) and Kötekler formation (Pgk) along Osmankoca Hill - Akine Neighborhood - Anamur Stream line (A-B). The geological cross-section which is along A-B is shown in the geological map given in Figure 2. 1) Yellowish white colored quartz schist level which contain with quartzite interlevels, 2) Greenish gray colored mica schist level which contain greenschist lenses, 3) Gray colored quartz-muscovite schist level, 4) Grayish green colored mica schist level which contain widespread chlorite, 5) Bright green - dark gray colored garnet-biotite schist level which contain large garnet crystals, 6) Shiny greenish gray colored garnet-staurolite-biotite schist level which contain prominent garnet crystals and thick schistosity structures, 7) Green - blackish green colored garnet - amphibolite level which show mass structure and sometimes weak schistosity structure compatible with foliation of metapelitic rocks, which observe lenticular and which contain coarse garnet crystals, 8) Bright green-gray colored kyanite-garnet-mica schist level which contain garnet porphyroblasts, 9) Bright greenish gray colored garnet-mica schist level which contain common coarse grained mica and garnet crystals, 10) Bright green-gray colored sillimanite-dysten-mica schist level which contain coarse feldspar crystals, 11) Green - black colored metagabbro level which show massive structure and sometimes weak schistosity structure and which contain coarse hornblende crystals, 12) Greenish-whitish gray colored micaschist level which contain quartzite and cherty dolomite interlevels, chlorite is commonly observed at the bottom, 13) Greenish white - yellowish gray colored muscovite-quartz schist level which contain alternation of phyllite – quartzite, 14) Dark gray colored, thin-bedded, partly bituminous crystallized limestone level which contain calcschist interlevels, 15) Burgundy-gray-pinkish colored conglomerate, pebbly limestone, alternation of limestone-sandstone-marl which contain mudstone-sandstone interlevels, 16) Mica schists belonging to Dim formation (emdy) in Mahmutlar group (probable)

The micaschists in the Sugözü complex are yellowish gray, dark gray in color and appear bright green due to retrograde metamorphism. They constitute the dominant lithology of Sugözü complex. The garnet minerals at large and small sizes are found varying proportions in the rocks. Micas are in the form of large crystals in some mica schists.

The symmetrical, asymmetrical, overturned folds and finer foliations have intensely developed especially in the boundary boundaries belonging to Alanya Unit and sometimes in the micaschists in the complex, depending on both the nappes and the progressive deformations. The micaschists rarely contain quartzite - quartzschist interlevels and milky white colored quartz veins that develop parallel to schistosity.

The greenschist, amphibolite and amphibole schist bands-lenses and metagabbro - metadiabase dykes and interlevels are extensively observed in the Sugözü complex (Figure 12). These metabasites are brownish green, blackish green, greenish black in color, and have blocky appearance and sometimes weak schist structure. These bands and lenses have a length of 5-80 m and a width of 2-50 m. Some metabasites are smaller in sizes.



Figure 12. The garnet-mica schists (Msc) belonging to Sugözü complex, and the garnet-amphibole schist (Amp) lens observed within the garnet-mica schists. The northeast of Kirbali Neighborhood

Metabasites are generally in dimensions, which can not be mapped. The ones, which can be mapped, have been shown on the geological map by being exaggerated (Figure 2). The Cambrian aged cherty dolomite and quartzite blocks and Upper Permian aged crystallized limestone blocks belonging to Alanya Unit were sometimes observed within the Sugözü complex. These blocks are the pieces that Sugözü complex gets them into by tearing off from different aged unites of the Alanya Unit.

The metapelitic and metasepilitic rocks belonging to Sugözü complex show porphyroblastic, lepidoblastic and granolepidoblastic textures. The biotite (brown, green) + muscovite + garnet (prop-almadine-grossular) + quartz ± chlorite (ripidolite-picnochlorite, pennin-clinocllore) ± kyanite ± staurolite ± sillimanite + plagioclase (albite-oligoclase-andesine) ± epidote ± zoisite / clinozoisite ± orthoclase + tourmaline (green, brown) ± graphite ± sphene ± rutile ± apatite mineral assemblage are observed in these metapelitic and metasepilitic rocks.

**Biotites** are reddish brown, brown and green in color in pelitic schists. The brown colored biotites are parallel to the foliation planes S<sub>1</sub> and S<sub>2</sub> (Figures 13-a and b). Green colored biotites, which are rarely observed in mica schists, are parallel to S<sub>3</sub> foliation plane. The brown colored biotites are observed as large porphyroblasts in garnet-biotite schists. This biotites have transformed into sillimanite and kyanite by progressive metamorphism and have transformed into partially or completely chlorite (ripidolite) by retrograde metamorphism in the mica schists and biotite schists (Figure 13-b).

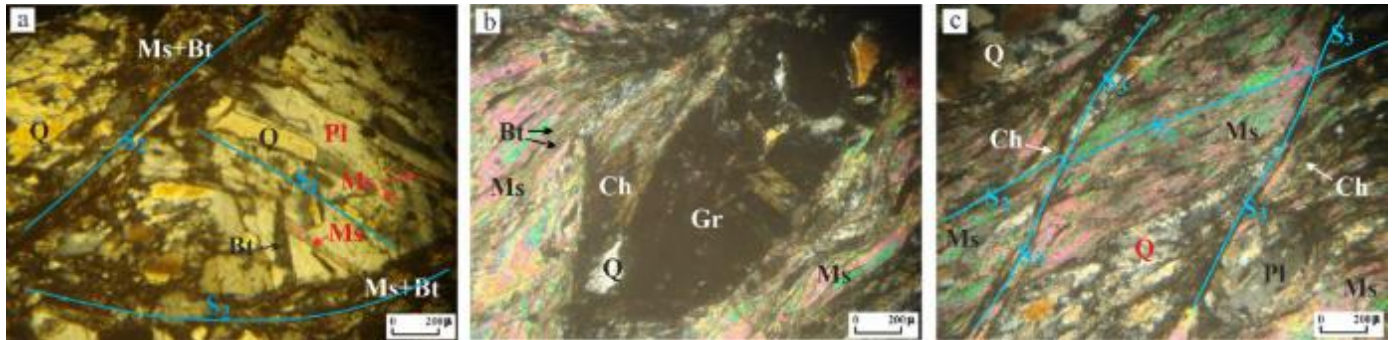


Figure 13. a) S<sub>1</sub> foliation consisting of muscovites (Ms) and biotites (Bt) in plagioclase (Pl) porphyroblast and S<sub>2</sub> foliation consisting of muscovites and biotites surrounding this plagioclase in garnet-mica schist belonging to Sugözü complex, b) Muscovites and biotites forming S<sub>2</sub> foliation in garnet-mica schist belonging to Sugözü complex, c) S<sub>2</sub> foliation consisting of muscovites and biotites, which turn to chlorites, and S<sub>3</sub> foliation developed in the fold axis planes of S<sub>2</sub> in garnet-feldspar-mica schist belonging to Sugözü complex. Ch: Chlorites consisting of biotite, Q: Quartz, // Nicol

The **muscovites** observe in foliation planes S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub> and S<sub>3</sub> (Figure 13). They are observed as porphyroblasts in kyanite-garnet-mica schists. These porphyroblasts have crystallized as pre-tectonic according to the S<sub>2</sub> foliation planes of the rock. Especially, the king-band structures have developed in S<sub>2</sub> foliation planes in muscovite-rich mica schists. Muscovites have sometimes transformed into sillimanite and kyanite by progressive metamorphism.

**Garnet** crystals formed in two different phases are observed in metapelitic rocks. The first phase garnets are colorless - pale brownish yellow in colors. These are seen as xenoblastic – sub-idioblastic and prismatic crystals. These garnets contain sometimes very abundant and are observed as very large porphyroblasts. These first phase garnets have surrounded by the S<sub>2</sub> foliation, which muscovite, brown colored biotite and occasionally long prismatic kyanite forms, in metapelitic rocks. Therefore, these are pre-tectonic according to the F<sub>2</sub> deformation phase. In addition, some garnets have surrounded by elongated chlorites in pressure shadow at the direction of foliation in garnet-feldspar-mica schists (Figure 14-a). This feature shows that these garnets are again pre-tectonic. In the garnet porphyroblasts, the quartz, staurolite, zoisite, muscovite and brown colored biotite inclusions, which form the S<sub>1</sub> foliation, form the snowball structure and helicitic texture (Figures 14-b and c). The snowball structure shows that these garnets crystallize



simultaneously with the F<sub>1</sub> deformation phase (syntectonic). Helisitic texture shows that the crystallization continues after the F<sub>1</sub> deformation phase (post-tectonic). That these garnets sometimes cut S<sub>2</sub> foliation (F<sub>2</sub> deformation phase) and are idioblastic specified that the growth of these garnets continues after the F<sub>2</sub> deformation phase. That staurolite and zoisite inclusions in first phase garnets indicates high pressure areas. These garnets have transformed into chlorite (ripidolite) and sometimes biotite + chlorite + epidote with retrograde metamorphism.

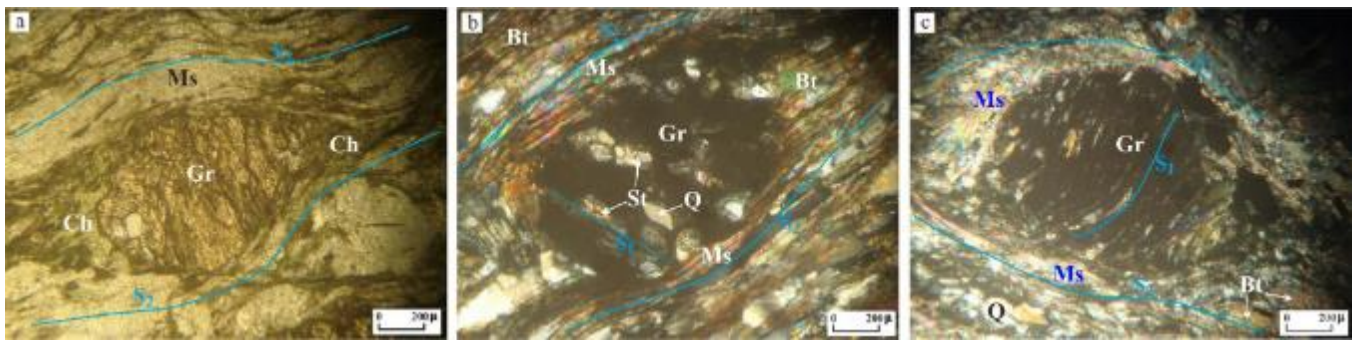


Figure 14. a) In garnet-feldspar-mica schist, the pre-tectonic garnet (Gr) porphyroblast surrounded with chlorites (Ch) extended in a direction in the direction of foliation and in pressure shade, and muscovites (Ms) forming S<sub>2</sub> foliations, b) Pre-tectonic garnet porphyroblasts surrounded by S<sub>2</sub> foliation consisting of muscovite and biotite in staurolite-garnet-mica schist. In the garnet porphyroblast, staurolite (St) and quartz (Q) inclusions extended in one direction which form S<sub>1</sub> foliation form the helisitic texture, c) In the garnet-feldspar-mica schist, quartz and muscovite inclusions which form the S<sub>1</sub> foliation and present the folded s-structure in garnet porphyroblast shown helisitic texture. Garnet porphyroblasts are post-tectonic according to S<sub>1</sub> foliation, and pre-tectonic according to S<sub>2</sub> foliation consisting of muscovite and biotite that surrounds itself. a) / Nicol, b and c) // Nicol

The second phase garnets observed in metapelitic rocks are colorless-pale yellow colored and hexagonal-octagonal shaped. These garnets are generally porphyroblasts, whereas they are observed as smaller idiomorphic octagonal and sub-idioblastic crystals in some garnet-feldspar-mica schists (Figure 15). The quartz and muscovite inclusions forming to the S<sub>1</sub> foliation plane in these garnets show a linear and sometimes slightly folded elongation. This gave the garnet a helisitic texture. Therefore, these garnets are post-tectonic according to the F<sub>1</sub> deformation phase. These garnets have been sometimes surrounded by the S<sub>2</sub> foliation forming of muscovite, brown colored biotite, long prismatic kyanite and sillimanite, also they have cut mostly this foliation. Moreover, sometimes hexagonal shapes have been preserved in these garnets. Therefore, the second phase garnets began to crystallize before the F<sub>2</sub> deformation phase, and they continued to grow after this phase. Like the first phase garnets, these garnets have converted to chlorite (ripidolite) by retrograde metamorphism. Ca (grossular) content from the center to the edge decreases in the garnets observed in Staurolite-garnet-mica schists, whereas Mg (prop) and Fe (almandine) content increases (Kansun et al., 2018). Therefore, there is the decreasing pressure in the environment.

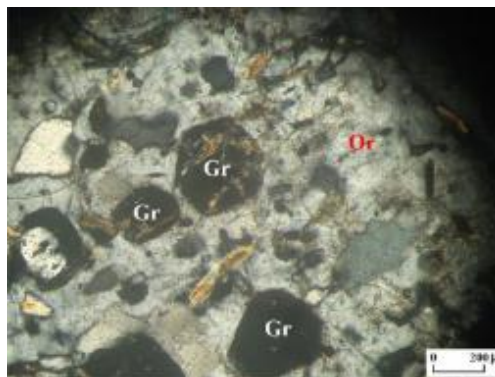


Figure 15. The idiomorphic-hexagonal garnets (Gr) within orthoclase (Or) porphyroblasts at garnet-feldspar-mica schist, // Nicol

**Feldspars** is observed as plagioclase and orthoclase in metapelitic rocks. **Plagioclases** show sometimes twinning. Deformation twins are observed in some plagioclases. This shows the effect of increasing deformation in the environment. The inclusions of quartz, muscovite, biotite, garnet, sphene, rutile and opaque mineral are common in plagioclase, which are generally observed as porphyroblasts in metapelitic rocks (Figures 13-a, 16-a and 16-b). In some plagioclase porphyroblasts, quartz, muscovite, biotite, sphene and rutile inclusions, which form S<sub>1</sub> foliation, show the folded S-structure. These plagioclases shown helisitic texture developed as post-tectonic according to the F<sub>1</sub> deformation phase (Figure 16-b). Again, these plagioclase porphyroblasts have been generally surrounded by S<sub>2</sub> foliation. Therefore, these plagioclases are also pre-tectonic according to the F<sub>2</sub> deformation phase (Figures 13-a and 16-a). That these plagioclases occasionally cut the S<sub>2</sub> foliation (F<sub>2</sub> deformation phase) indicates that the growth of these plagioclases continues after the F<sub>2</sub> deformation phase (Figure 16-b). These plagioclases show oligoclase (Ab<sub>75</sub>An<sub>25</sub>, Ab<sub>77</sub>An<sub>23</sub>) and andesine (Ab<sub>60</sub>An<sub>40</sub>, Ab<sub>62</sub>An<sub>38</sub>) compositions according to extinction angle determinations. Some plagioclase porphyroblasts observed in metapelitic schists intersect the S<sub>2</sub> foliation plane. Therefore, they show post-tectonic characteristics according to the F<sub>2</sub> deformation

phase. The xenomorphic and scattered garnet grains are shown in some of these plagioclase porphyroblasts. This particular indicates that these plagioclases were formed from the garnets. These plagioclases, which are thought to be the last product of metamorphism, have to albite ( $Ab_{93}An_{07}$ ,  $Ab_{94}An_{06}$ ) composition according to extinction angle determinations. Some plagioclases have converted to sericite by retrograde metamorphism.

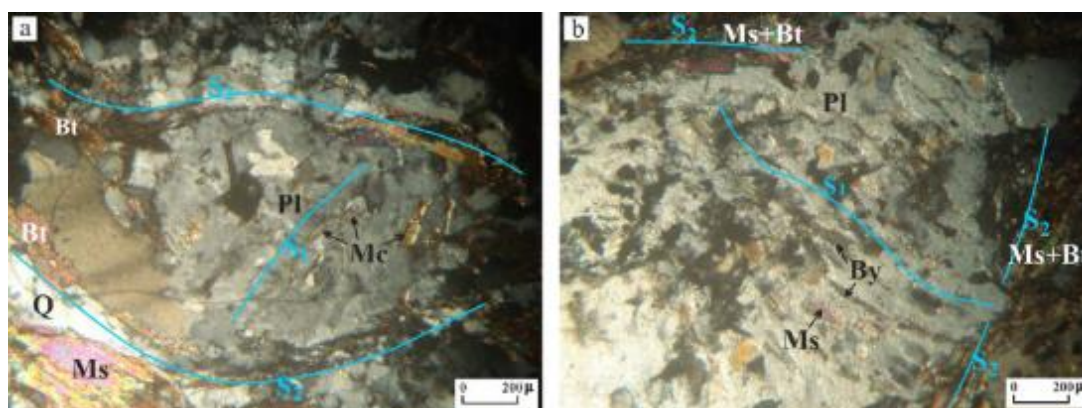


Figure 16. a), The plagioclase porphyroblast, which is pre-tectonic according to the  $S_2$  foliation and are surrounded by  $S_2$  foliation which is formed of muscovite (Ms) and biotite (Bt) in garnet-feldspar-mica schist. The mica (Mc) inclusions, which extend in one direction and are formed the  $S_1$  foliation in the plagioclase porphyroblast, show that the plagioclase porphyroblast is post-tectonic according to  $S_1$  foliation, b) Helicitic textured plagioclase porphyroblast containing muscovite and biotite inclusions, which form  $S_1$  foliation and show a folded s-structure, in the kyanite-garnet-mica schist. This porphyroblast partially interrupts the  $S_2$  foliation formed by muscovite+biotite. Q: Quartz, // Nicol

**Orthoclases** are typical of sub-idiomorph-xenomorph crystals, abundant inclusions and sometimes Karlsbad twins (Figure 17). These inclusions are composed of quartz, muscovite, biotite and garnet (Figure 15). Orthoclases are observed together with sillimanite in almost all pelitic schists.

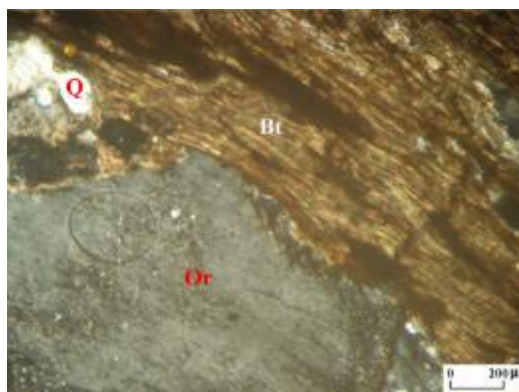


Figure 17. Orthoclase (Or), biotite (Bt) and quartz (Q) in sillimanite-kyanite-mica schist, // Nicol

**Staurolites** are distinct yellow colored and prismatic shaped and contain sometimes quartz inclusions in metapelitic rocks (Figure 18). In metapelitic schists, their proportions reach up to 15%. They are seen generally as porphyroblasts. Staurolite porphyroblasts have been surrounded by  $S_2$  foliation. Therefore, these are pre-tectonic according to the  $F_2$  deformation phase (Figure 18-a). That the staurolite porphyroblasts sometimes grow by interrupting  $S_2$  foliation indicates that they grow as post-tectonic therewithal according to the  $F_2$  deformation phase (Figure 18-b).

In particular, the presence of staurolite together with kyanite and sillimanite (Figures 18-c and d); indicates that the staurolites are still preserved despite the increasing temperature in the environment (progressive metamorphism). Staurolite inclusions are sometimes observed in garnet porphyroblasts which are formed at the second metamorphism phase. This indicates that garnet replaces staurolite as a result of advancing reactions (increasing temperature). As a result, the staurolites were formed in the first metamorphism phase in the Alanya Unit, and they were transformed into kyanite and / or sillimanite and garnet as a result of the increase in temperature. Some staurolite crystals have been transformed into chlorite from their edges. This transformation indicates to the retrograde metamorphism at the environment.



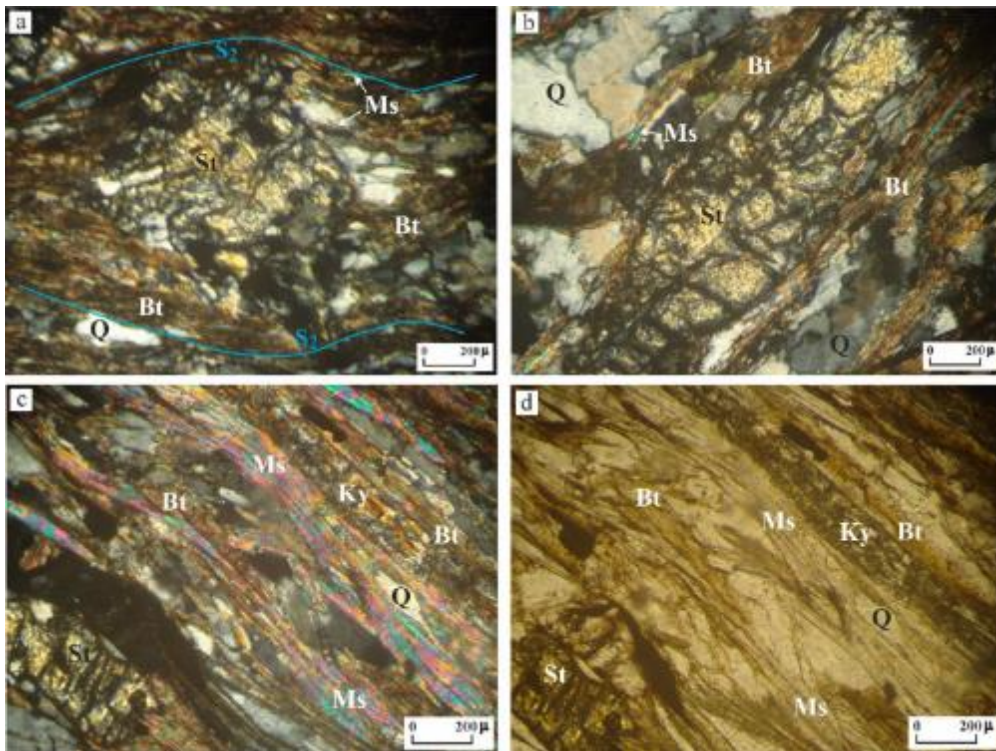


Figure 18. a) The staurolite (St) porphyroblast observed as pre-tectonic according to  $S_2$  foliation which is formed from muscovite (Ms) and biotite (Bt) in staurolite-garnet-mica schist, b) The staurolite porphyroblast observed as post-tectonic according to  $S_2$  foliation which is formed from muscovite and biotite in staurolite-garnet-mica schist, c and d) The staurolite porphyroblast,  $S_2$  foliation which is formed from muscovite and biotite, the kyanite (Ky) porphyroblast which is observed as parallel to this foliation and is formed from biotite and / or muscovite in staurolite-garnet-mica schist. Q: Quartz, a, b and c) // Nicol, d) / Nicol

**Kyanite** is generally seen as sub-idioblastic and prismatic crystals in metapelitic rocks. It shows cleavages which are perpendicular to each other and oblique extinction at low angle (Figure 19). Kyanite porphyroblasts observed in mica schists and biotite schists have been sometimes surrounded by  $S_2$  foliation (Figure 19). Therefore, they are pre-tectonic according to the  $F_2$  deformation stage. In contrast, they are seen generally as long prismatic crystals observed as parallel to muscovites and biotites that form  $S_2$  foliation (Figure 20). In some mica schists, the kyanites have rarely continued to grow by cutting this foliation. Therefore, the formation of the kyanites started before the  $F_2$  deformation phase and continued to its formation in this phase. The kyanites in the metapelitic rocks have consisted with advancing reactions from muscovite, biotite and sometimes staurolite (Figures 18-c and d). Some kyanite porphyroblasts have been transformed into fibrous sillimanites from their crystal edges. This indicates the progressive metamorphism at environment (increasing temperature). The kyanite and sillimanite coexist in some metapelitic rocks, such as sillimanite-kyanite-mica schists.

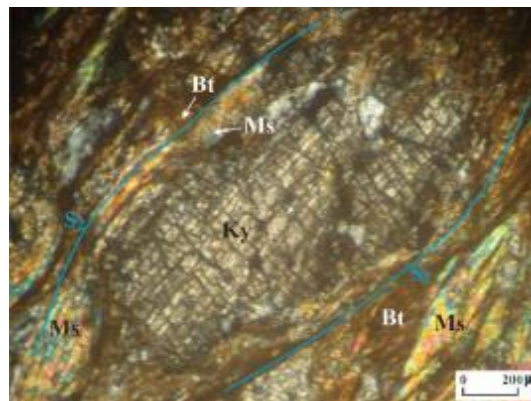


Figure 19. Pre-tectonic kyanite (Ky) porphyroblasts surrounded by  $S_2$  foliation which consists of muscovite (Ms) and biotite (Bt) in sillimanite-kyanite-mica schist

Some kyanites observed in sillimanite-kyanite-mica schists have been partially or completely transformed into muscovite from their crystal edges and their cleavages (Figures 20-c and d). These muscovites are cut to  $S_2$  foliation in metapelitic rocks (Figure 20-d).

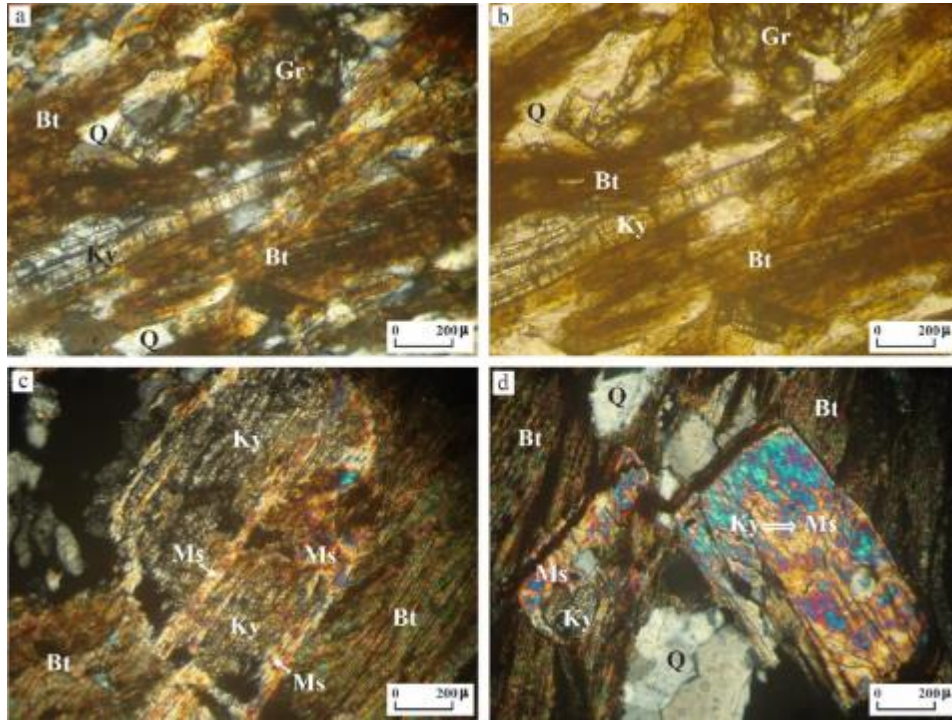


Figure 20. a and b) Long prismatic kyanite (Ky) porphyroblast as observed parallel to  $S_2$  foliation in garnet-kyanite-sillimanite-biotite schist, c) Kyanite porphyroblast, which was transformed into muscovite (Ms) from its crystal edges and its cleavages in sillimanite-kyanite-mica schist, d) Kyanite porphyroblasts, which were transformed into muscovites in sillimanite-kyanite-mica schist. Bt: Biotite, Gr: Garnet, Q: Quartz. a, c and d) // Nicol, b) / Nicol

**Sillimanite** shows fibrous shape and flat extinction (Figure 21). The sillimanite crystals in the metapelitic rocks consisted of mica, kyanite and possibly staurolite with advancing reactions. The fibrous sillimanite crystals are parallel to  $S_2$  foliation which consist of muscovites and brown colored biotites in these rocks (Figure 21). The sillimanites is observed together with orthoclases in metapelitic schists.

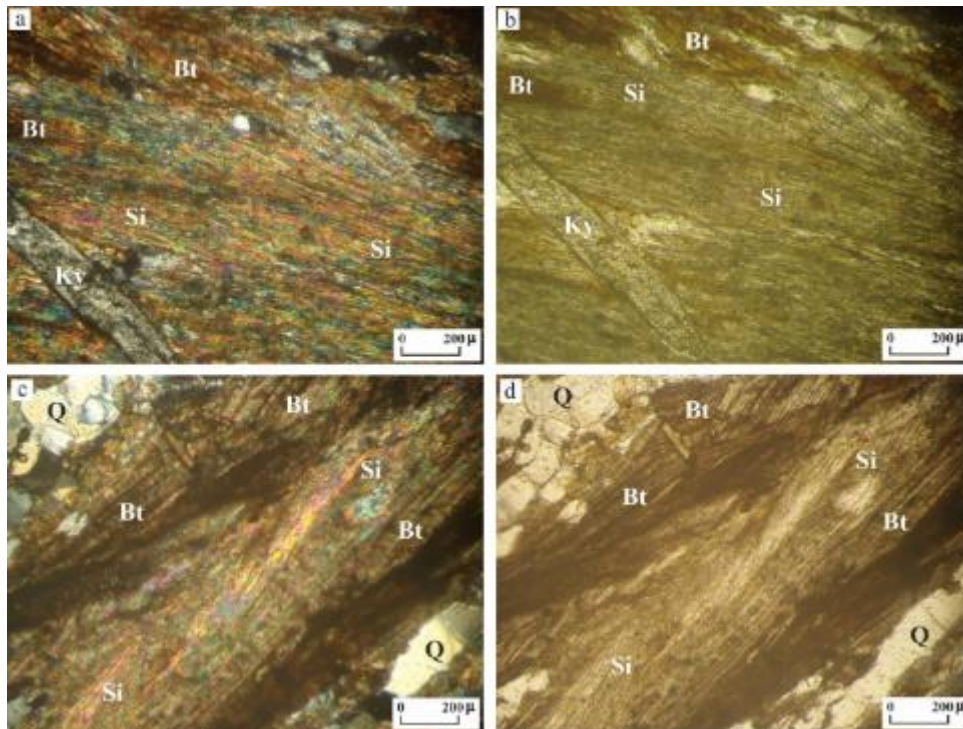


Figure 21. a and b) Fibrous sillimanite (Si) crystals, which consist of biotite (Bt), in garnet-kyanite-sillimanite-biotite schist, c and d) Sillimanite, biotite and quartz (Q) crystals in sillimanite-kyanite-mica schist. Ky: Kyanite. a and c) // Nicol, b and d) / Nicol

The minerals and their percentage values determined in the metapelitic schists belonging to Sugözü complex are given in Table 2.



Table 2. The Components, percentage values and rock names of seven samples belonging to mica schists and biotite schists observed in Sugözü complex

The Name of Mineral	The Name of Rock						
	Garnet-mica schist	Garnet-feldspar-mica schist	Staurolite-garnet-mica schist	Kyanite-garnet-mica schist	Sillimanite-kyanite-mica schist	Garnet-staurolite-biotite schist	Garnet-kyanite-sillimanite-biotite schist
Quartz	22	16	12	17	20	26	17
Muscovite	28	13	13	11	10	-	-
Biotite	14	31	27	30	30	40	35
Garnet	15	10	12	14	3	7	7
Kyanite	-	2	2	10	17	-	10
Staurolite	-	3	10	-	2	15	3
Sillimanite	-	3	6	4	7	-	15
Plagioclase	2	9	2	2	3	3	2
Orthoclase	-	6	4	4	3	-	3
Epidote	1	-	1	2	-	-	1
Zoisite/Clinzoisite	-	2	1	-	-	2	-
Chlorite	15	3	9	3	2	3	5
Graphite	1	-	-	1	-	-	-
Tourmaline	-	1	1	-	1	1	1
Rutile	-	1	-	1	-	1	-
Apatite	1	-	-	-	1	1	-
Sphene	1	1	-	1	1	1	1
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Sugözü complex (middle nappe) tectonically covers the Mahmutlar group (lower nappe) at southwest of the study area (Figure 2). In this region, the blocks of Cambrian aged cherty dolomites belonging to the Mahmutlar group are abundant observed in the Sugözü complex, especially in places near the Sugözü complex - Mahmutlar group border. Sugözü complex must have taken these blocks into itself during the thrust. In the study area, the metamorphism at the greenschist facies, which developed in the last phase and affected the whole of the Alanya Unit (Özgül, 1984; Kansun et al., 2018), erased the contacts of the nappe. On the other hand, there is a significant difference between the Sugözü complex and the Mahmutlar group in terms of the metamorphism conditions. While the Sugözü complex had the metamorphism characteristics at high temperature reaching the upper amphibolite facies conditions, the Mahmutlar group below this complex underwent the metamorphism at lower temperatures and lower pressures (Kansun et al., 2017; Kansun et al., 2018). All these features indicate that there is no stratigraphic relationship between the Sugözü complex and the Mahmutlar group, and that the Sugözü complex covers tectonically the Mahmutlar group.

Sugözü complex is tectonically overlain by Yumrudağ group (upper nappe) at large section of the study area (Figure 2). As at the transition of Sugözü complex - Mahmutlar group, the schistosity planes, which are one another compatible, are observed in metapelitic rocks at the transition of Sugözü complex - Yumrudağ group. On the other hand, some features observed both at the transitions of lower nappe - middle nappe and at the transitions middle nappe - upper nappe point out that these contacts are the tectonic contacts. These features are densely folded - overturned folds in the metapelitic rocks, the reduction of grain sizes in metapelitic rocks, the reduction of thickness of schistosity planes in metapelitic rocks, formation of cataclastic rocks, such as mylonite and mylonite schist, the widely chlorite formation as a result of retrograde reactions in metabasic and metapelitic rocks. The one another concordant schistosity observed along the contacts of both Sugözü complex - Mahmutlar group and Sugözü complex - Yumrudağ group came up as a result of a retrograde metamorphism simultaneously or subsequently with the nappe emplacements.

Since the Sugözü complex is limited to the tectonic contact from the top and the bottom, the stratigraphic thickness of Sugözü complex is variable. It shows a thickness of 750 m in the vicinity of Akine Neighborhood and Kadılar Neighborhood (Figure 2), where the thickest outcrops occur.

Dim formation belonging to Mahmutlar group (lower nappe) and Ağzıkara formation belonging to Yumrudağ group (upper nappe) show great similarities in the study area. The both formations are composed of micaschists containing quartzite, cherty dolomite, crystallized limestone interlevés and greenschist bands-lenses. The metamorphism characteristics of both formations showing Lower-Middle Cambrian age are similar. Likewise, both in the Mahmutlar group (Kansun, 2000) and in the Yumrudağ group, the Upper Permian aged lithologies, which are composed of metapelitic-metasepic-metacarbonate rocks as the fine level at the bottom and thick metacarbonates including greenschist interlevels at the top, are unconformably observed above the Upper-Middle Cambrian aged lithologies. These Upper Permian lithologies are observed as Degirmendere formation belonging to Yumrudağ group in the study area and as Sindebeleni formation belonging to Mahmutlar group in Alanya region (Kansun, 2000) outside of the study area. These similarities observed both as the lithological and as metamorphism conditions at the both lower nappe and upper nappe in Alanya Unit show that they were in the same stratigraphic level before the nappe emplacement and that the similar levels covered each other along the tectonic lines as a result of the nappe emplacement with the ruptures at the stratigraphic sequence in Alanya unit. Initially, the metapelitic and metabasic rocks belonging to Sugözü complex, which form the middle nappe within Alanya Unit, underwent the metamorphism at higher temperatures and higher pressures than the metapelitic and metapsammitic rocks, which form the lower and upper nappes (Kansun, 2000; Kansun et al., 2017; Kansun et al., 2018). The fact that this initial metamorphism



observed in Sugözü complex in the study area occurs in the Upper amphibolite facies (Kansun et al., 2017; Kansun et al., 2018) indicates that the Sugözü complex as primitive was formed in deeper parts of the crust compared to the lower and upper nappe lithologies. The initial metamorphisms in lower and upper nappe came true at the maximum greenschist facies conditions (Kansun et al., 2017; Kansun et al., 2018). Therefore, all these features indicate that Sugözü complex are located at the bottom of Mahmutlar group and Yumruadağ group before the nappe emplacement and that the nappe emplacement in the Alanya Unit is formed as a result of the ruptures at the stratigraphic sequence. Eventually, the lithologies within the Alanya Unit covered each other along the tectonic lines. As a result, at the primitive position before the nappe emplacements in the Alanya Unit, the sedimentation age of the Sugözü complex, which took place under of the Lower-Middle Cambrian aged lithologies, should be Precambrian.

Çetinkaplan (2018), in his study around Anamur, described the metaclastics, which underwent at high temperature and were cut by basic and acidic metamagmatics, as Sariağaç unite at the base of Alanya Unit. This unit corresponds to the middle nappe lithologies within the Alanya Unit. Çetinkaplan (2018) sayed that the age of the acidic metamagmatics, which cut the metaclastics in this unit, was  $550.2 \pm 8.2$  Ma and that the primitive age of Sariağaç unit might be Precambrian.

Since Sugözü complex is an allochthonous mass in the study area, the settlement age of the complex is important for illuminating the geology of the study area.

The Cambrian and Upper Permian aged metacarbonate and quartzite blocks belonging to Alanya Unit are observed in the Sugözü complex in the study area. These blocks must have settled in the Sugözü complex during the nappe emplacements in the Alanya unit and the settlement of the complex. Jurassic aged lithologies were not observed both in the study area and in Alanya Unit shown at Alanya region (Kansun, 2000).

The Sugözü complex shows great similarities with the Upper Cretaceous aged “Chaotic series”, which was defined between Demirtaş-Gazipaşa (Erbay, 1998) and around Payallar (Öztürk et al., 1995). In particular, Erbay (1998) states that the unit containing widely serpentinite has the melange character.

Upper Senonian-Lower Tertiary (?) aged the mixed with ophiolite consisting of serpentinite, basic metavolcanite, glaucophane schist and metaclastic rocks is observed along the lower contact of Alanya Unit between the border of Alanya and Antalya Units at Gündoğmuş region (Antalya) (Şengül et al., 1978; Özgül, 1984). Özgül (1984) sayed that the oceanic crust developed before the Senonian in the region and that the part belonging to this crust covered Antalya Unit together with Alanya Unit as the dagger of complex with ophiolite, which show high pressure metamorphism, as a result of the closing, that started in the Senonian. This researcher stated that this thrust occurred during the end of Senonian - Pre-Lutetian. The fact that Alanya Unit covered Antalya Unit also caused the nappe emplacements within the Alanya Unit (Kansun et al., 2017).

Sugözü complex contains widely metabasite interlevels together with metapelitic-metasemipelitic-metapsammitic rocks in the study area. Also, Sugözü complex contains serpentinites between Demirtaş-Gazipaşa (Erbay, 1998). Therefore, Sugözü complex show the ophiolitic character.

The fact that the metamorphism developed at the Upper Paleocene-Lower Eocene aged greenschist facies, which affected the whole Alanya Unit and developed at the last metamorphism phase (Kansun, 2000), obliterated nappe contacts shows that the age of the greenschist metamorphism is synchronous or younger with the nappe emplacements in Alanya Unit.

According to the above informations, the settlement age of the Sugözü complex (middle nappe) should be Upper Cretaceous-Paleocene (?).

### **3.1.2.1. Akine Metabasite Member**

It consists of amphibolite, amphibole schist, greenschist, metagabbro and metadiabase. It is generally observed at dimensions, which can not is mapped, as thin levels in metapelitic and metapsammitic rocks belonging to Sugözü complex. In contrast, some metabasites observed as relatively thick levels have been shown on the geological map. The metagabros observed in Sugözü complex belonging to Alanya Unit in the east of the Alanya were called as “Yalçı metagabbro” by (Kansun, 2000). This researcher identified the other metabasites (eclogite, glaucophanite, amphibolite and greenschist) in Sugözü complex as interlevels in garnet-mica schists, and he showed them at the geological map because the metabasites had small dimensions. These metabasites are widely and typically observed especially at Akine Neighborhood vicinity at the north of the study area (Figures 2 and 11). Therefore, these metabasites were named as Akine metabasite member. Also, the metabasites are widely shown between the Evciler and Narince Neighborhoods at the southeast of the study area (Figure 2).

The Akine metabasite member consists of amphibolite, amphibol schist and greenschist as bands and lenses and metagabbro and metadiabase as dykes and interlevels within metapelitic rocks belonging to Sugözü complex (Figures 3 and 11). All these metabasic rocks show green, blackish green and grayish green colors and very hard structure (Figure 22). These metabasites, which sometimes have a blocky appearance, show generally massive and sometimes weak foliation structures. In particular, the lengths of bands and lenses of amphibolites with dykes and interlevels of metagabbros and metadiabases are in the range of 5-80 m. The widths of them are in the range of 2-50 m. Some of them are smaller in sizes.

Amphibolites, amphibole schists and greenschists are seen as compatible interlevels with the foliation of mica schists and biotite schists belonging to the Sugözü complex. Metagabros and metadiabases are sometimes compatible with the foliations of schists, and cut sometimes the these foliations (Figure 22-c). Especially, brown garnet crystals are quite prominent in garnet-amphibolites (Figure 22-d). In addition, large hornblende porphyroblasts are observed in some metabasic rocks.

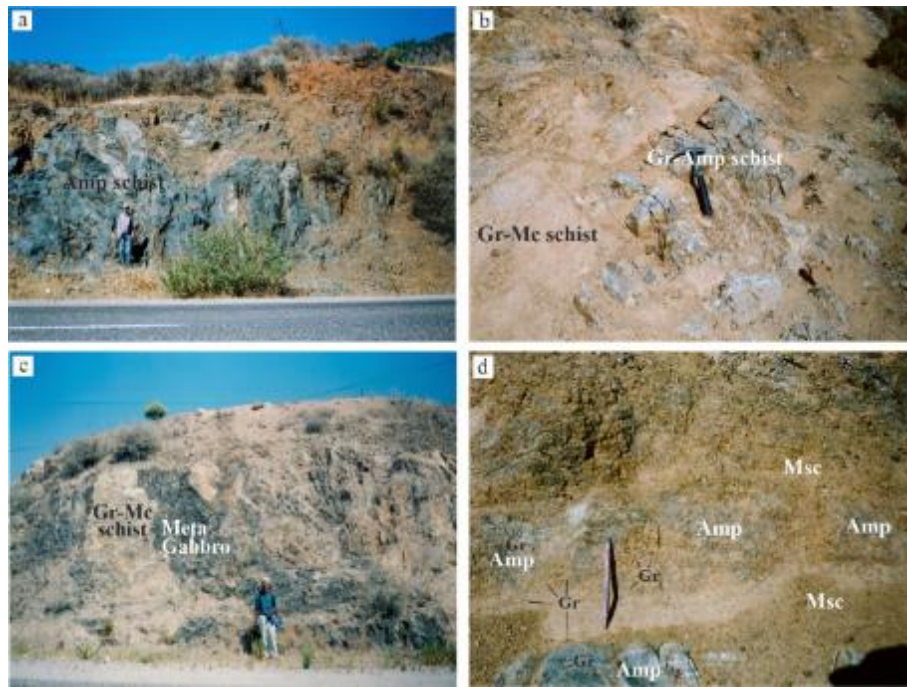


Figure 22. a) The view of the amphibole schists belonging to Akine metabasite member at the northeast of Kadilar Neighborhood, b) The garnet-amphibole schists, which are observed as interlevels in garnet-mica schists at the north of Narince Neighborhood, c) The metagabbro dykes (dark areas) observed in garnet-mica schists, d) Brown colored garnet porphyroblasts (Gr) in garnet-mica schists (Msc) and in garnet-amphibole schists (Amp) interlevels observed in within these mica schists at north of Narince Neighborhood

The **amphibolites** and **amphibole schists** in the Sugözü complex contain hornblende (tschermacite, ferro-tchermacite, magnesio-hornblende and edenite) + garnet + plagioclase (albite-oligoclase-andesine) ± relic clinopyroxene (augite-pigeonite) + chlorite (ripidolite, clinochlore) ± orthoclase ± epidote ± zoisite / clinozoisite ± biotite (green, brown) ± actinolite ± muscovite ± quartz ± calcite ± sphene ± apatite ± rutile. These metabasic rocks show porphyroblastic and nematoblastic textures.

**Amphiboles** are commonly composed of tchermacite, ferro-tchermacite, magnesio-hornblende, sometimes edenite and a small amount of actinolite (Figure 23).

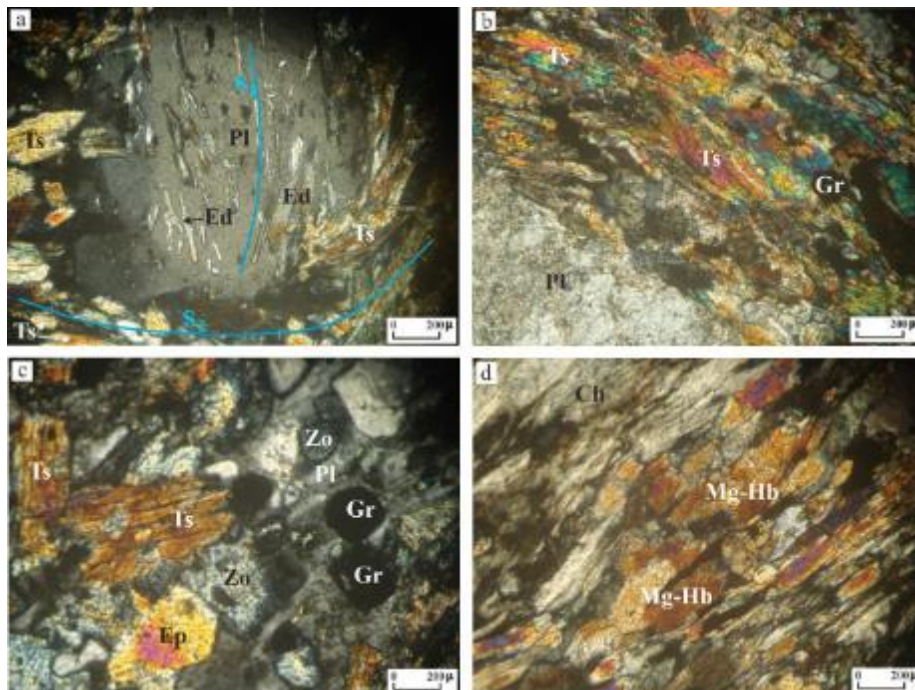


Figure 23. a) The plagioclase (Pl) porphyroblast, edenite (Ed) and tschermacite (Ts) in amphibole schist belonging to Akine metabasite member, b) The tschermacite, garnet (Gr), and plagioclase porphyroblast which turned into sericite in garnet-amphibole schist, c) The tschermacite, garnet, plagioclase, epidote (Ep) and zoisite (Zo) in garnet-amphibolite, d) The magnesio-hornblende (Mg-Hb) and chlorite (Ch) in amphibole schist. // Nicol



**Edenites** show prismatic shape, green-dark green colors and oblique extinction between 20° - 24°. The plagioclase porphyroblasts contain edenite inclusions, which elongate in a direction and form S<sub>1</sub> foliation, in some amphibole schist samples (Figure 23-a). These inclusions are incompatible with S<sub>2</sub> foliation which consist of tschermacites surrounding the plagioclase porphyroblast. Other amphiboles observed commonly in amphibolite and amphibole schists are **tschermacite** and **ferro-tschermacite** (Figures 23-a, b and c). They show generally long prismatic shapes. The tschermacites show brownish green color, and the ferro-tschermacites show green-dark green colors. The tschermacites showing oblique extinction between 15° - 22° are sometimes observed as porphyroblasts in metabasites. The garnet, epidote, quartz, plagioclase, zoisite and relic clinopyroxen inclusions are observed in these porphyroblasts. The tschermacites are seen as long prismatic crystals, which are parallel to S<sub>2</sub> foliation, especially in amphibole schists (Figure 23-b). The tschermacites have been transformed into chlorite and actinolite from the crystal edges with the retrograde reactions.

The **magnesio-hornblendes** show prismatic shape, oblique extinction between 16° - 22° and distinctly green color. These are particularly observed in amphibole schists that are relatively rich in chlorite (Figure 23-d). Magnesio-hornblendes are seen as prismatic crystals elongated in one direction in amphibole schists, and they form together with tchermacites form the S<sub>2</sub> foliation of the rock (Figure 23-d). Magnesio-hornblendes probably have consisted of garnets.

The magnesio-hornblende (green colored) and the tschermacite (brownish green colored) minerals, which form S<sub>2</sub> foliation of the amphibole schists, indicate the regular increase in temperature developing at the amphibolite facies in the environment. The fibrous **actinolites** observed in very small amounts in the metabasites have consisted of garnet and tschermacite with the retrograde reactions.

**Garnets** are generally observed as sub-idioblastic and hexagonal-octagonal porphyroblasts (Figures 23-c and 24-a). They are sometimes seen as smaller idiomorphic crystals in plagioclase porphyroblasts (Figure 24-b). Garnets are characterized by their colorless-pale yellow colors and their isotropic features in the metabasites. Garnet porphyroblasts containing quartz, tschermacite and actinolite inclusions are surrounded by S<sub>2</sub> foliation which consist of tschermacites. In addition, the garnets, which are observed as parallel to S<sub>2</sub> foliation which consist of chermacites and form budinaj structure, are seen. Therefore, these garnet porphyroblasts are before the formation of tchermacites, and these garnets are pre-tectonic according to the F<sub>2</sub> deformation phase.

Some garnet porphyroblasts, which are idiomorphic – sub-idiomorphic, have cut tschermacites, ferro-tschermacites and magnesio-hornblendes, which form S<sub>2</sub> foliation. This shows that the formation of the garnets continues after tschermacite and magnesio-hornblendes and that the garnets are post-tectonic according to the F<sub>2</sub> deformation phase. These garnets, which are the product of the first phase metamorphism and develop at high pressures (Kansun et al., 2018), have been transformed into sometimes ferro-tschermacite from the crystal edges due to possibly the decrease in pressure. Garnets have partly or completely transformed into chlorite, epidote and actinolite in amphibolite and amphibole schists. This indicates the retrograde metamorphism, which occur at low temperature, at environment. In the garnets observed in garnet-amphibolites, Ca (grossular) content decreases from the center to the edge, and Mg (prop) and Fe (almandine) contents increases from the center to the edge (Kansun et al., 2018). This indicates the decreasing pressure in the environment.

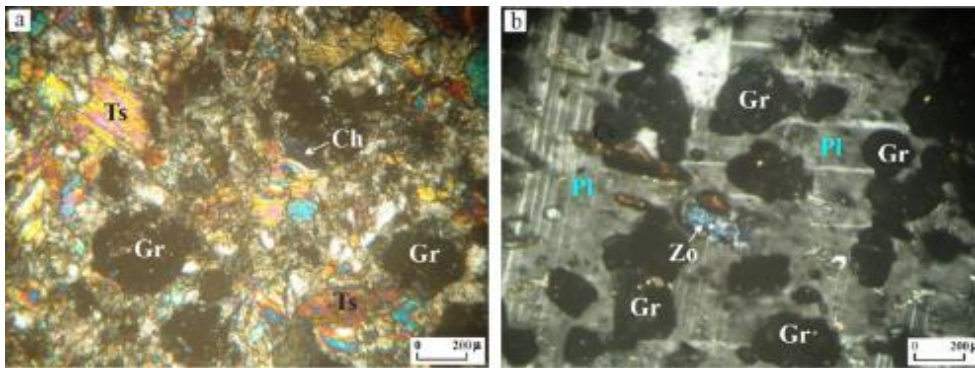


Figure 24. a) The garnet-amphibolite belonging to Sugözü complex, Ts: Tschermacite, Gr: Garnet, b) Garnet and zoisite (Zo) observed in plagioclase (Pl) porphyroblast in garnet-amphibolite. // Nicol

**Feldspars** are observed as plagioclase and orthoclase in amphibolite and amphibole schists (Figures 23-a, b, c and 24-d). **Plagioclases**, which are generally seen as porphyroblasts, are sub-idioblastic-prismatic, and the twinning is prominent some of them (Figures 23-c and 24-d). The hornblende (mostly edenite), garnet, clinopyroxen (relic), epidote, quartz and tourmaline inclusions are observed in plagioclase porphyroblasts (Figures 23-a and 24-d). The edenite inclusions, which elongate in a direction and show sometimes folded structure, in these plagioclase porphyroblasts surrounded by the S<sub>2</sub> foliation plane, which formed by tschermacites, form the S<sub>1</sub> foliation plane of the rock (Figure 23-a). Therefore, these plagioclases showing helicitic texture have crystallized as post-tectonic according to F<sub>1</sub> deformation phase and as pre-tectonic according to F<sub>2</sub> deformation phase. According to extinction angle determinations, the plagioclases in amphibolites and amphibole schists are albite (Ab<sub>92</sub>An<sub>08</sub>), oligoclase (Ab<sub>75</sub>An<sub>25</sub>, Ab<sub>76</sub>An<sub>24</sub>) and andezin (Ab<sub>62</sub>An<sub>38</sub>, Ab<sub>64</sub>An<sub>36</sub>). Plagioclase porphyroblasts observed in amphibol schists show the increase at anorthite content from the center to the edge (Kansun et al., 2018). This indicates an increasing temperature in the environment. **Orthoclases** are generally xenomorphic crystals and show abundant inclusions. The orthoclases and plagioclases were sometimes transformed into sericite with retrograde metamorphism (Figure 23-b).

**Metagabbros** and **metadiabases** belonging to Sugözü complex show blastoporphitic and blastoophytic textures in micro samples. The schistosity structure, which is formed as a result that hornblendes elongate in one direction is seen in particularly some

metagabbros. Mineral paragenesis in **metagabbros** are *hornblende (tschermacite, ferro-tschermacite) + plagioclase (albite-oligoclase-andesine) + relic clinopyroxene (augite) ± garnet + quartz + chlorite (pennin-clinoclare) ± actinolite ± zoisite/clinozoisite ± epidote ± sphene ± apatite*. *Hornblende (tschermacite, ferro-tschermacite) + plagioclase (albite-oligoclase) + chlorite (ripidolite) + quartz + relic clinopyroxene (augite) ± epidote ± zoisite / clinozoisite ± calcite ± sphene ± apatite* are observed in **metadiabases**.

**Amphibole**; The amphibole crystals in metagabbros and metadiabases are tschermacite, ferro-tschermacite and actinolite. **Tschermacite** and **ferro-tschermacite** porphyroblasts are observed in the fine-grained phase composed of relic augites in particularly metagabbros (Figure 25-a). These tschermacites were formed by progressive reactions from augites. The augite relics are sometimes observed in these tschermacite and ferro-tschermacite porphyroblasts (Figures 25-a and b). The ferro-tschermacites which transformed from garnet are seen at the edge zones of some garnet porphyroblasts in metagabbros. This show that garnets turn to ferro-tschermacites depending on the increased temperature in the environment. The tschermacites and ferro-tschermacites have caused the schistosity at these rocks by extending in a direction in some metagabbros and metadiabases. The fibrous **actinolites** have formed with retrograde reactions from garnets in particularly metagabbros. In addition, some tschermacites have turned to chlorite with retrograde metamorphism from their crystal edges in metadiabases (Figure 25-f).

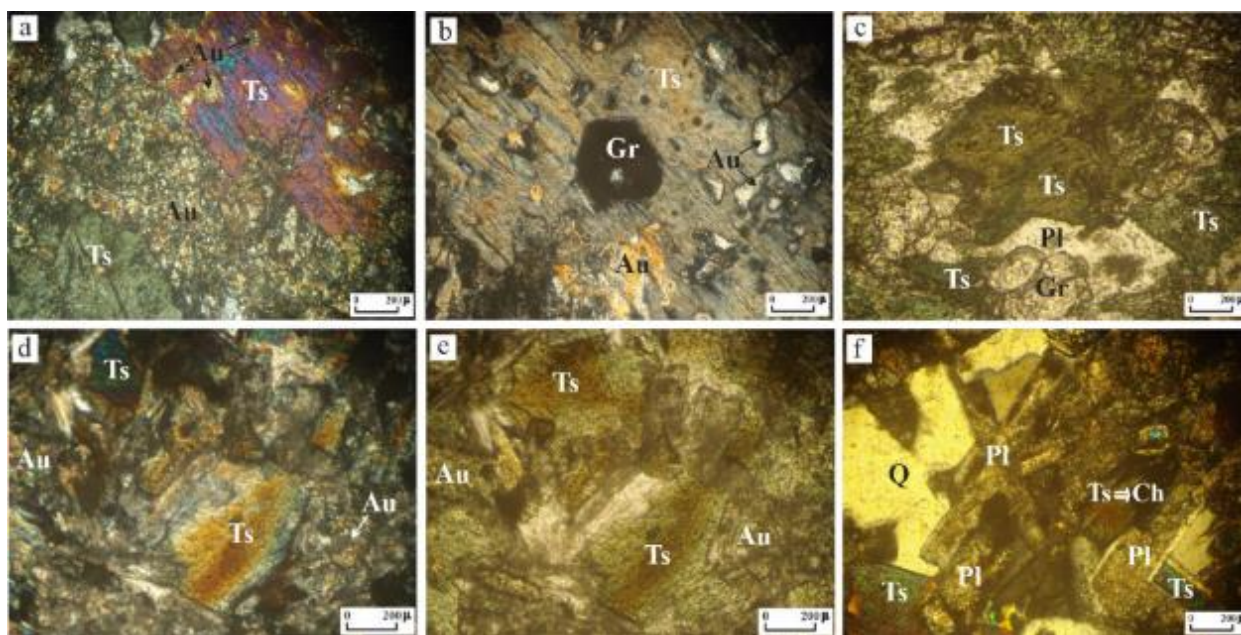


Figure 25. a) The tschermacite (Ts) porphyroblasts in the fine-grained phase consisting of augite (Au) in metagabbro belonging to the Akine metabasite member, b) Relic augites observed in chermacite porphyroblast in metagabbro, Gr: Garnet, c) Greenish brown tschermacite, garnet and plagioclase (Pl) in metagabbro, d and e) Greenish brown tschermacite and augite in metadiabases, f) Plagioclase lathas which turned to sericite, tschermacite, quartz (Q), and tschermacite which turned to chlorite from their edges (Ts ⇒ Ch) in metadiabase. a, b, d and f) // Nicol, c and e) / Nicol

**Plagioclases** are observed as big crystals together with garnets and tschermacites in the fine-grained phase composed of relic augites in particularly metagabbros (Figure 26-a). These plagioclase porphyroblasts contain generally abundant inclusions. The inclusions consist of mostly augite relics (Figure 26-a). Plagioclases are generally observed as porphyroblasts in metagabbros. Plagioclases observed in metadiabases are in the shape of long prismatic lathas (Figures 25-f and 26-b). Plagioclases are in albite (Ab<sub>93</sub>An<sub>07</sub>), oligoclase (Ab<sub>74</sub>An<sub>26</sub>) and andesine (Ab<sub>63</sub>An<sub>37</sub>) compositions in metagabbro and metadiabases. It is seen sericite formations as a result of retrograde reactions in these plagioclases (Figures 25-f and 26-b).

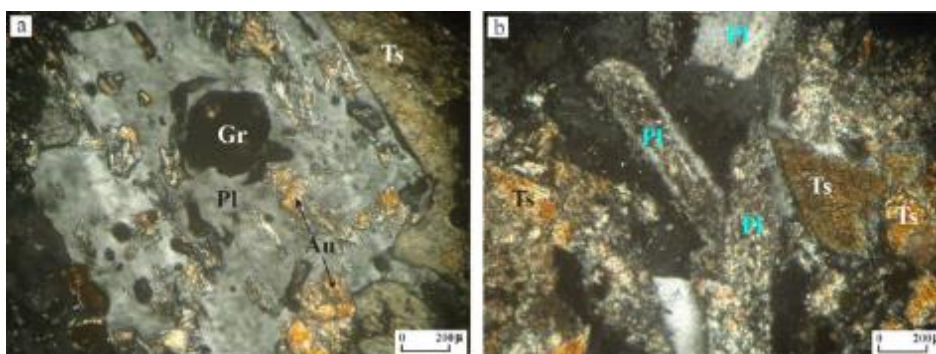


Figure 26. a) In metagabbro, garnet (Gr) in plagioclase (Pl) porphyroblast, and relic augites (Au). Ts: Tschermacite, b) In metadiabase, plagioclase (Pl) lathas which turned to sericite, and tschermacites. // Nicol



**Garnets** are observed as sometimes porphyroblasts and as sometimes crystals at smaller sizes in porphyroblasts of plagioclase and tschermacite in metagabbros (Figures 25-b and c, 26-a). The garnets observed in the metagabbros were formed by progressive reactions from the augites (Figure 27). These garnets have transformed into ferro-tschermacites from their crystal edges depending on decreasing pressure and increased temperature in the environment (Figure 27). In addition, some garnets have transformed into the epidote.

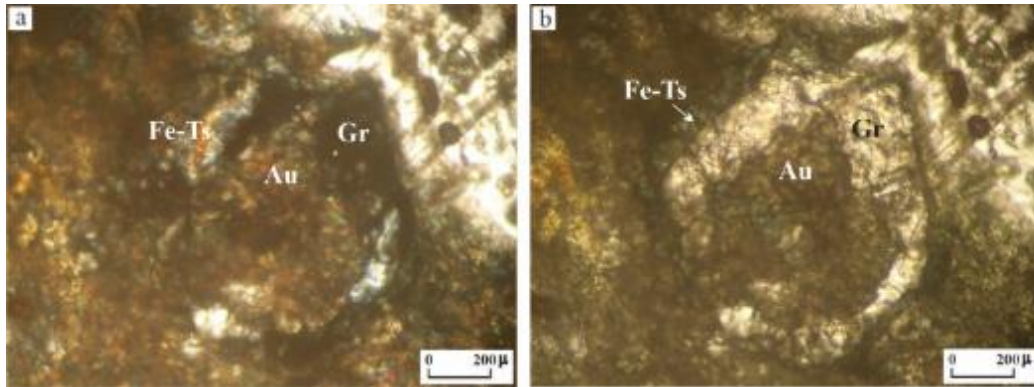


Figure 27. The Augite (Au)  $\Rightarrow$  Garnet (Gr)  $\Rightarrow$  Ferro-tschermacite (Fe-Ts) reaction in metagabbro. a) // Nicol, b) / Nicol

**Relic Clinopyroxene (Augite)** is seen up to 25% in especially metagabbro. The augites observed as relics of magmatic rocks before the metamorphism are generally found as the fine-grained phase in metagabbros (Figure 25-a). These augites, which protect from metamorphism and alteration, show a prismatic shape, cleavage which are perpendicular to each other, very pale green color, and oblique extinction between approximately 40°-45° (Figure 28). The majority of these relic augites have transformed into tschermacite, ferro-tschermacite, garnet and chlorite with advancing reactions in metagabbros and metadiabases (Figure 27).

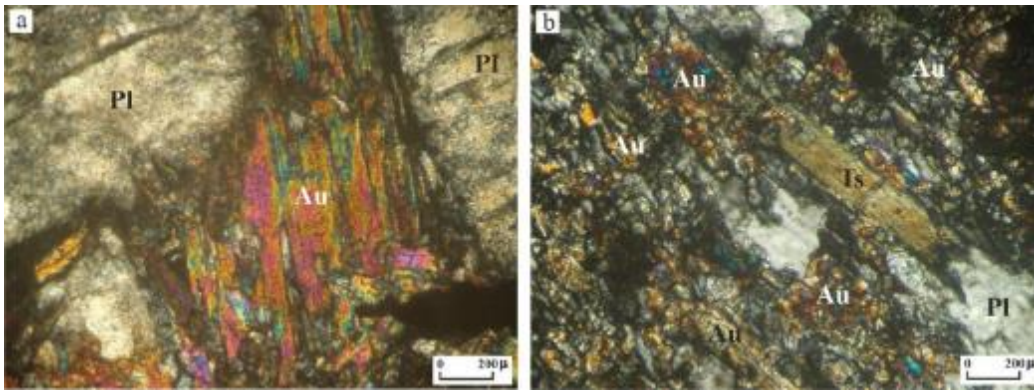


Figure 28. a) In metagabbro belonging to Akine metabasite member, augite (Au) relic, and plagioclases (Pl) that turn into sericite, b) Metagabbro showing schistosity with the effect of metamorphism. Ts: Tschermacite. // Nicol

The **greenschists** observed in the Akine metabasite member are consist of “zoisite - tremolite schist”, “chlorite - tremolite schist” and “garnet - chlorite - tremolite schist” (Figure 29). The metabasic rocks show granonematoblastic, nematoblastic and porphyroblastic textures. The mineralogical composition in the greenschists is tremolite + actinolite + chlorite (ripidolite-pinochlorite) + plagioclase (albite)  $\pm$  garnet + zoisite / clinozoisite + epidote  $\pm$  quartz  $\pm$  microcline  $\pm$  biotite (green)  $\pm$  clinopyroxene (augite) (relic)  $\pm$  calcite + sphene  $\pm$  apatite.

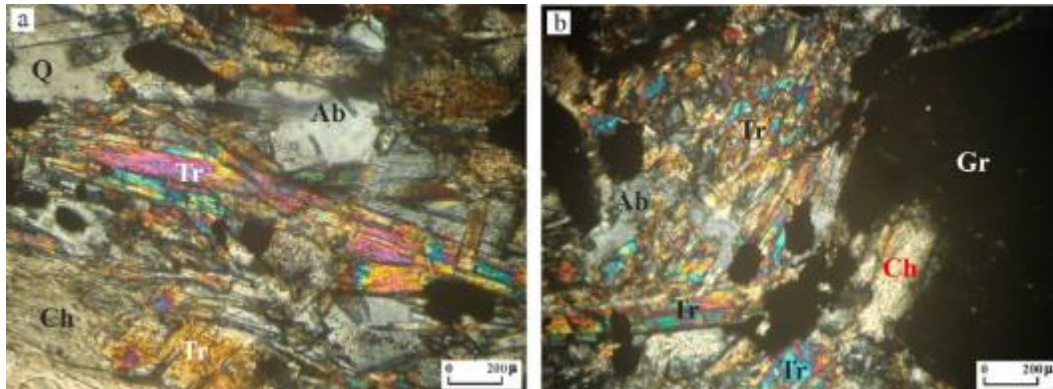


Figure 29. a) Tremolite (Tr), chlorite (Ch) and albite (Ab) in garnet-chlorite-tremolite schist belonging to Akine metabasite member, b) Garnet (Gr) porphyroblast, tremolite, albite and chlorite garnet in garnet-chlorite-tremolite schist. // Nicol



**Tremolites** and **actinolites** show fibrous and prismatic shapes in greenschists (Figure 29). Actinolites are green colored, while tremolites are colorless or very pale green colored. Particularly, tremolites observed in garnet-chlorite-tremolite schists have formed with prograde reactions from augites. **Chlorites** are in Mg-Fe chlorite (ripidolite-picnochlorite) composition (Figure 29-a), and they forms the major component of chlorite schists. **Garnets** are seen as porphyroblast in especially garnet-chlorite-tremolite schists (Figure 29-b). In the garnet porphyroblasts of garnet-chlorite-tremolite schists, Ca (grossular) content decreases from the center towards the edge, whereas Mg (prop) and Fe (almandine) contents increase from the center towards the edge (Kansun et al., 2018). Therefore, there is a decreasing pressure in the environment. These garnet porphyroblasts have transformed into chlorite with retrograde metamorphism from their edges. **Feldspars** are observed as plagioclase and microcline in greenschists. Plagioclases are mostly seen as porphyroblasts, and they contain abundant inclusion. Plagioclases are in albite (Ab<sub>92</sub>An<sub>08</sub>, Ab<sub>94</sub>An<sub>06</sub>) composition in greenschists.

The minerals and percentage values determined in amphibol schist, amphibolite, metagabbro, metadiabase and greenschist belonging to Akine metabasite member are shown in Table 3.

Table 3. The components, percentage values and rock names of ten samples belonging to amphibol schist, amphibolite, metagabbro, metadiabase and greenschist observed in Akine metabasite member

The Name of Mineral	The Name of Rock									
	Amphibole schist	Garnet-amphibolite	Garnet-amphibolite	Meta gabbro	Meta gabbro	Meta gabbro	Meta diabase	Zoisite-tremolite schist	Chlorite-tremolite schist	Garnet-chlorite-tremolite schist
Tschermakite and Ferrous-tschermakite	16	33	32	34	41	48	33	-	-	-
Magnesio-hornblende	20	4	5	-	-	-	-	-	-	-
Edenite	3	4	2	-	-	-	-	-	-	-
Plagioclase	13	11	17	18	17	14	25	17	16	15
Clinopyroxene (Augite) (relic)	-	-	-	21	25	19	7	1	-	3
Clinopyroxene (Augite-Pigeonite) (relic)	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Garnet	-	16	15	14	-	6	-	-	-	15
Quartz	4	4	3	3	2	3	8	-	4	3
Chlorite	27	11	9	1	4	4	15	5	27	18
Epidote	5	3	4	4	4	2	5	5	3	1
Zoisite/Clinozoisite	4	-	4	3	2	1	3	23	2	5
Actinolite	2	4	3	-	2	2	-	3	3	-
Tremolite	-	-	-	-	-	-	-	43	38	36
Biotite (brown)	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Biotite (green)	-	-	3	-	-	-	-	-	-	2
Muscovite	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Orthoclase	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Microcline	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1
Calcite	-	-	-	-	-	-	2	-	4	-
Rutile	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
Sphene	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1
Apatite	1	1	1	1	1	-	1	1	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

The metabasic rocks belonging to Akine metabasite member are mostly compatible with Precambrian aged metapelitic-metasemipelitic schists belonging to Sugözü complex in the study area. Amphibolites, amphibol schists and greenschists are observed as the interlevels which are compatible with the foliation of mica schists and biotite schists belonging to Sugözü complex. Amphibol schists and greenschists show the foliation. Whereas, metagabbros and metadiabases are sometimes compatible with the foliation of these schists and sometimes interrupt this foliation.

Çetinkaplan (2018), in his study at Anamur region, stated that Precambrian aged metaclastics (Sarıağaç unit), which corresponds to the middle nappe (Sugözü complex) of Alanya Unit, were cut by basic and acidic (550.2 ± 8.2 Ma) metamagmatites. The acidic metamagmatites have been not observed in Sugözü complex in the study area. On the other hand, metagabbros and metadiabases which are basic metamagmatites cut metapelitic and metasemipelitic rocks at some levels within Sugözü complex.

Özgül (1984) mentioned from the formation of an oceanic crust that continues its development throughout the Dogger-Lower Maestrichtian at Alanya region. Kansun (2000) specified that the metagabbros observed in Sugözü complex at Alanya region taken place in the form of blocks within the Sugözü complex with a relatively ophiolitic character and that Sugözü complex was settled the region along the Upper Cretaceous-Paleocene (?) depending on subduction events and the nappe emplacements. Thus, this researcher suggested that these metagabbros might be related to the formation of the Dogger-Lower Maestrichtian aged oceanic crust mentioned by (Özgül, 1984).

### 3.1.3. Yumruadağ Group (Upper Nappe)

The metamorphic imbricate which consisted of metapelites, metapsammities and metacarbonates observed at the upper levels of Alanya Unit was named as Yumruadağ group consisting of Upper Permian and Lower Triassic aged lithologies by Okay and Özgül (1982). Yumruadağ group is observed in areas where topography is higher than Mahmutlar group and Sugözü complex belonging to Alanya unit in the study area. Yumruadağ group was examined by dividing into two formations as Ağzıkara formation at the bottom and Değirmendere formation at the top in this study.

#### 3.1.3.1. Ağzıkara Formation

It is composed of mica schists and muscovite schists including quartzite, cherty dolomite, crystallized limestone interlevels and greenschist bands-lenses. These lithologies were named as Ağzıkara formation by Kansun (2000), referring to the vicinity of Ağzıkara Neighborhood (Alanya-Antalya), where they were typically observed. The formation is divided into three members by taking into account its lithological characteristics and its dimensions that can be mapped. These are Kesme member which consist of quartzites, Ardıçlı member which consist of cherty dolomites and Kodaman member which consist of metapelitic rocks (Figures 2 and 3).

Ağzıkara formation belonging to Yumruadağ group (upper nappe) show great similarities with the Lower-Middle Cambrian aged Dim formation belonging to Mahmutlar group (lower nappe) in the study area. The both formations consist of mica schists containing quartzite - cherty dolomite - crystallized limestone interlevels and greenschist bands-lenses. The metamorphism characteristics and ages of both formations are similar. These similarities observed at both their lithological properties and their metamorphism conditions in Ağzıkara formation belonging to upper nappe and Dim formation belonging to lower nappe indicate that they were at the same stratigraphic level before the nappe emplacements. Later, the breakings occurred the stratigraphic imbricate belonging to Alanya Unit. Thus, the similar levels in Alanya Unit covered each other along the tectonic lines as a result of the nappe emplacements.

##### 3.1.3.1.1. Kodaman Member

The member consists of feldspar-mica schist, mica schist and muscovite schists containing quartzite - cherty dolomite - crystallized limestone interlevels and greenschist bands-lenses (Figure 3). These lithologies are typically observed at Kodaman Neighborhood vicinity in the study area. Also, they are seen at Bucak Neighborhood, Kodaman Neighborhood, Güneyi Neighborhood, Gökteş Neighborhood, Kulak Neighborhood, Karalarbahşiş Neighborhood, Karaca Neighborhood, Gercebahşiş Neighborhood, Kızılkaya Hill, Sazlı Hill and Efeler Neighborhood vicinities (Figure 2).

The lithologies belonging to Kodaman member are characteristic with greenish gray, dark gray colors. The member is commonly made up of mica schists. Garnet-mica schists and feldspar-mica schists are observed as a fine level in the lower levels of the member. In addition, muscovite schists take place in the member. Micaschists are thin-medium grained and have generally thick schistosity (Figure 30-a). Large feldspar porphyroblasts are sometimes seen in feldspar-mica schists observed in the lower levels of the Kodaman member. Garnets in garnet-mica schists observed at these levels are seen as small size crystals at micro studies. The mica schists observed in places near the thrust boundary at the lower levels of the member show very often folded structures due to the thrust. The chlorites are intensely seen in these mica schists, and the mica schists show green color. The secondary quartz veins that develop parallel to foliation and reach a thickness of ~ 30 cm take place intensely in these mica schists. Also, kink-band structures, symmetrical - asymmetrical - overturned folds and z-folds developed in these mica schists due to intense deformations (Figure 30-b). Especially, the isoclinal oblique folds are quite prominent in quartz schists.

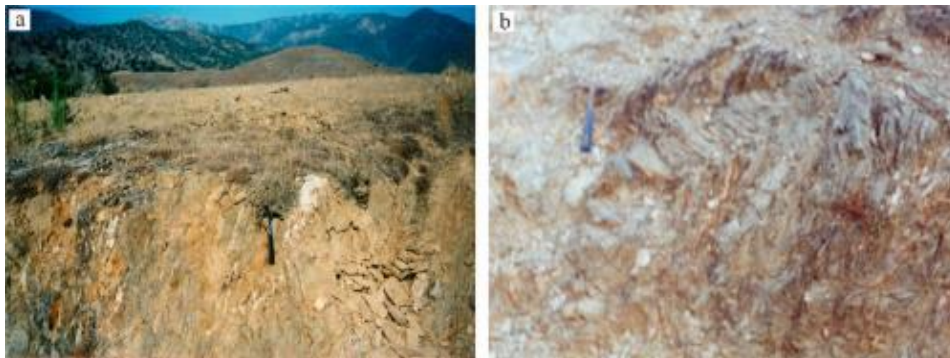


Figure 30. a) Mica schists and secondary quartz interlevels (white colored levels) belonging to Kodaman member, the west of Güneyi Neighborhood, b) Mica schists showing the frequent folded z-structure belonging to Kodaman member around Gökteş Neighborhood

The mica schists belonging to the Kodaman member are distinguished with some features of them from the mica schists belonging to Sugözü complex in macro samples. These features in mica schists belonging to the Kodaman member are that they not contain garnet porphyroblasts and amphibolite-metagabro-metadiabase bands-lenses and that contain cherty dolomite-quartzite interlevels.

The quartzites observed as interlevels in mica schists are gray-white-reddish in color, thin-bedded and sometimes in blocky appearance (Figure 31-a). These quartzites, which show an easily dispersible feature, show transition to sometimes quartz schists. The cherty dolomites observed as interlevels in mica schists are red-yellow altere colored, dark gray colored and medium-thick bedded

(Figure 31-b). These dolomites, which are quite hard structure, contain extensively chert interlevels. Milk-white quartz veins, which have 2-4 cm thickness, are observed in the dolomites. The *chalcopyrite + pyrite + bornite + malachite + azurite + hematite* paragenesis, which settle at vein-shaped in fractures and cracks, is observed in cherty dolomites at the southwest of Karalarbahşiş Neighborhood in the study area (Figures 2 and 31-c).



Figure 31. Parasitic fold in quartzite interlevels in mica schists at the east of Çiviler Neighborhood, b) Thick bedded cherty dolomite (Dol) interlevels in mica schists (Msc), the northwest of Kevinli Ubiety, c) Malachite (Ma) formations (green colored levels) observed in vein-shaped in cherty dolomites, the southwest of Karalarbahşiş Neighborhood

The crystallized limestone interlevels in the metapelitic schists are dark gray-gray colored, fine grained and thin-medium bedded. The crystallized limestones are observed as very thin levels in Kodaman member. The gray-brownish black colored chert levels, which are maximum 3 cm in thickness are seen in some crystallized limestones. These cherty crystallized limestones are coarse-grained. The graphite levels are sometimes observed in schists belonging to Kodaman member. The graphite schists show wide spread in especially the north of Bucak Neighborhood. The bands and lenses of greenschist, which are parallel to the schistosity of metapelitic rocks, take place within Kodaman member. The greenschists are yellowish green - green colored and show schistosity structure. Since the greenschists show dimensions that can not be mapped, their borders have been not shown in the geological map.

Kodaman member includes the brown alteration colored and Cambrian aged cherty dolomite blocks belonging to Mahmutlar group. These blocks must have settled within Kodaman member belonging to Ağzıkara formation at result that Yumruadağ group overlies Sugözü complex and Mahmutlar group. The mica schists belonging to Kodaman member have encircled of these dolomite blocks like the onion skin. These dolomite blocks are extensively seen in the member. Most of these blocks were not shown on the geology map because they are too small dimensions. The cherty dolomite blocks observed at the west of only Güneyi Neighborhood have been shown on the geological map (Figure 2).

Metapelitic rocks within the Kodaman member show porphyroblastic, granolepidoblastic and lepidoblastic textures. Greenschists in this member consist of chlorite-albite-actinolite schist and albite-chlorite schist. The greenschists show porphyroblastic, lepidoblastic, nematoblastic and occasionally fibroblastic textures. The mineralogical composition in **metapelitic rocks** consist of *muscovite + biotite (brown, green) + quartz ± chlorite (ripidolite) ± plagioclase (albite-oligoclase) ± garnet ± microcline ± graphite ± epidote ± calcite ± apatite ± sphen ± tourmaline (green)*. The **greenschists** include *chlorite (ripidolite-picnochlorite) ± actinolite + plagioclase (albite) + epidote + zoisite / clinozoisite ± calcite ± tremolite ± quartz ± muscovite ± clinopyroxene (relict) + sphene ± tourmaline ± apatite* mineral paragenesis.

**Micas** consist of muscovite and biotite in metapelitic schists (Figure 32). Biotites are mostly brown and sometimes green colored. The brown colored biotites observed in mica schists, which are present at regions near the thrust boundary, have almost completely transformed into chlorite (ripidolite) depending on retrograde metamorphism. The muscovites forms the major component of muscovite schist. Sometimes two different recrystallization planes are observed in mica schists and muscovite schists, like in the metapelitic rocks of Mahmutlar group and Sugözü complex. These are S<sub>1</sub> foliation planes, which formed with first phase deformations, and S<sub>2</sub> foliation planes, which formed with progressive deformations. S<sub>1</sub> foliation planes have been acquired kink-band structures as a result of deformations, and later, mucovite + biotite recrystallizations, which were formed S<sub>2</sub> foliation planes, have developed.

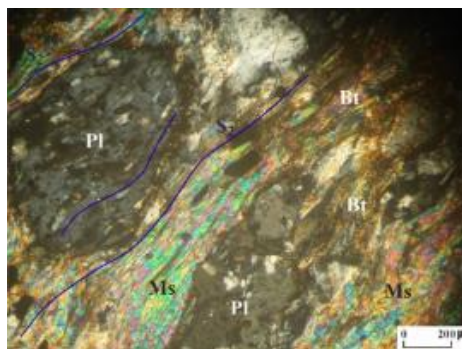


Figure 32. Muscovite (Ms), biotite (Bt), helicitic textured plagioclase (Pl) porphyroblast in feldspar-mica schist belonging to Kodaman member, // Nicol



**Feldspars** consist of plagioclase and microcline. **Plagioclases** are mostly inclusions and are observed as porphyroblasts in metapelitic schists and greenschists (Figure 32). The quartz, muscovite, graphite, epidote, zoisite / clinozoisite, sphene and opaque mineral form the inclusions. Some plagioclase porphyroblasts have surrounded by S<sub>2</sub> foliation planes, which consist of biotite and muscovite, in metapelitic schists. Therefore, the plagioclase porphyroblasts are pre-tectonic according to F<sub>2</sub> deformation phase. The inclusions, which have folded S-structure, within these plagioclase porphyroblasts show helicitic texture (Figure 32). Therefore, plagioclase porphyroblasts are therewithal post-tectonic according to F<sub>2</sub> deformation phase. Plagioclases in metapelitic schists are albite (Ab<sub>95</sub>An<sub>05</sub>) and oligoclase (Ab<sub>69</sub>An<sub>31</sub>). Plagioclases in greenschists are in albite (Ab<sub>93</sub>An<sub>07</sub>, Ab<sub>97</sub>An<sub>03</sub>) composition.

**Chlorite**; Two types of chlorite are seen in metapelitic rocks. Chlorites with green color are probably in “ripidolite” composition. These chlorites were formed from biotites as a result of retrograde metamorphism. The ripidolites are common within mica schists observed at regions near the border of particularly Ağzıkara formation - Sugözü complex. The primary chlorites observed in metapelitic rocks are pale green colored, and they are in possibly pennin-clinochlore (Mg-chlorite) composition. Chlorites observed within greenschists, are green-dark green colored, and they have probably ripidolite-picnochlorite (Mg-Fe chlorite) composition (Figure 33). **Garnet** take part in minor quantities within mica schists observed at the base of Kodaman member. These garnets are seen as sub-idioblastic and small crystals. They have been almost completely transformed into chlorite + quartz with retrograde metamorphism. **Actinolites** and **tremolites** observed within greenschists show prismatic and sometimes fibrous shapes (Figure 33).

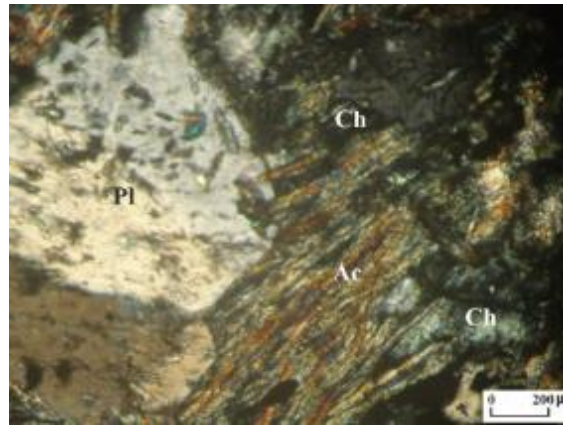


Figure 33. Actinolite (Ac), chlorite (Ch) and plagioclase (albite) (Pl) within chlorite-albite-actinolite schist belonging to Kodaman member, // Nicol

The components and percentage values observed in metapelitic schists and greenschists belonging to Kodaman member are given in Table 4.

Table 4. The components, percentage values of components and rock names of six samples belonging to metapelitic schists and greenschists observed in Kodaman member

The Name of Mineral	The Name of Rock					
	Mica schist	Feldspar-mica schist	Garnet-mica schist	Muscovite schist	Albite-chlorite schist	Chlorite-albite-actinolite schist
Muscovite	25	30	22	46	4	-
Biotite	20	14	28	-	-	-
Quartz	35	15	20	25	5	3
Chlorite	10	14	15	18	56	14
Actinolite	-	-	-	-	-	42
Plagioclase	4	20	6	4	27	22
Garnet	-	-	3	-	-	-
Microkline	2	-	1	2	-	-
Epidote	2	2	1	-	3	5
Zoisite/Clinozoisite	-	-	-	-	3	4
Clinopyroxene (relic)	-	-	-	-	-	5
Tremolite	-	-	-	-	-	2
Calcite	-	1	1	2	-	1
Graphite	1	-	-	1	-	-
Apatite	1	1	1	-	-	1
Sphene	-	2	1	1	1	1
Tourmaline	-	1	1	1	1	-
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Kodaman member is located over the Sugözü complex with the tectonic contact. It is overlain unconformably by Değirmendere formation (Figures 2 and 3). It shows the visible thickness of approximately 1100 m at place where their thickest outcrops are seen.

Kodaman member shows the features which can be correlated with the Cambrian-Ordovician aged lithologies belonging to Çukuryurt unite described by Öztürk et al. (1995) in the western parts of Akdağ and with the Lower-Middle Cambrian aged Ağzıkara formation described by Kansun (1993) in Alanya region. Çukuryurt unite according to Öztürk et al. (1995) begins Lower Cambrian aged quartzites, which are yellowish red colored, and higher up passes Middle Cambrian aged cherty dolomite, which are red-brown colored, and Upper Cambrian-Ordovician aged pelitic schists.

In the study area, Kodaman member of Ağzıkara formation belonging to Yumru dağ group (upper nappe) shows great similarities with Lower-Middle Cambrian aged Yaylalı member of Dim formation belonging to Mahmutlar group (lower nappe). The both members consist of mica schists and muscovite schists containing greenschist lenses and crystallized limestone - quartzite - cherty dolomite interlevels. The both members initially underwent metamorphism under same metamorphism conditions before the nappe emplacements at Alanya Unit (Kansun, 2000; Kansun et al., 1997). These similarities show that they were in the same stratigraphic level before the nappe emplacements and that the similar levels covered each other along the tectonic lines as a result of the nappe emplacement with the ruptures at the stratigraphic sequence in Alanya unit. According to these datas, the age of Kodaman member is considered to be Lower-Middle Cambrian.

### 3.1.3.1.2. Kesme Member

It consist of commonly quartzites. It is typically observed at Kesme Hill vicinity in the study area. Also, the member are seen at Göbetle Hill, Çakmağın taş Hill, Kocalı taş Hill, the south of Kırbalı Neighborhood, the west of Karaca Neighborhood and Bucak Neighborhood vicinity in the study area (Figure 2).

Kesme member commonly contains quartzite (Figure 34-a). The mica-quartz schists take place as interlevels in these quartzites. The quartzites are grayish white-yellow-reddish colored and thin bedded. They have the blocky view. The quartzites are abundantly cracked. Parallel and cross lamination is seen within quartzites.

Quartzites and quartz schists show granoblastic and granolepidoblastic textures. The mineralogical composition of these rocks is quartz + muscovite + plagioclase ± epidote ± zoisite / clinzoisite ± microcline ± chlorite (ripidolite) ± biotite (brown) ± sericite ± sphene ± apatite (Figure 34-b and c). With retrograde metamorphism in some quartzite and quartz schist samples, biotites turned to chlorite, and plagioclases turned to sericite (Figure 34-c).

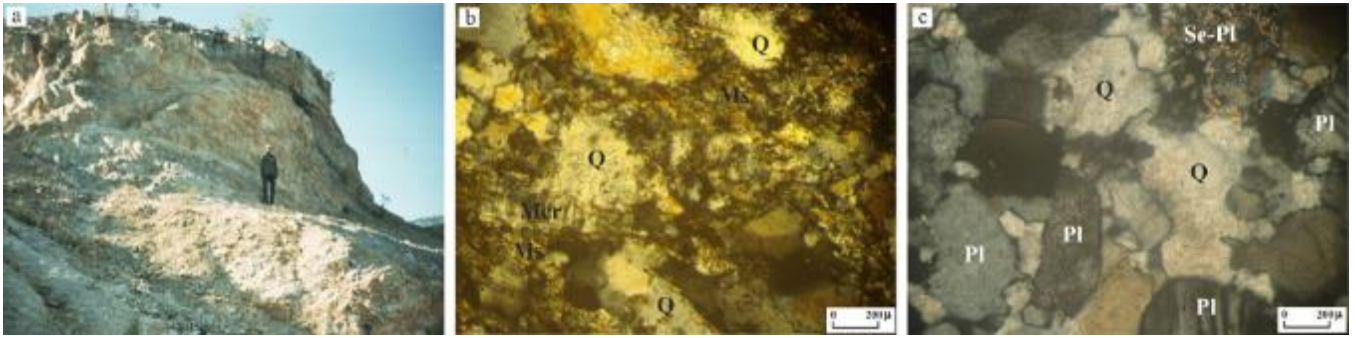


Figure 34. a) Quartzites belonging to Kesme member observed in the east of Güneyi neighborhood, b) Quartz (Q), muscovite (Ms) and microcline (Mcr) in mica-quartz schist, c) Plagioclase transforming into sericite (Se-Pl), quartz and plagioclase in feldspar-quartzite, // Nicol

Kesme member shows a visible thickness of approximately 350 m in the western parts of the study area, where the thickest outcrops of the member are observed. The quartzites belonging to Kesme member show vertical transition with metapelitic rocks belonging to Kodaman member from the bottom in the Ağzıkara formation, and these quartzites laterally and vertically transitive with Ardıçlı member consisting of cherty dolomites from the top (Figure 3).

Öztürk et al. (1995) defined the “Payallar unite” at the base levels of Alanya Unit in the northeast of Payallar, which is located west of the study area. The researchers indicated that quartzites observed at the base levels of Payallar unite were Lower Cambrian aged. Erbay (1998) stated that quartzites were found as compatible under the Middle Cambrian aged cherty dolomites containing trilobite at the lower levels of Alanya Unit and that these quartzites were Lower Cambrian aged. In the study area, the quartzites belonging to Keskin member are observed as compatible under cherty dolomites (Figure 3). Kansun (2000) stated that Ağzıkara formation, which was located in the upper Nappe of Alanya Unit in the Alanya region, consisted of metapelitic rocks containing quartzite - cherty dolomite interlevels and that the age of the formation was Lower-Middle Cambrian. The age the quartzites belonging to Kesme member are Lower Cambrian aged according to all these datas.

### 3.1.3.1.3. Ardıçlı Member

It is composed of cherty dolomites containing crystallized limestone interlevels. It has been named as Ardıçlı member, referring to the vicinity of Ardıçlı Ubiety, where it is typically observed. Also, Ardıçlı member are observed at the north of Ormancık Neighborhood, at west and southeast of Kesme Hill, at the north of Kulak Neighborhood, at the south of Kırbalı Neighborhood, at the west of Karaca Neighborhood, at the vicinities of Efeler Neighborhood and Sıraarmut Ubiety in the study area (Figure 2).



Ardıçlı member is commonly composed of dolomites. The dolomites are dark brown-reddish altere colored, gray colored and medium-thick bedded (Figure 35). They have a blocky appearance. These dolomites, which show sometimes brecciated structures, are generally fine grained. The chert interlevels, which are yellowish gray colored and show 2-3 cm thick, are observed in dolomites. Dolomites contain crack systems advanced in different directions. These cracks have been generally filled with milk white colored secondary quartzs. In the study area, almost everywhere, where Ardıçlı member is observed, quartzites are observed at the base of cherty dolomites within Ağzıkara formation. The cherty dolomites sometimes contain crystallized limestone levels, which are gray colored and thin bedded. Galenite formations in cherty dolomites the south of Kırbalı Neighborhood and barite formations in chert dolomites to the north of Ormancık Neighborhood are observed (Figure 2).



*Figure 35. The cherty dolomites belonging to Ardıçlı member observed the northwest of Kesme Hill*

The dolomites contain *dolomite + calcite ± quartz*. The ratio of dolomite crystals, which are typical with romboeder appearances within micro samples, is more than 90% in all dolomite samples. On the other hand, the ratio of calcite minerals in crystallized limestones is more than 90%.

Dolomites belonging to Ardıçlı member have a visible thickness of approximately 150 m. The dolomites of the Ardıçlı member show lateral-vertical transitions with mostly quartzites belonging to Kesme member from the base. They show vertical transition with metapelitic rocks belonging to Kodaman member from the top (Figure 3). Also, these dolomites are observed as interlevels at dimensions, which can not be mapped, in metapelitic rocks within Ağzıkara formation.

Erbay (1998) stated that Çaltepe formation, which was defined at the lower levels of Alanya Unit at his study, was composed of thick bedded dolomites, which contain chert nodules and barite veins and are brown-red alteration colored and gray colored. This researcher sayed that these dolomites contained trilobite fossils and that they were Middle Cambrian aged. Öztürk et al. (1995) defined Payallar unite at lower levels of Alanya Unit at the northeast of Payallar (Antalya). The researcher specified that Payallar unite consisted of Middle Cambrian aged dolomites, which contain chert nodules and barite veins and are brown-red surface colored. Kansun (2000) argued that the metapelitic rocks in the Ağzıkara formation observed in the upper nappe of Alanya Unit at Alanya (Antalya) region show lateral - vertical transition with cherty dolomites and quartzites and that the age of the cherty dolomites were Middle Cambrian. Therefore, cherty dolomites belonging to Ardıçlı member, which show very similar characteristics to the lithologies and boundary relations defined by these researchers in the study area, are Middle Cambrian aged.

### **3.1.3.2. Değirmendere Formation**

It is composed of alternation of quartz schist – phyllite – quartzite - crystallized limestone containing greenschist lenses at the bottom. Higher up, bituminous crystallized limestones containing calcschist - dolomitic limestone interlevels and greenschist lenses are observed. These lithologies were named as “Cebireis formation” by Okay and Özgül (1982), as “Upper Permian level of Çukuryurt unite” at the west of Akdağ by Öztürk et al. (1995), as “Topraktepe formation” and “Karatepe formation” by Erbay (1998). Kansun (2000) were named this imbricate, which consist of metapelitic rocks at the base and thick metacarbonates at the top, as Değirmendere formation at Alanya (Antalya) region. Değirmendere formation was examined by seperating to two members in the study. These are Çıplaklı member consisting of generally metapelitic rocks with lower temperature, and Tavşandamı member consisting of metacarbonates above it (Figures 2 and 3).

#### **3.1.3.2.1. Çıplaklı Member**

It consists of alternation of quartz schist – phyllite - quartzite - crystallized limestone containing greenschist lenses. It was named as Çıplaklı member belonging to Değirmendere formation at Alanya region by Kansun (2000). The member is observed as a narrow strip in the western and northern parts of the study area (Figure 2).

Çıplaklı member consists of alternation of quartz schist, phyllite, quartzite and crystallized limestone. The dominant lithology of Çıplaklı member is composed of quartz schists. The quartz schists are yellow-gray colored and show foliation. The quartzschists contain massive structured quartzite interlevels. The quartzit schists and quartzites show abundant cracked structure and are fragile. Phyllites are yellowish gray-greenish colored and show alternation with quartz schists at some levels in the member. Phyllites show very often folded structure. Crystallized limestones are gray colored, abundantly cracked and thin bedded. *Mizzia sp.* is observed at levels, where the bitumen rate increases, in crystallized limestones. The greenschist bands-lenses, which are parallel to foliation and

bedding, take place between metapelitic rocks and metacarbonates in Çıplaklı member. The greenschists that show evident foliation consist of chlorite schists. The Cambrian aged cherty dolomite blocks belonging to Mahmutlar group are observed in Çıplaklı member. These blocks must have settled within Çıplaklı member as a result that Yumruadağ group overlies Sugözü complex and Mahmutlar group.

**Quartz schists, quartzites and phyllites** show porphyroblastic, granolepidoblastic and granoblastic textures. The dominant mineralogical composition of these rocks is *quartz + muscovite + sericite ± biotite (green) ± chlorite (ripidolite-pinochlorite) ± epidote ± plagioclase (albite) ± calcite ± tourmaline (green)* (Figure 36). **Greenschists** show porphyroblastic and lepidoblastic textures. Greenschists include *chlorite (ripidolite-pinochlorite) + plagioclase (albite) + epidote + zoisite / clinozoisite ± actinolite ± calcite ± muscovite ± quartz + sphene* as mineralogical composition.

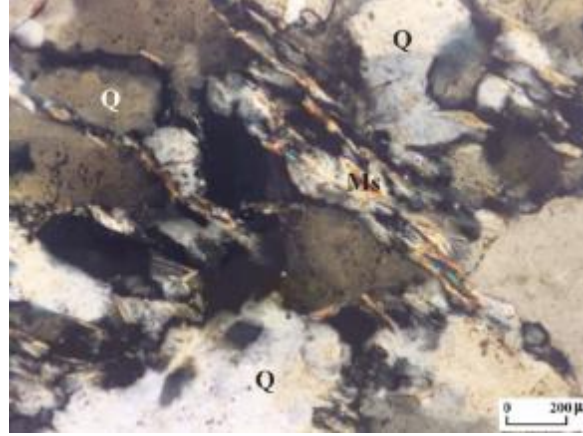


Figure 36. Quartz (Q) and muscovite (Ms) in muscovite-quartz schist belonging to Çıplaklı member, // Nicol

The components and percentage values in quartz schist, quartzite, phyllite and chlorite schist belonging to Çıplaklı member are given in Table 5.

Table 5. The Components, percentage values of components and rock names of four samples belonging to quartz schist, quartzite, phyllite and chlorite schist observed in Çıplaklı member

The Name of Mineral	The Name of Rock			
	Muscovite-quartz schist	Quartzite	Albite-phyllite	Zoisite-chlorite schist
Quartz	81	88	12	3
Muscovite	11	3	3	2
Plagioclase (Albite)	3	4	7	8
Chlorite	2	2	4	62
Biotite (green)	-	1	-	-
Epidote	1	1	-	4
Zoisite / Clinozoisite	-	-	-	13
Sericite	-	-	71	-
Actinolite	-	-	-	4
Calcite	1	-	3	2
Tourmaline (green)	1	1	-	-
Sphene	-	-	-	2
<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Çıplaklı member unconformably overlies Ağzıkara formation belonging to the lower nappe. It is observed with a tectonic contact on Sugözü complex which forms the middle nappe at Narince Neighborhood vicinity. Çıplaklı member is unconformably overlain by Upper Paleocene - Middle Eocene aged Kötekler formation at the west of the study area. It is overlain as compatible by the metacarbonates of Tavşandamı member belonging to Değirmendere formation at the north of Göktaş Neighborhood (Figures 2 and 3). Çıplaklı member observed as a thin strip at the northeast of the study area has a visible thickness of approximately 650 m.

*Mizzia sp.* are observed at crystallized limestone levels in Çıplaklı member. Accordingly, the age of Çıplaklı member is Upper Permian. Çıplaklı member shows features that can be correlated with "Upper Permian aged Topraktepe formation" observed between Demirtaş-Gazipaşa (Erbay, 1998) and "lower levels of Upper Permian belonging to Çukuryurt unite" observed at Alara Stream - Kargı Stream - Akdağ vicinities (Öztürk et al., 1995).

### 3.1.3.2.2. Tavşandamı Member

It consists of common crystallized limestones with calcschist and dolomitic limestone interlevels and greenschist lenses. These lithologies are named as Tavşandamı member within Değirmendere formation according to Tavşandamı Neighborhood vicinity (Alanya), where was typically observed, by Kansun (2000). Tavşandamı member are seen at Tombul Hill, Küçükazı Hill, Kışla Neighborhood vicinity and northwest of the study area (Figure 2).

The crystallized limestones are dark gray colored and thin bedded (Figure 37). These metacarbonates show sometimes laminated - banded structures. Also, the lapia structures, which show karstic melt gaps, are prominent in the metacarbonates. The crystallized limestones, which are mostly large grained and occasionally fine grained, show plenty of fractured structures. Bituminous levels are seen sometimes in crystallized limestones. Macro-fossil remains are observed at levels where the bitumen rate increases. The overturned and oblique isoclinal folds and Z-folds are seen in the crystallized limestones. The folds have developed as a result of the intense deformations and the polymetamorphism occurring in Alanya Unit. Tavşandamı member includes dolomitic limestone - calcschist interlevels and greenschist lenses. Greenschists consist of actinolite schists.



Figure 37. The crystallized limestones belonging to Tavşandamı member observed on the western slopes of Tombul Hill

**Crystallized limestones** and **dolomitic limestones** show granoblastic and mosaic textures. *Calcite + dolomite ± muscovite ± quartz* mineral paragenesis was observed in these metacarbonates. The **calcschists** contain *calcite + muscovite + chlorite (ripidolite) ± quartz ± epidote* mineral assemblage. The calcschists are granolepidoblastic textured. The **greenschists** are characteristic with porphyroblastic and granonematoblastic textures. *Actinolite + chlorite (ripidolite-picnochlorite) + plagioclase (albite) ± calcite ± muscovite ± epidote ± zoisite / clinozoisite + sphene* are observed in greenschists.

The metacarbonates belonging to Tavşandamı member are unconformably observed on the metapelitic and metacarbonate rocks belonging to Ağzıkara formation at the south of the study area. On the other hand, it takes place as compatible over metapelitic-metapsammitic-metacarbonate rocks (Çıplaklı member) belonging to Değirmendere formation at the north of Göktaş Neighborhood. Tavşandamı member is unconformably overlain by the Upper Paleocene - Middle Eocene aged Kötekler formation (Figure 2). Tavşandamı member has a visible thickness of approximately 600 m.

*Mizzia Sp.* from alga is observed at bituminous crystallized limestone levels belonging to Tavşandamı member. In addition, *Fusulinidae*, which is one from the foraminifera, take part in metacarbonates within the member. In metacarbonate levels belonging to Tavşandamı member, Özgül (1984) determined *Bellerophon Sp.*, and Erbay (1998) determined *Pachyphloia Sp.*, *Permocalculus Sp.* and *Stylidophylloides Sp.* fossils. Therefore, the age of Tavşandamı member is Upper Permian. Tavşandamı member shows features that can be correlated with Upper Permian aged Karatepe formation observed between Demirtaş-Gazipaşa (Erbay, 1998) and with the upper levels of the Upper Permian belonging to Çukuryurt unit observed at Alara Stream – Kargı Stream – Akdağ vicinities (Öztürk et al., 1995).

## 3.2. Discussion

Işık and Tekeli (1995), at his study in the Anamur vicinity, stated that Alanya Unit consists of schist, amphibolite, greenschist, phyllite, quartzite and marble from bottom to top. The researchers said that the Alanya Unit was subjected to metamorphism reaching up to amphibolite facies at high temperatures. In fact, the Alanya Unit consists of metapelitic, metasemipelitic, metapsammitic, metacarbonate and metabasic rocks. On the other hand, in the study area, Alanya Unit consists of three different nappes which are observed with tectonic contact on each other. In addition, three phased metamorphisms reaching up to the upper amphibolite facies conditions were identified within Alanya Unit.

Çetinkaplan (2018) showed Alanya Unit in the form of two separate tectonic slices (Sarıağaç unit and Kapıdağ nappe) in his study around Anamur. In this study, Sarıağaç unit corresponds to Sugözü complex and Kapıdağ nappe corresponds to Yumrudağ group. On the other hand, Alanya Unit consists of three nappe cleavages in the study area. In the study area, Mahmutlar group is located as a separate nappe under the Sugözü complex, which corresponds to the Sarıağaç unit called by Çetinkaplan (2018). Çetinkaplan (2018) stated that Sarıağaç unit underwent the metamorphism in the upper amphibolite facies. On the other hand, three different metamorphism phases have been determined in the Sugözü complex corresponding to Sarıağaç unit in the study. Sugözü



complex initially underwent progressive metamorphism in amphibolite facies and upper amphibolite facies conditions. Later, this complex underwent a retrograde metamorphism at greenschist facies.

Çetinkaplan (2018) stated that there were acidic metamagmatites that cut the metapelitic rocks in Sariağaç unit. The researcher says that the age of crystallization of these acidic metamagmatites consisting of quartz and plagioclases was  $550.2 \pm 8.2$  Ma. In this study, acidic metamagmatites which cut the metapelitic rocks were not observed in the Sugözü complex which corresponds to the Sariağaç unit and in other parts of the Alanya Unit. On the other hand, the quartzites interlevels are extensively found in the metapelitic rocks of Mahmutlar group and especially Yumrudağ group of Alanya Unit. In addition, quartzite-quartzschist interlevels are sometimes observed in metapelitic rocks belonging to Sugözü complex. These quartzites are always compatible with the schizozites of metapelitic rocks in Alanya Unit. Particularly, feldspar-quartzites are observed at quartzite levels (Kesme member) within the Ağzıkara formation of Yumrudağ group. These feldspar-quartzites contain 12-15% feldspar (plagioclase + microcline) and 85-88% quartz. These feldspar-quartzites are observed especially in the eastern parts of Kesme Hill and are compatible with the schizozites of metapelitic schists belonging to Kodaman member of Ağzıkara formation. In the study area, the ages of Örenbaşı member (Dim formation) belonging to Mahmutlar group and Kesme member (Ağzıkara formation) belonging to Yumrudağ group consisting of quartzites were determined as Lower Cambrian. This age is partially compatible with  $550.2 \pm 8.2$  Ma age specified by Çetinkaplan (2018).

#### 4. Conclusions

Precambrian and Paleozoic aged Alanya Unit consisting of completely metamorphic rocks take places at the base of the study area. The Upper Paleocene - Middle Eocene aged Kötekler formation unconformably overlies the Alanya Unit. The Alanya unit consists of three separate nappe slices, which take place with tectonic contacts one above the other. These are Lower-Middle Cambrian aged Mahmutlar group (lower nappe), Precambrian aged Sugözü complex (middle nappe) and Lower-Middle Cambrian and Upper Permian aged Yumrudağ group (upper nappe).

The Mahmutlar group (lower nappe) is composed of muscovite schist, quartz schist and extensively mica schist containing cherty dolomite – quartzite - crystallized limestone interlevels and greenschist lenses (Dim formation). Sugözü complex (middle nappe), which is evident large garnet crystals, consist of mica schists with kyanite-sillimanite-staurolite and extensively garnet-mica schists. The semipelitic quartzite - quartz schist interlevels, amphibolite - amphibole schist - greenschist bands and lenses, metagabro - metadiabase dykes and interlevels and Cambrian aged dolomite – quartzite blocks and Upper Permian aged metacarbonate blocks belonging to Alanya unit are observed in these pelitic schists. Yumrudağ group (upper nappe) begins with mica schist and muscovite schists containing quartzite - cherty dolomite - crystallized limestone interlevels and greenschist bands - lenses (Ağzıkara formation) at the bottom. The alternation of quartz schist – phyllite – quartzite - crystallized limestone containing greenschist lenses and bituminous crystallized limestones containing calcschist - dolomitic limestone interlevels and greenschist lenses (Degirmendere formation) are observed in the upper levels of Yumrudağ group. The Cambrian aged cherty dolomite blocks belonging to Mahmutlar group (lower nappe) are seen in the Yumrudağ group. The formations barite, copper and galenite take place in upper nappe lithologies (Ağzıkara formation).

The three-phased metamorphism, which follow one another, is observed within Alanya Unit, which is subjected to multi-phased deformations as associated with intense tectonic movements. The datas of the polymetamorphism are particularly evident in Sugözü complex, which forms the middle nappe of Alanya unit. *Biotite (brown, green) + muscovite + garnet (prop-almandine-grossular) + quartz ± chlorite (ripidolite-picnochlorite, pennin-clinocllore) ± kyanite ± staurolite ± sillimanite + plagioclase (albite-oligoclase-andesin) ± epidote ± zoisite / clinozoisite ± orthoclase + tourmaline (green, brown) ± graphite ± sphene ± rutile ± apatite* mineral assemblage are observed in metapelitic and metapelitic rocks belonging to Sugözü complex. Amphibolites and amphibole schists belonging to this complex contain *hornblende (tschermacite, ferro-tschermacite, magnesio-hornblende, edenite) + garnet + plagioclase (albite-oligoclase-andesine) ± relic clinopyroxene (augite-pigeonite) + chlorite (ripidolite, clinocllore) ± orthoclase ± epidote ± zoisite / clinozoisite ± biotite (green, brown) ± actinolite ± muscovite ± quartz ± calcite ± sphene ± apatite ± rutile. Hornblende (tschermacite, ferro-tschermacite) + plagioclase (albite-oligoclase-andesine) + relic clinopyroxene (augite) ± garnet + quartz + chlorite (ripidolite, pennin-clinocllore) ± actinolite ± zoisite / clinozoisite ± epidote ± calcite ± sphene ± apatite* mineral assemblage are seen in metagabros and metadiabases. The greenschists contain *tremolite + actinolite + chlorite (ripidolite-picnochlorite) + plagioclase (albite) ± garnet + zoisite / clinozoisite + epidote ± quartz ± microcline ± clinopyroxene (augite) (relic) ± calcite + sphene ± apatite* mineral paragenesis.

#### 5. Acknowledge

This study was prepared by using the projects numbered 2002-116, 2003-123 and 10201037 supported by Selçuk University Scientific Research Projects Coordination Unit.

#### References

- Atalay, İ. (1987). Introduction to geomorphology of Turkey (in Turkish). *Ege University publications*, İzmir-Turkey.
- Blumenthal, M. M. (1951). Batı Toroslar'da Alanya ard ülkesinde jeolojik araştırmalar. *MTA Yayınları*, Ankara-Turkey, 139, 58.
- Blumenthal, M. M. (1963). Le systeme structural du Taurus Sud-Anadolian. Livre a la Memoire du Prof. P. Fallot da. Mem. hs. ser., Soci Geol. de France, 11, pp. 611-662.

- Caran, Ş. (1999). *Uşak-Banaz-Sivaslı arasında kalan bölgenin jeoloji, mineraloji ve petrografisi* [Unpublished doctoral dissertation]. Süleyman Demirel University, Isparta-Turkey, 211 p.
- Çetinkaplan, M. (2018). Anamur (Alanya Masifi, Mersin) Bölgesinde Yer Alan Prekambriyen Yaşlı Kayaçların Çok Evreli P-T-T Evrimi. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 61, pp. 91-130.
- Demirtaşlı, E. (1987). *Silifke batısında Hacı İshaklı, Büyükeceli, Korucuk ve Akdere köyleri arasında kalan bölgenin jeolojisi* (Report No:8769). MTA Enstitüsü, Ankara-Turkey.
- Erbay, G. (1998). *Demirtaş-Gazipaşa civarının jeolojik, mineralojik ve petrografik özellikleri* [Unpublished doctoral dissertation]. Süleyman Demirel University, Isparta-Turkey, 161 p.
- Etheridge, M. A., & Hopps, B. E. (1974). Chemical and deformational controls on recrystallization of mica. *Contrib. Mineral. Petrol.* 43, 111-124.
- Işık, V., & Tekeli, O. (1995). Alanya metamorfitlelerinin doğu kesiminde yeni petrografik bulgular (Anamur). *MTA Dergisi*, 117, pp. 105-113.
- Kansun, G. (1993). *Alanya - Demirtaş (Antalya) arasının, jeolojisi ve mineralojik-petrografik incelemesi* [Unpublished master's thesis]. Selçuk University, Konya-Turkey, 135 p.
- Kansun, G. (2000). *Alanya-Demirtaş-Bucak-Kızılcaşehir (Antalya) civarının stratigrafi, petrografi ve jeokimyası* [Unpublished doctoral dissertation]. Selçuk University, Konya-Turkey, 334 p.
- Kansun, G., & Deli, S. (2011). *Anamur (Mersin) civarındaki Alanya birliği metamorfitlelerinin jeolojisi ve metamorfizma özellikleri* (Number: 10201037). Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri.
- Kansun, G., Delikan, A., & Öztürk, A. (2017). *Anamur-Silifke (Mersin) civarındaki Alanya birliği metamorfitlelerinin stratigrafik-petrografik ve jeokimyasal özellikleri* (Number: 2002-116). Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri.
- Kansun, G., Koçak, K., & Işık, F. (2018). *Sugözü karışığının (Anamur-Mersin) magmatik ve metamorfik petrolojisi* (Number: 2003-123). Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri.
- Ketin, İ. (1966). Tectonic Units of Anatolia (Asia Minor). *MTA Bült.*, 66, pp. 23-35.
- Monod, O. (1977). *Recherches geologique dans le Taurus occidental au sud de Beyşehir (Turquie)* [Unpublished doctoral dissertation]. These Univ. Paris-Sud Orsay, 442 p.
- Okay, A. I., & Özgül, N. (1982). Blueschists and eclogites from the Alanya Masif, Turkey. Abstr. *The Geological evolution of the Eastren Mediterranean*, Edinburg 1982, p. 82.
- Okay, A. I. (1986). High-pressure/low-temperature metamorphic rocks of Turkey. In Blueschists and Eclogites. *The Geol. Soc. America Mem.*, 164, pp. 333-348.
- Okay, A. I., & Tüysüz, O. (1999). *Tethyan sutures of northern Turkey*. In: Durand, B., Jolivet, L., Hovarth, F. and Séranne, M. (ed.), *The Mediterranean Basins: Tertiary Extension within the Alpine Orogen*, Geological Society of London, Special Publication, 156, pp. 475-515.
- Özgül, N., & Arpat, E. (1973). Structural units of the Taurus orogenic belt and their continuation in neighbouring regions. Selection of papers on the Eastren Mediterranean region, presented at the 23rd congress of CIESM in Athens, November 1972, *Bull. Geol. Soci.*, Greece, 10-1, pp. 156-164.
- Özgül, N. (1976). Torosların bazı temel jeoloji özellikleri. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 19, pp. 65-78.
- Özgül, N. (1984). Alanya Tektonik Penceresi ve batı kesiminin jeolojisi. *Türkiye Jeol. Kur. Yay., Ketin Simpozyumu*, Şubat 1984, pp. 97-120.
- Özgül, N., Bölükbaşı, S., Alkan, H., Öztaş, M., & Korucu, M. (1991). Tectonostrati-graphic units of the lake district, Western Taurides. *Ozan Sungurlu Simpozyumu Bildirileri*, TPJD, Ankara-Turkey, pp. 213-237.
- Öztürk, E. M., Öztürk, Z., Acar, Ş., & Ayaroğlu, A. (1981). *Şarkikaraağaç (Isparta) ve Dolayının Jeolojisi* (Report No:7045). MTA Enstitüsü, Ankara-Turkey.
- Öztürk, E. M., Akdeniz, N., Bedri, Y., Sönmez, İ., Usta, D., Kuru, K., & Erbay, G. (1995). Alanya napının stratigrafisine farklı bir yaklaşım. *Türkiye Jeol. Kur. Bült.*, 10, pp. 2-10.
- Peyronnet, P. de. (1965). Observations sur la Geologie du Taurus au Nord D'Alanya (Turquie). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 65.
- Peyronnet, P. de. (1971). Alanya bölgesinin (Güney Toroslar) Jeolojisi, metamorfik oksitin kökeni. *MTA Enstitüsü Dergisi*, 76, pp. 98-123.
- Ricou, L. E., Argyriadis, I., & Marcoux, J. (1974). Proposition d'une origine interne pour les nappes d'Antalya et la massif d'Alanya (Taurides occidentales, Turquie). *Bull. Soci. Geol.*, France, (7) 16, 2, pp. 107-111.
- Şahin, S. Y. (2002). Türkiye jeolojisi, Department of Geophysics Engineering, lecture Notes, Turkey.
- Şenel, M. (1992). *Eğridir-Yenişarbademli-Gebiz ve Geriş-Köprüllü (Isparta-Antalya) arasında kalan alanın jeolojisi* (Report No: 9390). MTA Enstitüsü, Ankara-Turkey.
- Şengül, M., Acarlar, M., Çetin, F., Doğan, O. Z., & Gök, A. (1978). Alanya Masifi'nin yapısal konumu. *TMMOB Jeol. Müh. Odası Derg.*, 6, pp. 39-44.
- Turan, A. (2007). Boz yazı (Mersin) ve kuzey kesiminin tektono-stratigrafisi. *Selçuk Üniversitesi Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, 23, pp. 1-2.
- Winkler, H. G. F. (1979). *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 5th ed., Springer-Verlag, New York-Berlin, p. 348.





# Common Generative Adversarial Network Types and Practical Applications \*

Mehmet Ali Barışkan<sup>1</sup>, Zeynep Orman<sup>2</sup> and Rüya Şamlı<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Computer Engineering Dept./Faculty of Engineering & Architecture, Istanbul Gelisim University, Turkey

<sup>2</sup>Computer Engineering Dept./Faculty of Engineering, Istanbul University- Cerrahpasa, Turkey

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf70)

**ATIF/REFERENCE:** Barışkan, M. A., Orman, Z. & Şamlı, R. (2020). Common Generative Adversarial Network Types and Practical Applications. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 585-590.

## Öz

Bu çalışmada ele alınan Generatif Karşılıklı Ağları (Generative Adversarial Networks - GAN), Kısıtlı Boltzmann Makineleri (Restricted Boltzmann Machines - RBM), Derin Boltzmann Makineleri (Deep Boltzmann Machines - DBM) ve Varyasyonel Otomatik Kodlayıcılar (Variational Autoencoders- VAE) gibi genel derin öğrenme algoritmalarının kısıtlamalarının üstesinden gelmek için geliştirilmiş birçok derin öğrenme yöntemi arasında yer almaktadır. GAN modelleri ve yapıları toplanan veri kümelerinden yeni benzersiz veriler oluşturabilir. Bu veri kümeleri kimi zaman binlerce veriden oluşabilir, veri kümelerinin içerisinde farklı türde veriler mevcut olabilir. Bu yöntemlerin varyasyonları, çoğunlukla görüntü restorasyonu ve görüntü oluşturma, sinyal işleme ve siber saldırıların tespiti gibi derin öğrenme uygulamaları için kullanılır. Literatürde pek çok farklı GAN modelleri mevcuttur. Bu çalışmada da, esas olarak En Küçük Kareler Oluşturucu Düşman Ağları (Least Squares Generative Adversarial Networks - LSGAN) ve Derin Konvolüsyonel Üretken Düşman Ağları (Deep Convolutional Generative Adversarial Networks - DCGAN) olarak adlandırılan iki GAN yöntemi üzerine odaklanılmıştır. Bu farklı yöntemler, geleneksel GAN algoritmasının performansını iyileştirmek ve çeşitli problemlerin farklı gereksinimlerini karşılayarak çözmek için geliştirilmişlerdir. Bu çalışmada bu yöntemlerin mimarileri, kullanılış biçimleri, özellikleri, sayısal tanımlamaları verilmiş ve birbirlerinden farkları açıklanmıştır. Bu çalışmada ayrıca her iki GAN yöntemi (LSGAN ve DCGAN) için de, toplanan verilerden yeni ve benzersiz veriler oluşturmak için kullanılan bu algoritmaların literatürdeki pratik uygulamaları da ele alınmıştır. LSGAN için literatürdeki 5 farklı çalışma, DCGAN için ise literatürdeki 2 farklı çalışma ele alınarak incelenmiştir. Son olarak, bu yöntemlerle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve hangi yöntem için hangi uygulamanın kullanılabileceği açıklanmıştır. Araştırmalardan görüldüğü üzere her iki yöntemin de uygulanabileceği problemler birbirinden farklılık göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Derin Öğrenme, GAN, LSGAN, DCGAN.

# Common Generative Adversarial Network Types and Practical Applications

## Abstract

Generative Adversarial Networks (GAN) which are analyzed in this study are among many deep learning methods which have been developed to overcome the restrictions of generic deep learning algorithms such as Restricted Boltzmann Machines (RBM), Deep Boltzmann Machines (DBM) and Variational Autoencoders (VAE). GAN models and structures can create new unique data from the collected data bases. These data bases can contain thousands of data and different types of data. The variations of these methods are mostly used for deep learning applications such as image restoration and creation, signal processing, and detection of cyber-attacks. In the literature, there are many different types of GANs. In this paper, it was focused on two GAN methods which are the Least

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.



The minimum target for GANs can be formulated as follows:

$$\min_G \max_D V_{GAN}(D, G) = \mathbb{E}_{x \sim p_{data(x)}} [\log D(x)] + \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [\log(1 - D(G(z)))]. \quad (1)$$

DCGAN combines a CNN using supervised learning with a GAN using an unsupervised learning algorithm [2].

Traditional GANs, which define the discriminator as a classifier, adopt sigmoid cross-entropy loss function. When updating the generator, this loss function will cause loss degrees problem for samples that are on the right side of the decision limit but are still far from the actual data. To solve this problem, Mao et al. have recommended Least Squares Productive Competitive Networks (LSGAN). Assuming that they have used the A-b coding scheme for discriminatory, where a and b are labels for fake and real data respectively [3], then the objective functions of LSGANs can be defined as follows:

$$\min_D V_{LSGAN}(D) = \frac{1}{2} \mathbb{E}_{x \sim p_{data(x)}} [(D(x) - b)^2] + \frac{1}{2} \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [(D(G(z)) - a)^2] \quad (2)$$

$$\min_G V_{LSGAN}(G) = \frac{1}{2} \mathbb{E}_{z \sim p_z(z)} [(D(G(z)) - c)^2] \quad (3)$$

## 2.2 Applications of LSGAN

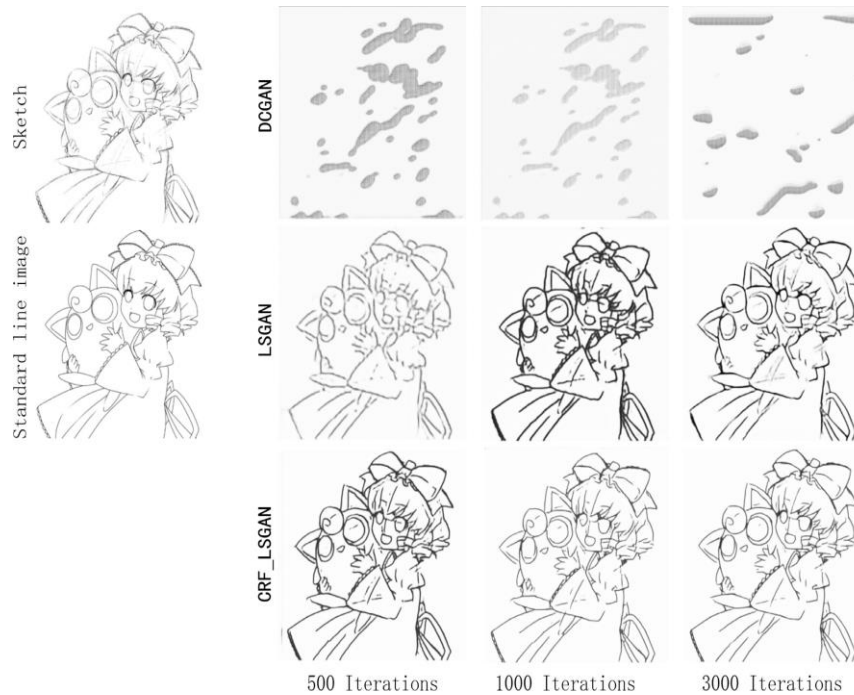
In this section some papers about applications of LSGAN were given. The applications are: general application of LSGAN, sketch simplification based on conditional random field and LSGAN, application of improved LSGAN for rail crack detection by AE technique, determining the effectiveness of LSGAN and finally a new mimicking attack by LSGAN.

### 2.2.1 General Application of LSGAN (2017)

This paper was written by Mao et al. [3]. In this study, the authors presented LSGAN as a new model which they proposed. They used LSUN, CIFAR-10 and HWDB1.0 datasets. They got more detailed images on LSUN when compared to DCGAN. When they used CIFAR-10, they obtained 6,47 inception score out of 10 and when DCGAN was used, 6,22 out of 10 was obtained as the inception score. As human perspective, they used Amazon Mechanical Turk to make survey to ask people which images look more realistic and they got 56,4% of votes and 43,6% votes were taken by DCGAN.

### 2.2.2 Sketch simplification based on conditional random field and LSGAN (2018)

In this study [4], the authors have used the sketches to make more realistic cartoons and game graphics. They have used different types of sketches such as Japanese Anime, Disney Style, Scene and architecture. The aim for the related article is to make easier to create graphics and cartoons.



*Fig. 2 Sample Outputs of three changing with iterations by Qianwen Lu., 2018*

In their experiments as given in Fig.2, they have compared the results of 3 algorithms: Deep Convolutional Generative Adversarial Networks (DCGAN), Least Squares Generative Adversarial Networks (LSGAN), and Least Squares Generative Adversarial Networks added the energy function of Conditional Random Field (CRF). Additionally, they have compared the proposed method and another method by combining LSGAN and fully connected CRF that was similar to the method proposed by Chen et al [10].

### ***2.2.3 Application of improved LSGANs for rail crack detection by AE technique (2017)***

This study [5] was written by Wang et al. In this study the researchers have used sound files as the dataset. They have trained LSGAN using this dataset. The objective of this study is to find the deterioration of railroads much easier and to make the railroads safer. They have used the Gaussian mixture distribution dataset and they have obtained better results with the modified LSGAN than the Karman Algorithm.

### ***2.2.4 The Effectiveness of LSGANs (2018)***

This study [6] was written by Mao et al. In this study, they have used least squares with discriminator & generator. By using this approach, they obtained more clear pictures.

### ***2.2.5 A New Mimicking Attack by LSGAN (2017)***

This study [7] was written by Sun et al. In this study, they trained their LSGAN to understand the differences between Distributed Denial Service Attacks (DDOS) and Flash Crowds (FC) and created a simulation that could create artificial FC attacks. To test this method, they used the DDOS attack 2007 dataset for the DDOS attacks and the Word Cup 1998 dataset for the FC attacks. After testing, they found that even the most accurate defence mechanisms couldn't accurately (55%) detect this type of attacks.

## **2.3 Applications of DCGAN**

DCGAN consists one of the most popular and successful network designs for the GAN. It consists mainly of fold layers without maximum pooling or fully bounded layers. Evolutionary step and concave convolution [2] was shown in Fig 3.

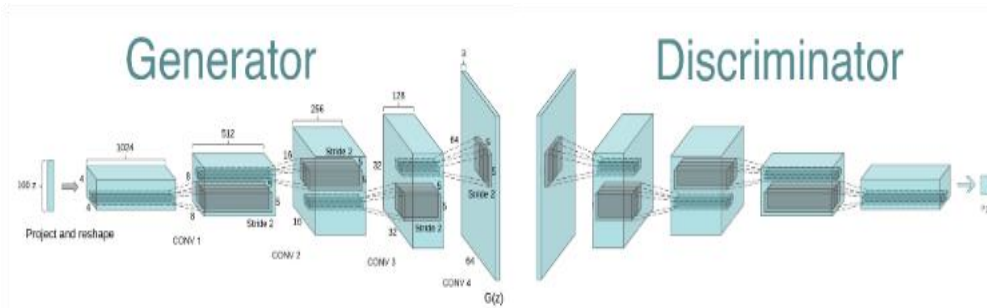


Fig. 3. DCGAN Generator Used For Lsun Scene Modeling (Alec Radford & Luke, Metz 2016)

In this section some papers about applications of DCGAN were given. These papers are: DC-AL GAN: Pseudoprogession and true tumor progression of glioblastoma multiform image classification based on DCGAN and AlexNet and Semi-Supervised Encrypted Traffic Classification With DCGAN respectively.

**2.3.1 DC-AL GAN: Pseudoprogession and true tumor progression of glioblastoma multiform image classification based on DCGAN and AlexNet (2019)**

This paper [8] was written by Li et al. They have separated Pseudoprogession (PsP) which according the same article occurs in 20–30% of patients with glioblastoma multiforme and true tumor progression (TTP). They have used DCGAN and Alex-Net which was chosen as the discriminator, and it was used to identify the features needed for the final classification. AlexNet is an architecture based on CNNs that has proven to be successful in scene classification tasks. They have found that the accuracy of this approach is 0.920 for PSP, and 0.947 for TTP.

**2.3.2 Semi-Supervised Encrypted Traffic Classification With DCGAN (2019)**

This paper [9] was written by Iliyusu and Deng. They have used TensorFlow keras high-level API 2.0.0-alpha as the deep learning software framework to implement both the semi-supervised DCGAN model, and the baseline models. The hardware used was taken from Google Cloud Platform (GCP). They obtained results with 89% accuracy with 10% labelled data and 93% accuracy with 50% labelled data.

**3. Results**

A total of 7 articles have been found in the literature which have used Least Squares Generative Adversarial Networks (LSGAN), and Deep Convolutional Generative Adversarial Networks (DCGAN) as key terms in Web of Knowledge (WOS), Scopus, IEEE and Science Direct / Elsevier databases. 3 of these papers were published in 2017 whereas 4 of them were published in 2018 as shown in Fig. 4.

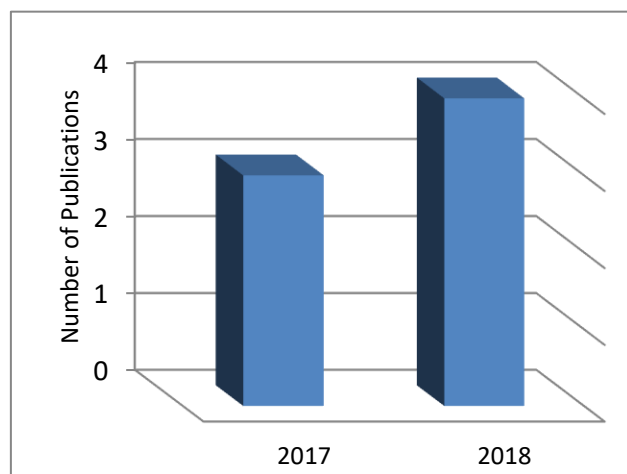
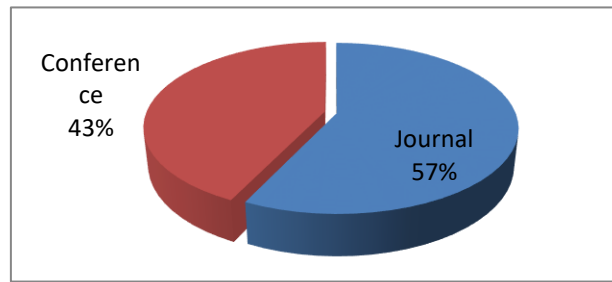


Fig. 4 Number articles by year



While 3 of these articles including the one that has presented the GAN model for the first time are the conference papers, whereas 4 of them are journal papers as presented in Fig. 5.



*Fig. 5 Number of Articles by Publication Type*

Because of the different requirements of the related problems, researchers and practitioners are going to need new GAN types. With the improvements of artificial intelligence and other practical areas of artificial neural networks and deep learning, it is obvious that there will be an increase in the types of the GAN algorithms. Therefore, there will be a variety of GAN algorithms that are being developed in the near future.

## 4. Conclusion

GAN is a model commonly used for estimating generative models by an adversarial process by simultaneously training two models. In this paper, we have examined the applications of the two most used GAN algorithms: LSGAN and DCGAN. We have found out that although LSGAN and DCGAN can be used in a similar manner, there are types of differences that make them suitable for different types of applications. While LSGAN is suitable for the scenarios such as duplication of train track sounds or cyber-attack simulations, in which we need perfect duplicates of the original data, DCGAN is suitable for creating new data that is not directly similar to main data such as medical researches and traffic management system simulations in which we need similar unique data to make comparisons. There are very few GAN algorithms developed in this area. As different applications will require different types of GAN algorithms, it is expected that studies on this subject will increase in the near future.

## References

- [1] Soumyadeep Kundu, Sayantan Paul, Suman Kumar Bera, Ajith Abraham, Ram Sarkar “Text-line extraction from handwritten document images using GAN” *Expert Systems with Applications*, Vol. 140, 112916, 2020.
- [2] Soumith Chintala, Alec Radford, Luke Metz “Unsupervised Representation Learning With Deep Convolutional Generative Adversarial Networks” in *Proc. ICLR 2016*.
- [3] Xudong Mao, Qing Li, Haoran Xie, Raymond Y.K. Lau, Zhen Wang, Stephen Paul Smolley, “Least Squares Generative Adversarial Networks” in *Proc. ICCV 2017*.
- [4] Qianwen Lu, Qingchuan Tao, Yalin Zhao, Manxiao Liu “Sketch simplification based on conditional random field and least squares generative adversarial networks” *Neurocomputing*, Vol. 316, 178-189, 2017.
- [5] Kangwei Wang, Xin Zhang, Qiushi Hao, Yan Wang, Yi Shen “Application Of Improved Least-Square Generative Adversarial Networks For Rail Crack Detection By Ae Technique” *Neurocomputing*, Vol. 332, 236-248, 2018.
- [6] Xudong Mao, Qing Li, Haoran Xie, Raymond Y.K. Lau, Zhen Wang, Stephen Paul Smolley “On the Effectiveness of Least Squares Generative Adversarial Networks” *IEEE Transactions On Pattern Analysis And Machine Intelligence*, Vol. 41, 2019
- [7] Degang Sun, Kun Yang, Zhixin Shi, Chao Chen, “A New Mimicking Attack By Lsgan” in *Proc. IEEE 29th International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI)*, 2017.
- [8] Meiyu Li, Hailiang Tang, Michael D. Chan, Xiaobo Zhou, Xiaohua Qian “DC-AL GAN: Pseudoprogression and True Tumor Progression of Glioblastoma Multiform Image Classification Based on DCGAN and AlexNet” *Cornell University arXiv:1902.06085*
- [9] Auwal Sani Iliyasu, Huifang Deng, “A.Semi-Supervised Encrypted Traffic Classification With Deep Convolutional Generative Adversarial Networks” *IEEE Access* Vol.8, 118-126, 2019.
- [10] Liang-Chieh Chen, George Papandreou, Iasonas Kokkinos, Kevin Murphy, Alan L. Yuille “Semantic image segmentation with deep convolutional nets and fully connected CRFs” in *Proc. ICLR 2015*.



# Station Preference Analysis of Users in Bike Sharing Systems Big Datasets\*

Ahmet Şakir Dokuz<sup>1 †</sup>

<sup>1</sup> Computer Engineering Department, Nigde Omer Halisdemir University, Nigde, Turkey (ORCID: 0000-0002-1775-0954)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf71)

**ATIF/REFERENCE:** Dokuz, A.S. (2020). Station Preference Analysis of Users in Bike Sharing Systems Big Datasets. *European Journal of Science and Technology*, (Özel Sayı), 591-597.

## Abstract

Bike Sharing Systems (BSS) have emerged as an alternative transportation tool for city residents who do not want to prefer conventional transportation systems. By using BSS, city residents could reach their desired destinations while making sports activity in fresh air. BSS became more preferred and prevalent among other transportation systems because of their several benefits, such as environmental friendly, activity enforcing and fresh transportation opportunity. After BSS are being utilized by more users, BSS operators started to collect the BSS datasets to gain insights from these datasets. In the literature, several applications are performed using BSS datasets, including urban pattern analysis. In this study, BSS big dataset is used for analyzing station preferences of different user types. The bike stations and their visits are counted and sorted for each user type, and top-10 preferred bike stations are extracted for each user type as preferred stations. Experimental results show that Customer and Subscriber user types have different station preferences, as hypothesized in this study.

**Keywords:** Bike Sharing Systems; Data mining; Urban pattern analysis; Station preference analysis; Big data mining

# Bisiklet Paylaşımı Büyük Veri Kümelerinde Kullanıcıların İstasyon Tercihlerinin Analizi

## Abstract

Bisiklet Paylaşım Sistemleri (BPS), geleneksel taşımacılık sistemlerini tercih etmek istemeyen şehir sakinleri için alternative bir taşımacılık sistemi sunan ve son yıllarda yaygınlık kazanan sistemlerdir. BPS kullanan şehir sakinleri, açık havada sportif bir aktivite yaparak varmak istedikleri hedeflerine ulaşabilmektedirler. BPS çevre dostu yaklaşımları, hareketliliğe zorlayıcı yanı ve temiz taşımacılık fırsatı gibi çeşitli avantajları sayesinde diğer taşımacılık sistemlerinden daha yaygın ve tercih edilir hale gelmişlerdir. BPS'ler çok fazla sayıda kullanıcı tarafından tercih edildikçe BPS operatörleri daha iyi bilgiler edinebilmek için kullanıcılarının verilerini toplamaya başlamışlardır. Literatürde, BPS veri kümelerini kullanan ve şehir örüntü analizini de içeren çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada, BPS büyük veri kümesi kullanılarak farklı kullanıcı türlerinin istasyon tercihlerinin analizi yapılmıştır. Her bir kullanıcı türü için bisiklet istasyonları ve bu istasyonlara yapılan ziyaretler saydırılmış ve her bir kullanıcı türü için en çok tercih edilen ilk 10 istasyon, tercih edilen istasyonlar olarak çıkarılmıştır. Deneysel sonuçlar, Müşteri ve Üye kullanıcı türlerinin farklı istasyon tercihleri olduğunu doğrulamışlardır.

**Anahtar Kelimeler:** Bisiklet Paylaşım Sistemleri, Veri madenciliği, Şehir örüntü analizi, İstasyon tercih analizi, Büyük veri madenciliği.

\* This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

† Corresponding Author: Nigde Omer Halisdemir University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department, Nigde, Türkiye, ORCID: 0000-0002-1775-0954, [adokuz@ohu.edu.tr](mailto:adokuz@ohu.edu.tr)

## **1. Introduction**

Bike Sharing Systems (BSS) are one of the recent transportation systems which also provide city residents to be active while reaching their desired destinations (Eren and Uz, 2019). People prefer BSS due to their environmental friendly, activity enforcing and fresh transportation opportunity. With the increasing attention to the BSS, BSS operators started to collect the BSS datasets to better service their users and to make better investment decisions.

BSS operators collect the trip information of their users while they are using bikes. The trip information shows the usage characteristics of BSS of city residents. Also, BSS users are divided into two categories, i.e. Customers and Subscribers. Customers are one-pass users which do not have any contract with BSS operators. Contrarily, Subscribers are contracted users of BSS operators who regularly use bike rentals from BSS. By analyzing BSS datasets, many insights could be revealed, such as station usage characteristics, daily and hourly permanently visited stations, and station preference analysis among Customers and Subscribers.

In the literature many studies are performed for the analysis of BSS datasets for different application areas. Several studies are performed for repositioning of bikes for providing BSS users sufficient bikes at every station (Dell'Amico *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019). Some other studies focus on behavioral analysis of BSS datasets which tries to extract meaningful patterns from trip activities of users (Cheng *et al.*, 2018; Wei *et al.*, 2019). Another study area is urban pattern mining which tries to analyze BSS datasets in spatial and temporal aspects to reveal spatial and temporal urban patterns (Faghih-Imani *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2016). The studies related to this study falls under urban pattern mining category.

In the studies related to this study, Vogel *et al.* (2011) analyzed the use of bike activity patterns of BSS to solve imbalanced bikes problem using clustering algorithms. Faghih-Imani *et al.* (2014) investigated the effect of different input features on origin and destination station choices in bike station dataset. Faghih-Imani and Eluru (2015) examined the BSS datasets for destination choices using bicyclist attributes, trip attributes and destination attributes with Multinomial Logit Model. Jiménez *et al.* (2016) considered using data mining for discovering urban mobility patterns using different ratios for bike stations classification. Wergin and Buehler (2017) analyzed spatial information of bike sharing users and found that there are major differences between customers and members of BSSs. Hyland *et al.* (2018) proposed a hybrid approach for bike stations modelling to find preferences of bike station selection. Li and Zheng (2019) proposed a hierarchical consistency prediction model to predict citywide bike usage in the next period.

In this study, BSS big dataset is used for analyzing station preferences of Customers and Subscribers. The main hypothesis of this study is that Customers and Subscribers have different usage characteristics on origin and destination station preference because of these users have different motivations on using BSS. For analyzing station preferences of different user types, the dataset of Divvy Bikes BSS of Chicago, USA is used. For analyzing station preferences of user types, the dataset is divided into two splits, i.e. Customer dataset and Subscriber dataset. For each dataset, the bike stations and their visits are counted and sorted. Finally, top-10 preferred bike stations are extracted for each user type as preferred stations.

The rest of this study is organized as follows. Section 2 presents the BSS dataset that is used in this study and proposed station preference analysis method. Section 3 presents the experimental results of proposed method and the discussion of the results. Section 4 presents the conclusions and future studies.

## **2. Materials and Methods**

In this section, first the dataset, which is used in this study, and the preprocessing steps are introduced, and then the proposed station preference analysis method is presented.

### **2.1. The BSS Dataset**

In this study, Divvy Bikes BSS dataset is used as a dataset (Bikes, 2020). Divvy Bikes operates in Chicago, USA and has a vast amount of users and daily usage of bikes vary from few hundreds to tens of thousands. Divvy Bikes has 611 bike stations which are distributed among the city of Chicago.

The BSS dataset of Divvy bikes are stored as quarter-year files resulting four files for one-year period. In this study, one quarter dataset is used as data source which starts from 1 April 2019 to 30 June 2019. 1.108.165 bike trips from the BSS users are recorded within selected dataset. The distribution of the dataset among user types is presented in Fig. 1.

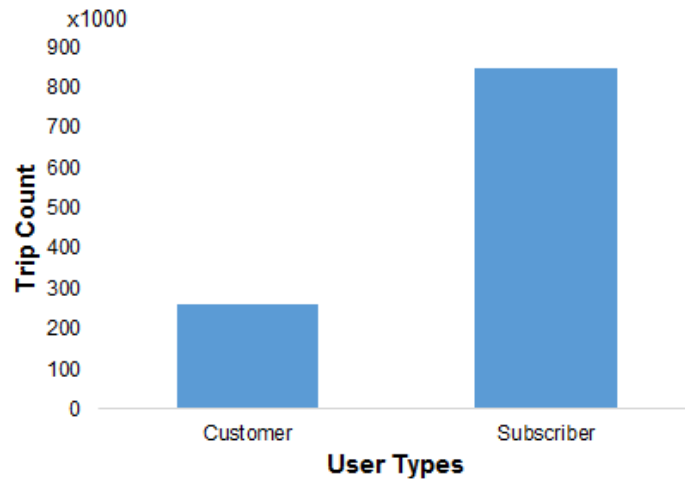


Fig. 1 Dataset distribution among user types

The dataset contains 12 columns that are about the bike trips of each individual record. In this study, user type, start station, and end station are used for analyzing station preferences of Subscribers and Customers.

As a preprocessing step, the quotes are removed from the dataset to obtain more viable dataset. Also, the trips that last more than 12 hours are excluded from the dataset because these trips do not indicate real bike usage of users.

### 2.2. Station Preference Analysis Method

In this study, the station preference analysis of different user types, i.e. Subscriber or Customer, is performed using a big dataset of BSS. At the first step, the dataset is read into the memory. Second, preprocessing steps are applied on the dataset. Third, the dataset is divided into two parts, such as Customer and Subscriber. Fourth, the mostly preferred stations are extracted by using occurrence count of each user type for each bike stations. Fifth, the stations are sorted with their preference counts. Finally, sixth most preferred 10 origin and destination bike stations are discovered for each user types. The method of this study is presented in Fig. 2.

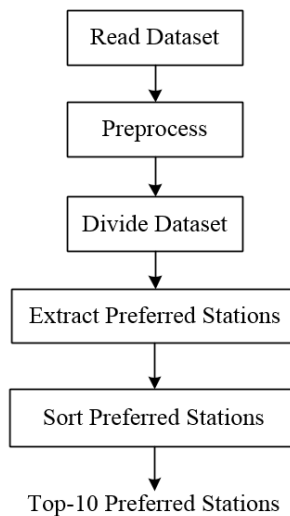


Fig. 2 Station preference analysis method

As can be seen in Fig. 2, the first three steps are used for preparing the dataset for analysis. The most important sections in Fig. 2 are fifth and sixth steps of Extract Preferred Stations and Sort Preferred Stations. In preferred station extraction, each record in the dataset is traversed and the user type and start station and end station are investigated. For each user type start station and occurrence in the start station are counted. Similarly, for each end station and the occurrence in the end station are counted. Finally, the stations are listed based on their occurrence counts. Then in sixth step, the bike stations are sorted using the stations and their occurrence counts. And finally, top-10 preferred origin and destination stations are displayed for both Customers and Subscribers.

### 3. Results and Discussion

In this section, the results of station preference analysis method are presented. First, the results of each user type are presented, and then discussion of the results of both user types are presented.

### 3.1. Results of Customer Users

Table 1 presents top-10 preferred origin and destination bike stations of Customer users with their proportion to the total number of records of Customer users. As can be seen in the table, origin and destination stations are same stations with little fluctuations in their preference order. Another important thing to note is the origin and destination proportion of the stations are different which means that the preference as origin or destination differ in Customer users.

Table 1. Customer origin/destination preferred stations with their proportions

Order	Origin	Prop.	Destination	Prop.
1	35	0.058	35	0.080
2	76	0.048	76	0.038
3	3	0.025	90	0.028
4	85	0.024	85	0.026
5	90	0.023	268	0.024
6	268	0.020	177	0.022
7	43	0.019	3	0.020
8	177	0.017	43	0.018
9	341	0.015	341	0.013
10	2	0.014	2	0.013

Fig. 3 presents origin and destination bike stations of Customer users which are shown in a map. As can be seen in the figure, Customer bike users prefer the bike stations that are near the shore which have a good sight.

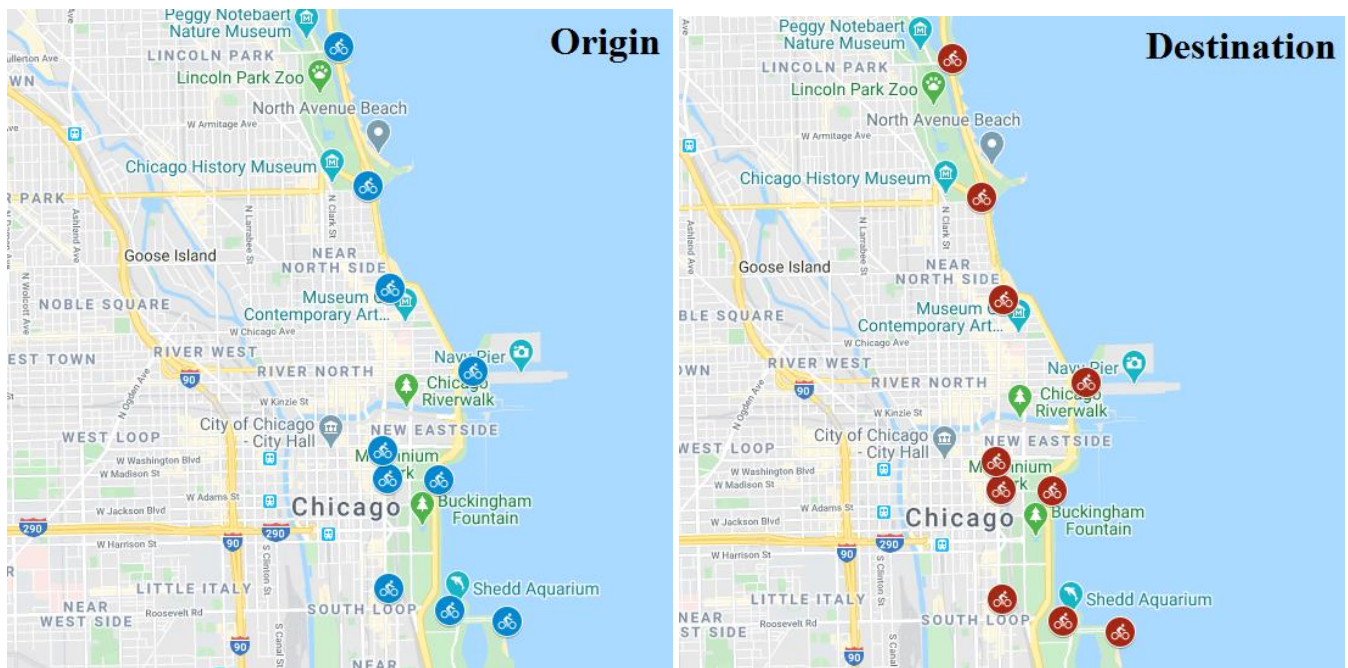


Fig. 3 Customer origin and destination bike stations

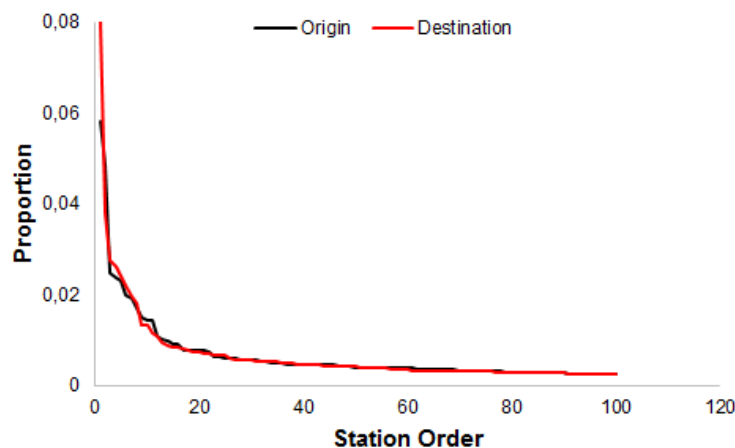


Fig. 4 Customer preference proportion of top-100 stations



Fig. 4 presents Customer preference proportion of top-100 stations. As can be seen in the figure, top-20 stations have the main proportion of the Customer users, which means that these stations are the mostly preferred stations for Customer users. Other stations do not have a significant preference for Customer users because these stations are not attractive.

The station preferences of Customer users show that these users choose bike sharing systems for enjoying, having a good time, and as a hobby, because these users prefer stations that have good sight and are remote from the central of the Chicago city.

### 3.2. Results of Subscriber Users

Table 2 presents top-10 preferred origin and destination bike stations of Subscriber users with their proportion to the total number of records of Subscriber users. As can be seen in the table, some origin stations are not present in destination stations and vice versa. This means that origin and destination station preferences of Subscriber users are more distributed among the bike stations, contrary to Customer users. Also, the proportions of the origin and destination stations are lower, which means that all bike stations have closer preference with respect to Customer users.

Table 2. Subscriber origin/destination preferred stations with their proportions

Order	Origin	Prop.	Destination	Prop.
1	192	0.016	91	0.016
2	91	0.015	192	0.015
3	77	0.015	77	0.015
4	195	0.011	81	0.010
5	287	0.011	133	0.010
6	81	0.011	43	0.009
7	174	0.010	174	0.009
8	133	0.009	287	0.009
9	43	0.008	176	0.008
10	100	0.007	66	0.007

Fig. 5 presents origin and destination bike stations of Subscriber users which are shown in a map. As can be seen in the figure, Subscriber bike users prefer the bike stations that are within the center of the city for shortening their urban transportation.

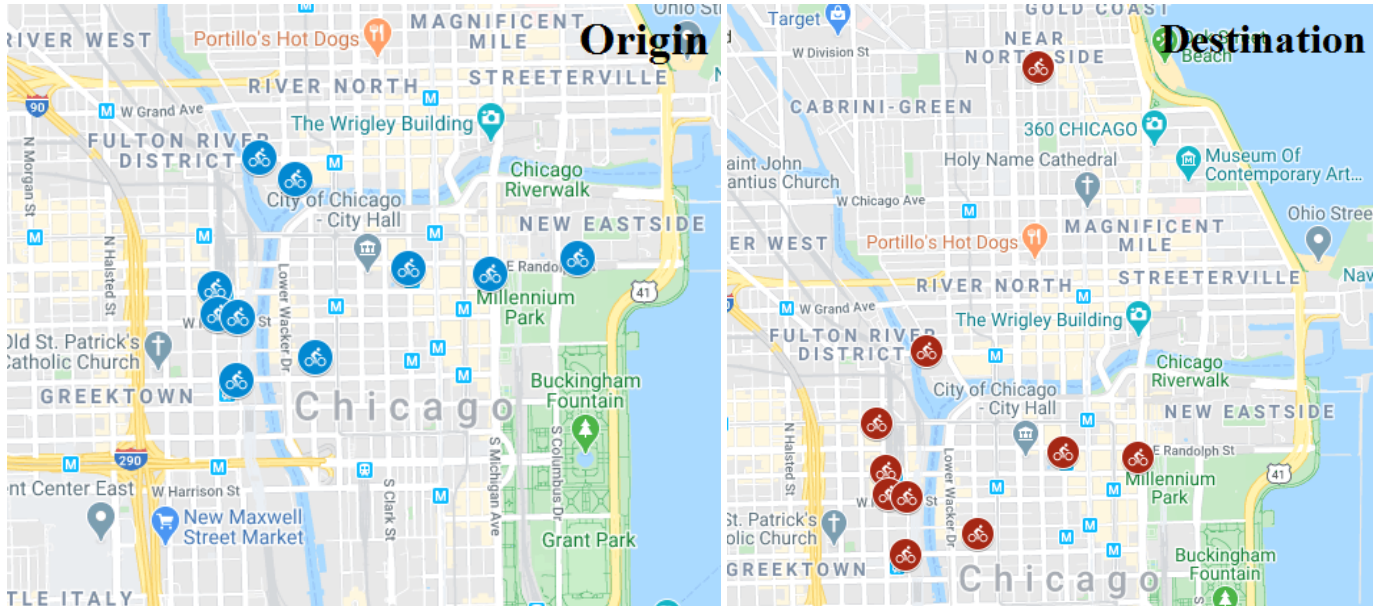
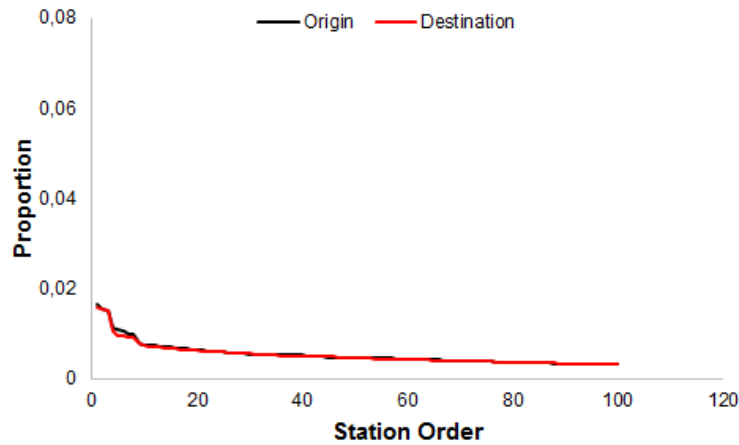


Fig. 5 Subscriber origin and destination bike stations

Fig. 6 presents Subscriber preference proportion of top-100 stations. As can be seen in the figure, both origin and destination station proportions are lower and the stations have closer and similar proportion, with the exception of top-5 or top-6 stations. The figure shows that Subscriber users prefer to use stations that are closer to their desired destination.



*Fig. 6 Subscriber preference proportion of top-100 stations*

The station preferences of Subscriber users show that Subscriber users primarily prefer bike sharing systems as a transportation tool. Also these users might prefer such systems for hobby or sports purposes, too.

### 3.3. Discussion

In this study, station preference analysis of Customer and Subscriber users of BSS are evaluated. The results show that station preferences and utilization change among Customer and Subscriber users. As can be seen in Tables 1 and 2, Customer and Subscriber users prefer different stations from each other, but the origin and destination station preference in each user type do not change dramatically. This result shows that Customer and Subscriber users prefer some of the bike stations for both origin and destination purposes. Also, as can be seen in Figures 3 and 5, Customer users primarily prefer BSS for hobby or sports purposes, and prefer shore bike stations which have good sight, while Subscriber users primarily prefer BSS for transportation, and prefer bike stations that are within city center to reach their desired destinations.

Also, the preference proportion of top-100 bike stations of Customers and Subscribers differ which can be seen in Figures 4 and 6. Customer users prefer little bike stations with a high proportion, while Subscriber users have more smooth preference among all bike stations. This result shows that Customer users prefer stations that are comfortable and have good sight, however, Subscriber users prefer stations that would ease their transportation.

### 4. Conclusion

In this study, station preferences of different BSS user types are analyzed. In particular, Customer and Subscriber users are evaluated whether they have different origin and destination bike station preferences. For this purpose, a method is proposed which analyzes each user type separately to extract top-10 preferred stations of user types. Experimental results show that Customer and Subscriber users have different preferences on using BSS. It's clear from the experimental results that Customer users prefer stations that are comfortable and have good sight, however, Subscriber users prefer stations that are within the center of the city and would ease their transportation.

For the future studies, the effects of hour and day information will be investigated on station preferences of BSS users which could have impact on station choices. Also, spatial and temporal analysis of station preferences of BSS users could be performed.

### References

Bikes, D. (2020) Divvy Bike Sharing Dataset. Available: <https://www.divvybikes.com/> Access Date: 01.02.2020.

Cheng, P., Hu, J., Yang, Z., Shu, Y., & Chen, J. (2018). Utilization-aware trip advisor in bike-sharing systems based on user behavior analysis. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 31(9), 1822-1835.

Dell'Amico, M., Iori, M., Novellani, S., & Subramanian, A. (2018). The bike sharing rebalancing problem with stochastic demands. *Transportation research part B: methodological*, 118, 362-380.

Eren, E., & Uz, V. E. (2019). A Review on Bike-Sharing: The Factors Affecting Bike-Sharing Demand. *Sustainable Cities and Society*, 101882.

Faghih-Imani, A., Eluru, N., El-Geneidy, A. M., Rabbat, M., & Haq, U. (2014). How land-use and urban form impact bicycle flows: evidence from the bicycle-sharing system (BIXI) in Montreal. *Journal of Transport Geography*, 41, 306-314.

Faghih-Imani, A., & Eluru, N. (2015). Analysing bicycle-sharing system user destination choice preferences: Chicago's Divvy system. *Journal of transport geography*, 44, 53-64.

Hyland, M., Hong, Z., de Farias Pinto, H. K. R., & Chen, Y. (2018). Hybrid cluster-regression approach to model bikeshare station usage. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 115, 71-89.

- Jiménez, P., Nogal, M., Caulfield, B., & Pilla, F. (2016). Perceptually important points of mobility patterns to characterise bike sharing systems: The Dublin case. *Journal of Transport Geography*, 54, 228-239.
- Li, Y., & Zheng, Y. (2019). Citywide bike usage prediction in a bike-sharing system. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*,
- Vogel, P., Greiser, T., & Mattfeld, D. C. (2011). Understanding bike-sharing systems using data mining: Exploring activity patterns. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 20, 514-523.
- Wei, X., Luo, S., & Nie, Y. M. (2019). Diffusion behavior in a docked bike-sharing system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 107, 510-524.
- Wergin, J., & Buehler, R. (2017). Where Do Bikeshare Bikes Actually Go?: Analysis of Capital Bikeshare Trips with GPS Data. *Transportation research record*, 2662(1), 12-21.
- Yang, Z., Chen, J., Hu, J., Shu, Y., & Cheng, P. (2019). Mobility modeling and data-driven closed-loop prediction in bike-sharing systems. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*.



# Çok Katlı ve Tam Otomatik Otoparklarda Depolama ve Geri İade Süreçlerinde D\* Lite Algoritması ile Yol Planlama\*

Hatice Demirci<sup>1†</sup>, Erhan Akın<sup>2</sup>, Müştak Ağrıklı<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0002-5018-5205)

<sup>2</sup> Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0001-6476-9255)

<sup>3</sup> Otomatik Otopark Sistemleri San. ve Tic. A.Ş., Türkiye, İstanbul, Türkiye (ORCID: 0000-0000-0000-0000)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf72)

**ATIF/REFERENCE:** Demirci, H., Akın, E., & Ağrıklı, M. (2020). Çok Katlı ve Tam Otomatik Otoparklarda Depolama ve Geri İade Süreçlerinde D\* Lite Algoritması ile Yol Planlama. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 598-603.

## Öz

Bu çalışmada, çok katlı tam otomatik otoparklarda depolama ve geri iade süreçlerinde en kısa yol probleminin çözümü için D\* Lite algoritması optimize edilerek zaman ve enerji maliyetinin minimize edilmesi amaçlanmıştır. Çok katlı tam otomatik otoparklarda park etme veya geri verme esnasında park hücrelerinin ve taşıma asansörlerinin durum ve konumunun sürekli değişmesi nedeniyle sabit bir harita üzerinden yol planlaması yapılamamaktadır. Çalışmada dinamik koşullara uygun olarak tasarlanmış sezgisel bir algoritma ile bu sorun aşılma çalışılacaktır. Çok katlı tam otomatik bir otoparkta ilgili katın asansör yükle/boşalt bölümündeki bir araç park edilmek üzere kendisi için belirlenmiş olan park yerine taşınırken veya araç geri verilmek üzere park bölgesinden bulunduğu katın asansör yükle/boşalt bölümüne taşınırken kullanılacak olan yol bulma algoritması olarak D\* Lite algoritması önerilmektedir. Park etme veya geri alma işlemi sırasında belirlenmiş olan en uygun rota, eş zamanlı olarak devam etmekte olan diğer işlemler nedeniyle engellerle karşılaşacağından bu engellerin kaldırılması için bu çalışmada A\* algoritması ile boş hücrelerin yer değişimi sağlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Tam otomatik otopark, En kısa yol problemi, Dinamik sezgisel algoritmalar, D\*Lite algoritması, Optimizasyon.

## Path Planning with D\* Lite Algorithm for Fully-automated and Multi-Story Parking

### Abstract

Abstract This study aims to minimize time and energy costs by optimizing the D\* Lite algorithm for the solution of the shortest path problem in storage and retrieval processes in multi-storey fully automatic parking structure. In a multi-storey fully automatic parking structure, parking can not be planned on a fixed map due to the constantly changing status and location of the parking cells and elevators storage or retrieval. This problem will be tried to overcome with a heuristic algorithm designed in accordance with dynamic conditions. In a multi-storey fully automatic parking, the D\* Lite algorithm is recommended for the pathfinding algorithm to be used when moving a vehicle to the parking space designated for it, or when moving the vehicle from the parking lot to the lift loading/unloading compartment of the floor where it is located to be returned. The most appropriate route determined during the parking or retrieval process may face obstacles due to other ongoing operations simultaneously. To remove these obstacles, in this study, empty cells are replaced by the A\* algorithm.

**Keywords:** Fully automatic parking, Shortest path problem, Dynamic heuristic algorithms, D\* Lite algorithm, Optimization.

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

† Sorumlu Yazar

## 1. Giriş

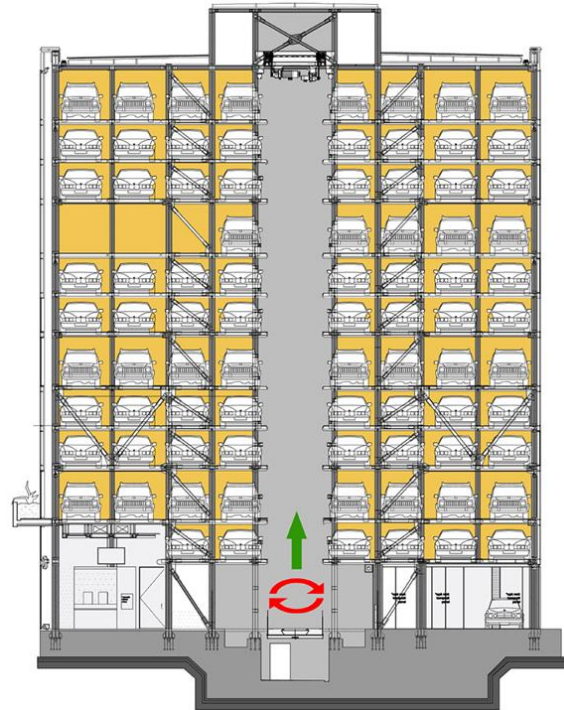
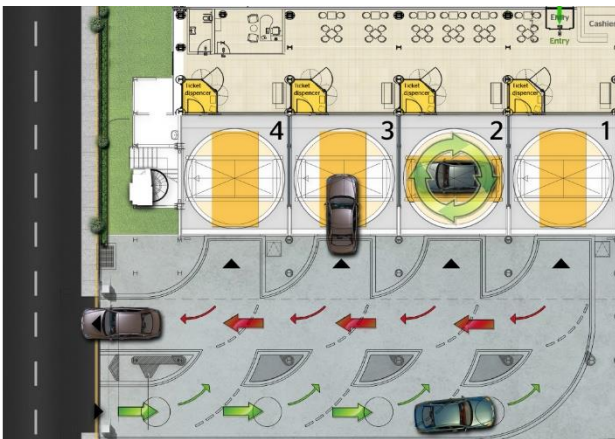
Nüfusun şehirlerde yoğunlaşması ve araç sahipliğinin artması beraberinde otopark sorununu getirmiştir. Otopark sorunlarını çözmek için Avrupa birliği ülkelerinin üyesi olduğu Avrupa Otopark Birliği (EPA 2020), ABD’de bulunan Uluslararası Otopark Enstitüsü (IPMI, 2020) ve farklı ülkelerdeki benzer organizasyonlarda otopark standartlarının geliştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde 22.02.2018 tarih ve 30340 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe yönetmelikle beraber otoparklarla ilgili düzenlemeler yenilenmiş, bunun yanı sıra mekanik otopark tanımı ve temel düzenlemeleri yapılmıştır. İlgili yönetmelikte mekanik otopark, “Taşıtları asansör görevi gören düzlemler ile düşey veya yatay olarak hareket ettirebilen, gerektiğinde insan eliyle de kontrol edilebilen, yer altı veya yer üstünde yapılan ve kesintisiz güç kaynağı ile beslenmesi zorunlu olan ilgili ulusal ve uluslararası standartlara uygun yapılan otopark sistemi” olarak tanımlanmıştır (Resmi Gazete, 2020).

Araç park yeri sorunundan sadece sürücüler değil yayalar, işleyen trafik, toplu taşıma, çevre kalitesi ve ekonomi doğrudan ya da dolaylı olarak etkilenmektedir. Otopark alanlarının yetersiz kaldığı durumlarda yeterli kontrol sağlanamadığında, yaya ve toplu taşıma için ayrılmış alanlar park amaçlı olarak işgal edilebilmektedir. Gerekli kontrollerin sağlanmadığı bu tür durumlarda özellikle merkezi bölgelerdeki ara sokakların tamamı park halindeki araçlarla ile dolabilmektedir. Ana caddelerde çift sıralı parkların artmasıyla yol kapasitesi azalmakta, park yeri arayan araçların arama süreleri artmakta ve bunların sonucunda hava kirliliği, trafik kazaları, gürültü, gereksiz yakıt harcamaları vs. artmaktadır. Sıralanan bu temel sorunların yanı sıra park yeri sorununa bağlı olarak ortaya çıkan çok sayıda dolaylı sorun bulunmaktadır.

İş merkezleri gibi şehir merkezlerindeki kısıtlı alanların kullanma ihtiyacından hareketle, çok katlı otoparklar inşa etmek belirli bir rahatlama sağlamaktadır. Bunun yanında çok katlı otoparkların kendi içinde de barındırdığı bazı problemler mevcuttur. Çok katlı otoparklarda, bilgilendirme işaretleri veya panoları sunulmadığı sürece, sürücü herhangi bir kattaki uygun olan park yerinin nerede olduğunu bilemeyebilmektedir. Uygun park yeri için bulunulan katta veya katlar arasında daire çizilmesi gerekebilir. Bu, arama durumu önemli miktarda zaman kaybı, yakıt tüketimi, kirlilik ve araç yıpranmasına neden olmaktadır (Yardım ve Ağrıklı, 2005).

Tam otomatik otoparklar, otoparklarla ilgili yaşanan olumsuzlukların mevcut en verimli çözümü durumundadır. Mekanik otopark çeşitleri ve mekanik olmayan otopark sistemleri incelendiğinde, ülkemiz şartlarında minimum alanlarda maksimum kapasiteye ihtiyaç duyulan şehir merkezi gibi alanlarda otomatik mekanik sistemlerin kullanılması önerilmektedir (Yardım ve Ağrıklı, 2005).

Tam otomatik otoparklarda rampa, araç manevra alanı, yaya merdiveni, yaya asansörü gibi alanlar araç sayısı için değerlendirilmiş olur. Aydınlatma, havalandırma, hafriyat, betonarme, elektrik ve mekanik alt yapı maliyetleri azaltılarak daha fazla araç alanı oluşturulmaktadır. Otomatik otopark sistemlerinde sürücüler otopark içerisine girmeyip araçlarını kabul odasına bırakırlar ve araçlar akıllı sistemler tarafından otomatik taşıyıcılarla boş park hücrelerine taşınırlar. Bu sistemler dünyada yaygınlaşmakla birlikte ülkemizde de başarılı örnekleri mevcuttur. Ülkemizdeki örnekler incelenerek İzmir Alsancak otopark uygulama örneği üzerinden yapılan analizlerde sistemin katma değer ve sosyal fayda sağladığı görülmüştür (Can ve Ilıcalı, 2019). Alsancak tam otomatik otoparkının çizimi Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. İzmir Alsancak Tam Otomatik Otoparkı a) Araç Teslim b) Dikey Kesit (Parkolay, 2020).



## 2. Materyal ve Metot

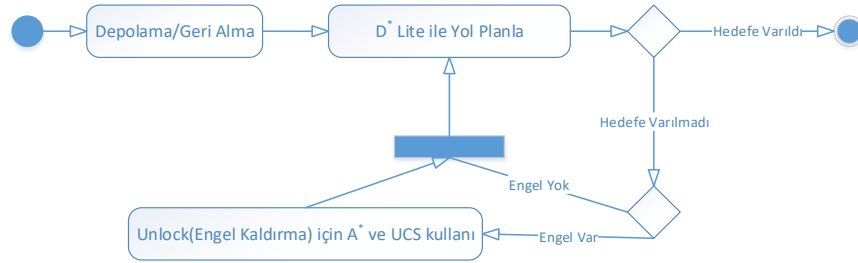
### 2.1. Yol Planlaması İçin Arama Algoritmaları

Çok katlı tam otomatik otoparklar, şehirlerde ciddi bir problem haline gelmiş olan otopark sorunu için verimli bir çözüm olmakla beraber kurulumu ve işletilmesi maliyetlidir. Otoparkın işletimi sırasında park işlemi için uygun hücresinin seçimi, aracın park hücresine götürülmesi ve geri verme işlemi sırasında izlenecek yol temel problemlerdendir. Aracın tam otomatik otopark içerisinde izleyeceği yolun optimize edilmesi zaman verimliliğini ve buna bağlı enerji sarfiyatını ayrıca bekleme sürelerinin düşürülerek buna bağlı müşteri memnuniyetinin artırılmasını doğrudan etkilemektedir. Park etme ve geri verme işlemi sırasında izlenecek yol optimize edilmediği takdirde araç için bekleme süresi uzayacak ve otoparkın kullanılabilirliği azalacaktır. Kullanılacak olan yol bulma algoritması, sistemin enerji ve zaman verimliliğini belirleyecek ana faktör durumundadır.

Ele alınan sorun, dinamik bir ortamda her biri farklı başlangıç ve hedef konumlarına sahip birden çok yolun eşzamanlı olarak planlanmasını gerektirmektedir. Bir aracın konumu, atanan park yerine veya asansöre doğru değiştirilirken, robotik taşıyıcılar yeniden konumlandırılır ve bunun sonucu olarak da hareket halindeki diğer arabaların yolu tıkanabilir veya engellenebilir. Bu nedenle, yol planlama algoritması sürekli olarak artımlı bir şekilde yeniden planlayabilmeli ve bunu yaparken orijinal planın büyük bir kısmını mümkün olduğu ölçüde koruyabilmelidir.

Bu çalışmada depolama/geri alma işlemlerinin farklı aşamalarında bir dizi farklı arama algoritması kullanılmıştır:

- Yol planlaması için D\* Lite algoritması,
- Yer değiştiren aracın yolundaki engellerin kaldırılması için UCS ve A\* algoritmaları.



Şekil 2. Dinamik yol planlaması için UML diyagramı

#### 2.1.1. D\* Lite Algoritması

D\* Lite, artımlı bir sezgisel arama algoritması olan LPA\* a dayanan Sven Koenig ve Maxim Likhachev tarafından geliştirilmiş artımlı bir sezgisel arama algoritmasıdır. D\* Lite arama algoritması, D\* arama algoritmasına dayanmaz ancak aynı davranışı uygular bunu yanında daha anlaşılabilir, kodlanması daha kolay ve ürettiği sonuçlar bakımından D\* ile aynı etkinliğe sahip bir algoritmadır (Koenig ve Likhachev, 2002).

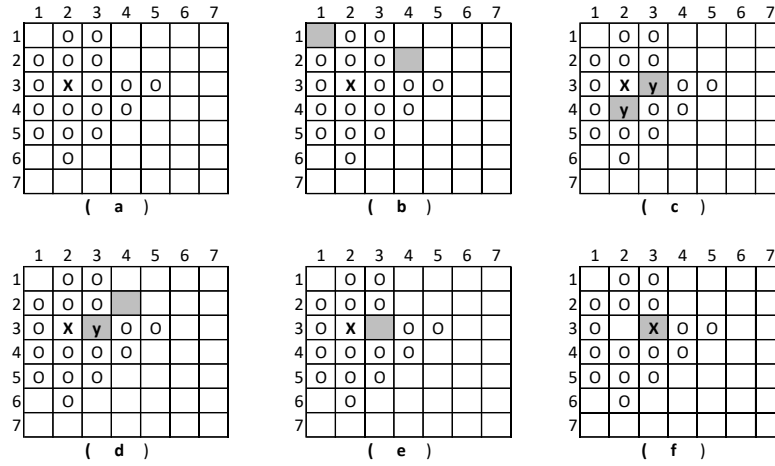
D\* Lite algoritması, ortamdaki her park yerinin g(s) değerini varış noktasına olan uzaklık olarak belirleyerek varış noktasına aracın ulaşabilmesi için yol planlaması yapmaktır. Araç bulunan en uygun yol üzerinde ilerlerken ortamda değişiklik fark ettiğinde ortamdaki park yerlerinin g(s) değerlerini güncelleyerek yeni bir yol hesaplamasında bulunur.

#### 2.1.2. UCS ve A\* Algoritması

Sezgisel hesaplamaları kullanan ilk arama algoritması A\* algoritmasıdır (Hart ve ark., 1968). A\* arama algoritması değişmeyen ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmiş olup ortamda herhangi bir değişiklik olduğunda algoritmanın yeniden en baştan çalıştırılması gerekmektedir. UCS (Verwer ve ark., 1989) (Uniform Cost Search/ Sabit Maliyet Araması) algoritması, graflarda ağırlıklı değerler üzerinde çalışan bir arama algoritmasıdır. Bu çalışmada ağırlık değeri için Manhattan uzaklığı kullanılmaktadır.

## 2.2. Yoldaki Engelin Kaldırılması

Bir araç taşınırken, park etme veya geri alma işlemleri sırasında park edilmiş diğer araçlarla çevrelenmesi olası bir durumdur. Böyle bir durumda, en yakın boş hücreyi tanımlanarak taşınan aracın yanına getirmek gerekmektedir. Bu işlem, taşınan aracın hedef noktasına doğru ilerlemesini kolaylaştıracak şekilde yapılmaktadır. Depolanan veya geri alınan aracın etrafının diğer park edilmiş araçlarla veya otopark sınırlarıyla çevrili olması durumunda bir bloke açma prosedürü uygulanmaktadır. Prosedürün ana fikri, şu anda aracın bulunduğu bloke olmuş hücrenin yanına boş bir hücre taşımak ve bloke edilen aracın dışarı çıkmasına yardımcı olmak için boş hücreyi kullanmaktır. Örnek bir geri verme işlemi sırasında park edildiği hücreden alınarak belirlenmiş olan asansöre taşınmakta olan bir aracın, yolundaki blokeyi kaldırma işlemi uygulanır. Yapılan tüm bu işlemlerin adımları sırasıyla Şekil 3'de gösterilmektedir.



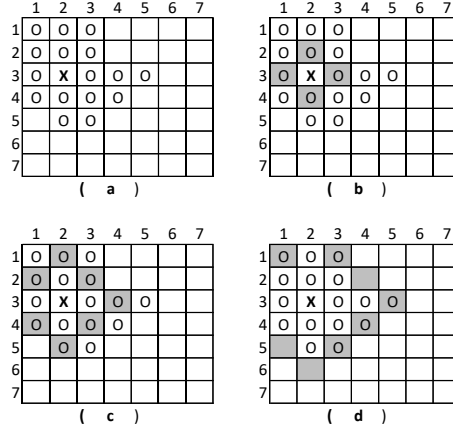
Şekil 3. Blokeyi kaldırma için işlem basamakları a) (3,2) konumunda hareket eden “x” hücresi, dolu durumdaki “o” hücreleri ile çevrilidir. b) hareketli “x” hücresine en yakın (1,1) ve (2,4) konumlarda iki boş hücre belirlenir. c) Hareketli “x” hücresinin yolundaki iki hedef hücre “y” belirlenir. d) (2,4) 'de en yakın boş hücre ve (3,3)'te hedef hücre tanımlanır. e) Boş hücre (3,3) 'e taşınır. f) Hareketli hücre (3,3)' e taşınır.

- **1. Adım:** UCS algoritması kullanılarak, taşınan aracın mevcut konumuna (3, 2) Manhattan uzaklığıyla ölçülen en yakın boş hücre bulunur. En yakındaki boş hücreler Şekil 3(b)'de gri renkle gösterilmektedir. Yer değiştirme için belirlenen boş hücreler hem taşınan araca hem de hedef asansöre en yakın konumda olmalıdır.
- **2. Adım:** Boş hücre için istenen yer değiştirme konumu belirlenir, bu konumlar Şekil 3(c)'de "y" ile işaretlenmiştir. İstenen yer değiştirme konumları sırasıyla; taşınan araca bitişik ve taşınan araçtan hedef asansöre doğru olan en kısa yol üzerinde olmalıdır. En kısa yol, boş hücrenin ya da taşınan aracın Manhattan uzaklığından birinden daha az olan bir yere taşınmasıyla oluşturulmaktadır.
- **3. Adım:** Hedeflenen yer hareketsiz/arızalı bir taşıyıcıya ait olması durumunda, hareketsiz hücrenin şu an bulunduğu yolla aynı Manhattan uzaklığıyla yeniden konumlandırılması için alternatif bir yol üzerinde yeni bir değiştirme hücresinin belirlenmesi gerekmektedir.
- **4. Adım:** Şekil 3(b)'de gösterildiği gibi bloke olan hücreye bitişik birden fazla yer değiştirme alanı olabilmektedir. Aynı şekilde Şekil 3(c)'de gösterildiği gibi bloke edilmiş hücreye aynı mesafede birden fazla boş hücre de mevcut olabilmektedir. Bu durumda, boş hücreden yeniden yerleştirme hedefine doğru, en küçük Manhattan uzaklığına sahip tüm kombinasyonlar arasından, birer tane boş hücre ve yer değiştirme hücresi seçilir. Şekil 3(d)'de görüldüğü gibi tanımlanan boş hücre konumu (2, 4) ve varış konumu (3, 3) olarak belirlenmiştir. Yer değiştirmenin varış konumu, araçtan hedef asansöre doğru Manhattan uzaklığıyla ölçülen en kısa yolda üzerinde olmalıdır.
- **5. Adım:** A\* algoritması kullanılarak boş hücrenin yolu Şekil 3(e)'de gösterildiği gibi bloke olan hücreye bitişik istenen konuma yönlendirilmektedir.
- **6. Adım:** (3,2) konumundaki bloke olan taşıyıcı (3, 3) konumundaki boş hücreye Şekil 3(f)'de gösterildiği gibi hareket ettirilmektedir.

### 2.3. Uygun Boş Hücrenin Belirlenmesi

Boş hücre belirleme fonksiyonunda, maliyet fonksiyon değeri olarak Manhattan uzaklığını kullanan UCS algoritması uygulanmaktadır.

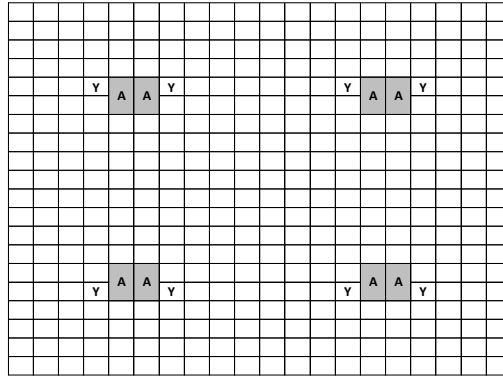
Şekil 4'te UCS algoritmasının nasıl uygulandığını gösterilmektedir. Şekil 4(a)'da, “x” ile işaretlenen hücre, taşınan aracın mevcut konumunu ve “o” ile işaretlenenler dolu hücreleri göstermektedir. UCS döngüsünün ilk yinelemesinde, vurgulanan hücreler ardıllar olarak üretilmekte ve bunlardan herhangi birinin boş olup olmadığı Şekil 4(b)'de gösterildiği gibi kontrol edilmektedir. İlk yinelemede boş hücre algılanmadığından döngü tekrarlanır ve arama işlemi yeniden yapılır. İkinci yinelemede Şekil 4(c)'de görüldüğü üzere boş hücre tespit edilemez. Döngünün üçüncü yinelemesinde 3(d)'de görülen (5, 1), (6, 2) ve (2, 4) konumlarında üç boş hücre tespit edilmektedir. Bu hücreler boş hücre listesine eklenir.



Şekil 4. UCS algoritmasının, engellenmiş bir taşıyıcının etrafındaki boş hücreleri aramak için nasıl kullanıldığını gösteren örnek. a) "x" hücresi, "o" engeli ile çevrilidir. b) UCS algoritması, işaretli hücreleri ilk yineleme sırasında Manhattan "1" uzaklığında araştırır. c) UCS algoritması, işaretli hücreleri ikinci yineleme sırasında Manhattan "2" uzaklığında araştırır. d) UCS algoritması, işaretli hücreleri üçüncü yineleme sırasında Manhattan "3" uzaklığında araştırır.

## 2.4. Otopark Düzeni

Park alanı, iki boyutlu ve ızgara tabanlı bir düzen olarak temsil edilmektedir. Bu ızgarada m sütun ve n satır bulunmaktadır. 20x20 düzenindeki bir otopark yapısı Şekil 5'te gösterilmektedir.



Şekil 5. 20 × 20 Otomatik otopark için park katının düzeni

Park noktaları üç farklı kategoride sınıflandırılır. Bunlar sırasıyla;

- **Asansörler(A):** Her bir asansör noktası iki bitişik hücreyi kaplamaktadır. Otoparktaki asansör sayısı alan sayısına bağlıdır. Her asansörün yaklaşık 50 park alanına hizmet verdiği varsayılmaktadır. Asansörler her zaman sabit engeller olarak kabul edilecektir. Bu durumda arabaları taşımak için kullanılan hareketli taşıyıcılar asansör hücresinden geçemeyecek veya asansör noktasında park edemeyecektir.
- **Yükleme/Boşaltma Alanları(Y):** Her asansörün yanında belirli bir yüklenme alanı bulunur ve her yüklenme alanı bir park hücresini kaplamaktadır. Yüklenme alanları bir arabanın depolanması işleminin başlangıç noktası ve geri alınma işleminin bitiş noktasıdır. Depolama işleminde, araç önce yüklenme alanlarından birinde görünecektir ki bu, aracın asansörden boşaltılmış olduğu anlamına gelir ve sonrasında hareket başlar. Alma işlemi sırasında, araç önce yüklenme alanlarından birine ulaşır ve daha sonra ilgili asansöre aktarılır. Bu alanlar da yolun bir parçası durumundadır, ancak park yeri olarak kullanılamaz.
- **Park Yerleri:** Otopark alanının geri kalanı park yerleri olarak belirlenmiştir. Park yerleri boş veya dolu olabilirler. Boş noktalardan birine araç park edildiğinde, taşıyıcıdaki bir arıza nedeniyle hareketsiz hale gelmediği sürece hareketli bir engel olarak kabul edilir. Bununla birlikte, belirlenmiş tüm park yerlerine araç park edilerek alanlar doldurulamaz. Hareketli taşıyıcıların geçiş yolu olarak hizmet etmesi için minimum sayıda nokta her zaman boş tutulmalıdır.

## 2.5. Simülasyon Çalışması

Otomatik park sistemi için önerilen algoritmaların performansını göstermek için Java'da multithreading (çoklu iş parçacıklı) bir simülasyon yazılımı geliştirilmiştir. Simülasyon çalışması, aşağıdaki gibi donanım yapılandırmasına sahip Windows™ OS tabanlı bir masaüstü bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Yazılımın geliştirildiği bilgisayarın ve geliştirici programın genel özellikleri sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- **İşlemci:** Intel(R) Core (TM) i-5 6400 CPU @ 2.70GHz 2.71GHz

- **Bellek:** 8 GB RAM
- **İşletim sistemi:** Microsoft Windows10.
- **Java sürümü:** SE (Standart Sürüm) 1.8.0-91

### 3. Araştırma Sonuçları ve Tartışma

#### 3.1. Simülasyon Sonuçları

Geliştirilen yazılımda otopark düzeni, 20x20 boyutunda, 4 asansör, 4 yükleme boşaltma alanı ve %13 boş hücre şeklinde modellenmiştir. Simülasyon, tasarlanan model üzerinde 10 defa çalıştırılarak elde edilen değerlerin ortalaması alınarak Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Tasarlanan modelin simülasyon sonuçları.

Her Bir Araç İçin Adım Sayısı		Arama Süresi (ns)		Çalışan Maksimum Thread Sayısı	
Ortalama	Optimum	Toplam	Ortalama	Teoride	Uygulamada
6.87	4.54	7550396343	9856914.286	26	19
6.62	4.49	3357762774	4321445.012	26	13
6.50	4.51	3109387996	4017297.152	26	16
6.69	4.56	1795506189	2250007.756	26	15
6.97	4.56	2483361657	3216789.711	26	13
6.58	4.57	6094211134	7873657.796	26	15
6.87	4.60	4381226321	5653195.253	26	17
6.47	4.53	1777947047	2300060.863	26	15
6.54	4.53	2194900486	2846822.939	26	14
7.31	4.54	167251011	223001.348	26	17
<b>6.74</b>	<b>4.54</b>	<b>3291195096</b>	<b>4255919.212</b>	<b>26</b>	<b>15.4</b>

#### 4. Sonuç

Bu makale, tam otomatik ve robotik otopark yapıları için entegre bir arama ve planlama algoritması paketinin tasarımını sunmaktadır. Önerilen tasarım, asansör aracılığıyla ilgili kata erişildiğinde, araçları park alanlarına taşımak için hareketli robotik taşıyıcıların kullanıldığı tam otomatik otoparklar için tasarlanmıştır. Önerilen tasarımın en önemli yönü, birden fazla eşzamanlı park etme ve geri alma talebinin gerçek zamanlı olarak sunulmasıdır. Bir sonraki adım olarak, sunulan çalışmanın birden fazla hikayeye sahip bir otopark yapısına genişletilmesini öngörmekteyiz. Ayrıca kullanılan arama algoritması paketleri optimize edilerek performansı arttırılmaya çalışılacaktır.

#### Kaynakça

EPA, 2020, European Parking Association, <https://www.europeanparking.eu>

IPMI, 2020, International Parking Institute, <http://www.parking.org>

Resmi Gazete, 2020, <https://www.resmigazete.gov.tr>

Yardım, M. S., & Ağriklı, M. (2005). Otomatik Otoparklar ve Türkiye'deki Otopark Probleminin Çözümü İçin Uygulama Potansiyeli. Makina mühendisleri odası (s. 363-371). İstanbul: Makina mühendisleri odası.

Can, M., & Ilıcalı, M. (2019). Türkiye'de ileri otopark sistemleri İzmir Alsancak otopark uygulama örneği ve öneriler sunulması.

Parkolay, 2020, Otomatik Otopark, <https://www.otomatik.com.tr>

Koenig, S., & Likhachev, M. (2002). Incremental a. In Advances in neural information processing systems (pp. 1539-1546).

Koenig, S., & Likhachev, M. (2002). D\* lite. Aaai/iaai, 15.

Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. IEEE transactions on Systems Science and Cybernetics, 4(2), 100-107.

Verwer, B. J. H., Verbeek, P. W., & Dekker, S. T. (1989). An efficient uniform cost algorithm applied to distance transforms. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 11(4), 425-429.



# Rekombinant ve Yabancıl Bakteriler ile Kromun Biyoremediasyonu\*

Şeyma Akkurt<sup>1†</sup>, Merve Oğuz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adıyaman (ORCID: 0000-0002-0135-1975)

<sup>2</sup> Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Kayseri (ORCID: 0000-0002-8388-1477)

(Konferans Tarihi: 5-7 Mart 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf73)

**ATIF/REFERENCE:** Akkurt, Ş. & Oğuz, M. (2020). Rekombinant ve Yabancıl Bakteriler ile Kromun Biyoremediasyonu. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Özel Sayı), 604-609.

## Öz

Günümüzde ağır metal kirliliği önemli çevre sorunlarından biri haline gelmiştir. Kadmiyum, kurşun ve krom gibi ağır metallerin düşük konsantrasyonları canlılar için toksiktir. Krom (Cr), dünyadaki en toksik ağır metallerden biridir ve endüstriyel olarak salınan yaygın bir çevresel kirleticilerdendir. Cr metal iyonu; biyolojik olarak parçalanmayan ve doğada biriken bir ağır metaldir. Krom, biyolojik olarak gerekli değildir ve alıcı ortamlara (su ve toprak gibi) yapılan deşarjlar sonucunda besin zinciri boyunca birikerek insanlara kadar aktarılır. Kromun ana kaynakları; tabakhaneler, elektrokaplama, madencilik, tekstil, metal işleme, gübre, boyalar ve pigment imalat sanayi gibi çeşitli endüstrilerdir. İnsan sağlığı ve su ekosistemleri üzerinde olumsuz etkileri olan krom metal iyonları, farklı arıtma teknolojileri ile su ve atık sudan uzaklaştırılmalıdır.

Krom gideriminin de yaygın kullanılan metotlar; ters osmoz, elektrokimyasal prosesler, iyon değişimi, aktif karbona adsorpsiyon ve katılaştırma/stabilizasyondur. Bu yöntemlerin pahalı olmaları, yan ürün oluşumu ve çevre dostu olmamaları gibi bazı dezavantajları vardır. Biyoremediasyon prosesleri ise tüm bu sorunlara bir çözüm getirmiş ve çevre, ekonomi ve enerji açısından fayda sağlamıştır.

Bakterilerin ağır metallere karşı geliştirdikleri direnç mekanizmaları sayesinde, ağır metallerin yüksek derişimlerinin olduğu ortamlarda hayatta kalırlar. Bakterilerin krom metal iyonunu bağlama kapasitelerini artırmak için biyoremediasyon umut verici bir prodestir. Yabancıl bakterilere, metalotiyonein, poli-histidinler veya poli-sisteinler gibi peptidler eksprese edilerek metal bağlama kapasitesini artırılmaktadır. Bu derlemede; hücre içine metal girişinin engellenmesi, metalin proteinlere bağlanarak hücre içinde tutulması, metallerin hücrenin dışında tutulması, enzimlerle metalin daha az toksik forma dönüştürülmesi gibi direnç mekanizmalarına yer verilmiştir.

Bu çalışmada, bazı yabancıl ve rekombinant bakteri türlerinin krom metal iyonunu giderimleri araştırılmıştır. Bu derlemenin amacı kromu etkili bir şekilde bağlayan bakterileri ve proteinleri özetlemektir.

**Anahtar Kelimeler:** Ağır metal, biyoremediasyon, krom.

## Bioremediation of Chromium with Recombinant and Wild Bacteria

### Abstract

Today, heavy metal pollution has become one of the most important environmental problems. Low concentrations of heavy metals such as cadmium, lead and chromium are toxic to living things. Chromium (Cr) is one of the most toxic heavy metals in the world and is a common industrially released environmental pollutant. Chromium is a heavy metal that is non-biodegradable and accumulated in nature. For this reason, it is very important to treat chromium metal ion by making it suitable for discharge limits. Chromium is not

\* Bu makale *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)* de sunulmuştur.

† Sorumlu Yazar



biyolojik olarak gerekli ve biriktirir. Besin zinciri ile insanlara kadar aktarılmaktadır. Bu birikim sonucunda canlı sistemlerde olumsuz etkilere neden olmaktadır. Bitkilerde düşük büyüme oranlarına, insanlarda kansere ve ölüme kadar önemli sağlık problemlerine neden olmaktadır (Fernandez ve ark., 2018). Krom genellikle; elektrokaplama, ahşap koruma, deri, madencilik endüstrileri ve diğer endüstriyel faaliyetler gibi çeşitli kirletici kaynaklardan toprağa ve suya deşarj edilmektedir (Tekerekopoulou ve ark., 2013).

Kromatın, suda kolay bir şekilde çözündüğü hem prokaryotlar hem de ökaryotlar için toksik olduğu bilinmektedir (Parker ve ark., 2011). Bu nedenle su ve topraktaki krom konsantrasyonu oldukça önemlidir. Bu ağır metal birçok ülkede ve Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından öncelikli kirleticiler listesine alınmıştır. USEPA'ya göre, yüzey suyu içerisindeki toplam Cr için izin verilen maksimum tolerans sınırı 0.5 mg/L'dir [Tekerekopoulou ve ark., 2013, Baral ve Engelken, 2002]. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından içme suyunda izin verilen toplam krom sınır değeri ise 0.05 mg/L olarak belirlenmiştir (Kumar ve Dwivedi, 2019).

Bu yüzden kromun çevreye zarar vermeyen etkili arıtma yöntemleri ile arıtılması gereklidir (Witek-Krowiak, 2013). Krom içeren atıksuların arıtımında; adsorbsiyon, ters ozmoz, iyon değişimi, kimyasal çökeltme, membran teknolojileri, elektrokimyasal prosesler gibi fizikokimyasal yöntemler bulunmakla birlikte gerek arıtım süreçlerinin zorluklar içermesi arıtma veriminin düşük olması, zararlı atık ürün oluşumu, proseslerin komplike olması ve pahalı olmaları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda çok fazla kullanılmamaktadır (Wong ve Kwok, 1992).

**Keywords:** Heavy metal, bioremediation, chromium.

## 1. Giriş

Kromun endüstriyel atıksulardan giderimi için ekonomik, çevre dostu, ucuz, güvenli ve etkili arıtma teknolojileri kullanılmalıdır (Fernandez ve ark., 2018). Biyoremediasyon istenilen bu özelliklerin tamamını taşımaktadır. Proseste, doğada bulunan mikroorganizmalar kullanılarak kirletici maddeler biyolojik olarak parçalanır ve çevreye zarar vermeyecek formlara dönüştürülür (Çınar Acar, 2018). Alt başlıklarda konu ile ilgili detaylı bilgi verilecektir.

Doğada, Cr'nin birkaç farklı formu vardır ancak kararlı formları altı değerli Cr (VI) ve üç değerli Cr (III) türleridir (Su ve ark., 2018). Kromun oksijen ile reaksiyonu sonunda kromat ( $CrO_4^{2-}$ ) veya dikromat ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) iyonu şekline dönüşerek doğada bu şekilde bulunur. Kromat (Cr(VI)) ortamdaki organik madde ile reaksiyona girerek Cr (III)'e indirgenmesi sonucunda daha az toksik hale gelir (Kahvecioglu ve ark., 2003).

Cr (VI) canlı hücreler için esansiyel olmayan bir metaldir ve Cr (III)'e göre canlılar için 100 kat daha toksiktir. Bu nedenle kromun indirgenerek çevre için daha az zararlı forma dönüştürülmesinde veya tamamen giderilmesinde biyoremediasyonun rolü oldukça önemlidir (Su ve ark., 2018).

Cr (VI) canlı hücreler için esansiyel olmayan bir metaldir ve Cr (III)'e göre canlılar için 100 kat daha toksiktir. Bu nedenle kromun indirgenerek çevre için daha az zararlı forma dönüştürülmesinde veya tamamen giderilmesinde biyoremediasyonun rolü oldukça önemlidir (Su ve ark., 2018).

## 2. Kromun Özellikleri

Krom; arsenik, civa, kurşun, kadmiyum, nikel, demir, bakır, çinko gibi ağır metaller canlıların hayatını olumsuz yönde etkileyen ve çevreye zarar veren birçok alanda yaygın olarak kullanılan kirleticilerdir (Taran ve ark., 2015).

Krom, dünyada yaygın olarak bulunan yedinci element olup, atom numarası 24, atomik ağırlığı 51,996 gr/mol olan toksik bir elementtir (Evgen, 2012). Krom; kayalarda, mineral topraklarında ve tatlı suda yaygın olarak bulunan bir jeokimyasal elementtir (Fernandez ve ark., 2018).

Doğada, Cr'nin birkaç farklı formu vardır ancak kararlı formları altı değerli Cr (VI) ve üç değerli Cr (III) türleridir (Su ve ark., 2018). Kromun oksijen ile reaksiyonu sonunda kromat ( $CrO_4^{2-}$ ) veya dikromat ( $Cr_2O_7^{2-}$ ) iyonu şekline dönüşerek doğada bu şekilde bulunur. Kromat (Cr(VI)) ortamdaki organik madde ile reaksiyona girerek Cr (III)'e indirgenmesi sonucunda daha az toksik hale gelir (Kahvecioglu ve ark., 2003).

Cr (VI) canlı hücreler için esansiyel olmayan bir metaldir ve Cr (III)'e göre canlılar için 100 kat daha toksiktir. Bu nedenle kromun indirgenerek çevre için daha az zararlı forma dönüştürülmesinde veya tamamen giderilmesinde biyoremediasyonun rolü oldukça önemlidir (Su ve ark., 2018).

## 3. Biyoremediasyon Prosesi

Biyolojik arıtımda mikroorganizmaların kullanılması arıtımın daha etkili ve randımanlı yapılmasını sağlamaktadır. Ancak mikroorganizmaların ağır metalleri giderimi iki aşamadan oluşmaktadır. Biyolojik olarak ağır metallerin gideriminde, ilk olarak mikroorganizmaların hücre duvarında ağır metaller adsorbe edilmektedir. Bu olay hızlı bir şekilde gerçekleşir. Hücre yüzeyinde

tutulma; polisakkaritler, proteinler ve lipidler gibi hücre duvarı bileşenlerinde bulunan fonksiyonel gruplar tarafından gerçekleştirilmektedir. Fonksiyonel gruplar metalleri bağlamada farklı affinitelere sahip olan amino, karboksilik, sülfidril, fosfat ve thiol gruplarıdır. Bazı mikroorganizmaların hücre yüzeyinde polifosfatlara benzeyen moleküller ile metallerle kompleks oluştururlar (Ting ve ark., 1991; Volesky ve Holan, 1993).

Metallerin hücre yüzeyinde pasif olarak tutulmasına biyosorpsiyon denir (Shumate ve Strandberg, 1985). Biyosorpsiyon hem canlı hem de ölü biyokütlelerde gerçekleşmektedir (Şencan, 2006). İkinci aşamada ise ağır metallerin hücre içine alımı oldukça yavaştır ve hücre membranının transport özelliğine bağlı olarak sitoplazmaya geçmektedir. Metaller sitoplazmada mikradepozitler şeklinde çözünmez formda tutulmaktadır (Volesky ve Holan, 1993).

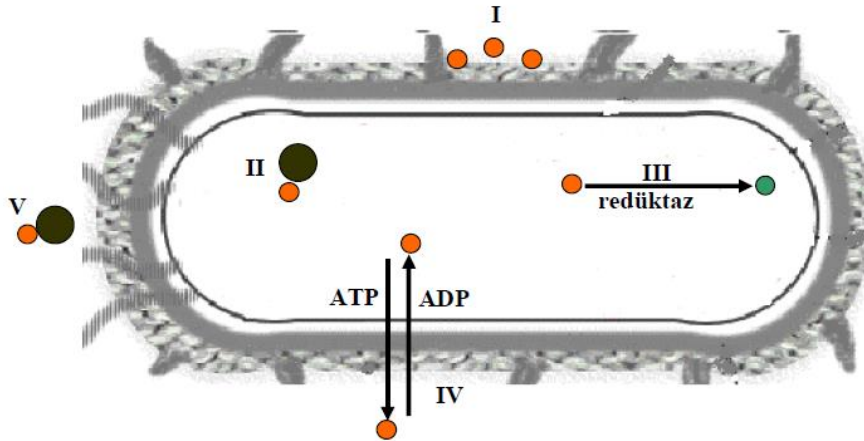
Metallerin hücre içinde birikimi, mikroorganizmalar canlı oldukları zaman gerçekleşmektedir. Canlı hücreler ağır metalleri hücre içinde ve hücre dışında biriktirme özelliğine sahiptir. Bu olay biyoakümülyasyon olarak adlandırılır. Biyoakümülyasyon prosesinde metallerin aktif ve pasif olarak tutulur (Shumate ve Strandberg, 1985).

Ayrıca biyoremediasyon prosesi, mikroorganizmaların ağır metalleri hücre içine alarak zararlı etkilerinin azaltılıp daha az zararlı hale dönüştürülmesi olarak adlandırılmaktadır ((Witek-Krowiak, 2013; Çınar Acar, 2018).

Biyoremediasyon, metallere karşı dirençli ve metalleri gideren mikroorganizmaların kirliliğin olduğu çevreye salınmasıyla yapılabilir. Eğer biyoremediasyon prosesinde kullanılacak mikroorganizma, artılmak istenilen metal üzerinde etkili değilse, doğaya salındıktan sonra metal hızlı bir şekilde populasyonu öldürecektir. Sonuç olarak etkili bir artırım yapılmamış olacaktır. Bu durumun önüne geçebilmek için asit ile muamele edilmiş, yüksek dirence sahip ve giderim kapasitesi yüksek mikroorganizmaların kullanılması ile sağlanabilir (Ergül Ülger, 2016).

Mikroorganizmalar ağır metallere karşı geliştirdikleri direnç mekanizmaları sayesinde, ağır metallerin yüksek derişimlerinin olduğu ortamlarda hayatta kalırlar. Bakterilerin geliştirdikleri bu mekanizmalar aşağıda sıralanmıştır (Koçberber Kılıç, 2008).

- I. Hücre içine alınmama
- II. Metalin proteinlere bağlanması ile hücre içinde tutulması
- III. Metalin daha az toksik forma dönüştürülmesi
- IV. Metalin mikroorganizmadan aktif olarak tasınması
- V. Metalin hücre dışında tutulması



Şekil 1. Mikroorganizmalarda bulunan metal direnç sistemlerinin sematik gösterimi

#### • Hücre İçine Metal Girişinin Engellenmesi:

Metalin, hücre zarından içeri girmesi mikroorganizmaların hücre duvarında, hücre zarında veya dış zar proteinlerinde bazı değişiklikler olması ile engellenir. Aslında burda amaç esansiyel hücre bileşenlerinin korunmasıdır. Ekstrasellüler polisakkaritler metal iyonlarını biyolojik olarak bağlar ve hücrenin korunması sağlanır (Koçberber Kılıç, 2008).

*E. coli*'deki zar kanal proteini porini değiştirerek Cu(II)'nin içeri alınmaması bu mekanizmaya örnek verilebilir. Bu durum, mutasyon sayesinde metal iyonlarına karşı zarın geçirgenliğinin azaltılması olup tek gen mutasyonu ile açıklanmaktadır (Bruins ve ark., 2000).

#### • Metalin proteinlere bağlanarak hücre içinde tutulması:

Bu mekanizmada ise ağır metallerin hücre içinde vakuollerde veya sitoplazmada biriktirilerek hücre metabolizmasını ve hücre bileşenlerini etkilemesi engellenmektedir (Koçberber Kılıç, 2008; Bruins ve ark., 2000).

- **Metalin proteinlere bağlanarak hücre içinde tutulması:**

Bu mekanizmaya *Synechococcus sp.*'deki metallotiyonein ve *Pseudomonas sp.*'nin sisteyince zengin proteinlere bağlanması örnek olarak verilebilir (Koçberber Kılıç, 2008).

- **Metallerin mikroorganizmadan aktif olarak uzaklaştırılması:**

Mikroorganizmalar metalleri sitoplazmalarının dışına aktif taşıma ile pompalayarak atarlar. Bu mekanizma ATP'ye bağımlı ya da ATP'den bağımsız olarak gerçekleşebilir. Etkili olan genler plazmid kökenli veya kromozom kökenlidir.

Bu direnç sistemine örnek olarak; *Bacillus sp.*'de civa direnci ve arseniğin P tipi ATPazlarla dışarı pompalanması, *E.coli*'de arseniği dışarı pompalayan kromozom üzerinde bulunan genler bu direnç sistemlerine örnek oluşturmaktadır (Silver, 1996; Rosen, 2002).

- **Hücrenin dışında metallerin tutulması:**

Bu mekanizma, bakterilerde, mayalarda ve funguslarda görülmüştür. Bu mekanizma, *Saccharomyces cerevisiae* yüksek miktarda glutatyon salgılamış ve Ni(II)'in bu komplekse bağlanarak hücreye girmesi engellenmiştir (Ergül Ülger, 2016; Koçberber Kılıç, 2008).

- **Enzimlerle metalin daha az toksik forma dönüştürülmesi:**

Bu mekanizma gram negatif ve gram pozitiflerde bakterilerde olup enzimatik olarak veya hücre içinde dönüştürülür. Daha önce yapılmış olan çalışmalarda ( $AsO_4$ )<sup>-3</sup>, Hg(II) ve Cu(II) gibi metaller daha az toksik forma dönüştürülmüştür (Koçberber Kılıç, 2008).

Ayrıca birçok mikroorganizma ağır metallerin olduğu ortamlarda kendini korumak için metal bağlayıcı proteinler sentezlediği yapılmış çalışmalarda görülmüştür. Hatta artan metal konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak metal bağlayıcı protein sentezinin de arttığı da görülmüştür (Gadd, 1990; Han, 1992).

#### 4. Bakteriler İle Cr(VI) Birikimi ve Biyogiderim Çalışmaları

Birçok mikroorganizmanın yüksek oranda çözünür ve toksik Cr (VI)'yı daha az çözünür ve daha az toksik Cr (III)'e indirgenmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin; *Acinetobacter* ve *Ochrobactrum* (Francisco ve ark., 2002), *Arthrobacter* (Megharaj ve ark., 2003), *Pseudomonas sp.* (Rajkumar ve ark., 2005), *Serratia marcescens* (Campos ve ark., 2005), *Ochrobactrum sp.* (Thacker ve Madamwar, 2005), *Bacillus sp.* (Elangovan ve diğerleri, 2006), *Desulfobivrio vulgaris* (Goulhen ve diğerleri, 2006), *Cellulomonas spp.* (Viamajala ve ark., 2007) bu çalışmalardan bazılarıdır. Yapılan çalışmalar aşağıda detaylı olarak verilmiştir.

Velasquez ve Dussan (2009) tarafından yapılan çalışmada, civa, bakır, demir ve krom elementlerine karşı Kolombiya'da elde edilen farklı *Bacillus sphaericus* suşlarının toleranslarını ve biyogiderimlerini araştırmışlardır. Suşun krom elementinin gideriminde canlı hücrede % 25 oranında etkili iken ölü hücrede % 44,5'lik oranda etkili olduğunu bildirmişlerdir (Velasquez ve Dussan, 2009).

Başka bir çalışmada, bir atıksu arıtma tesisinin atıksuyundan izole edilen suşların Cr (VI) gideriminde olan etkinliği araştırılmıştır. İzole edilen suşlar arasında *Bacillus circulans* ve *Bacillus megaterium* olduğu tespit edilmiş ve bakterilerin kuru ağırlıkları; 34,5 mg Cr/g ve 32 mg Cr/g olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışmada krom gideriminde ölü hücrelerin canlı hücrelere göre daha etkili olduğu saptanmıştır (Srinath ve ark., 2002).

Bir diğer çalışmada ise, deri sanayi atıklarından bir *Bacillus* suşunun krom giderme yeteneği araştırılmıştır. İzole edilen bakterinin, 800 ppm Cr (VI)'ya kadar dirençli olduğu ve 72 saat içerisinde % 41,8 kromu giderdiği ileri sürülmüştür (Singh ve Malaviya, 2015).

Sathishkumar ve arkadaşlarının (2017) yapmış olduğu çalışmada *Pseudomonas stutzeri* L1 ve *Acinetobacter baumannii* L2 suşlarının Cr(VI) giderme kabiliyetleri incelenmiştir. Çalışmada farklı pH, sıcaklık ve başlangıç Cr (VI) dozunun gibi parametrelerin Cr(VI) indirgenmesi üzerine etkisi araştırılmıştır. 100 mg/L Cr(VI)'u 24 saatlik inkübasyonun sonunda, *P. stutzeri* L1 suşunun % 97 ve *A. baumannii* L2 suşunun % 99 oranlarında indirgediği sonucuna varılmıştır (Sathishkumar ve ark., 2017).

Robins ve arkadaşları (2013) tarafından yapılan çalışmada, polihidroksialkanoat granülleri üzerinde hareketsizleştirilmiş stabil ve aktif bir kromat redüktazına dayanan bir sistem geliştirmek için *R. eutropha*'dan alınan nemA ve polihidroksialkanoat sentaz genleri *E. coli*'ye füzyonlanmıştır. Böylece, yabani türe göre 200 kat daha fazla kromat indirgeyen ChrR6 adı verilen bir mutant enzimi aşırı eksprese edilen bir mikroorganizma elde edilmiştir (Robins ve ark., 2013).

Ackerley vd. (2004) tarafından yapılan bir çalışmada *Pseudomonas putida* bakterisinden ChrR ve *E. coli* bakterisinden YieF proteinlerinin kromat redüktaz aktivitesine sahip olup olmadıkları araştırılmış ve sonuç olarak bu iki genin kromun indirgenmesinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır (Ergül Ülger, 2016). Genetik mühendisliği uygulamaları kullanılarak rekombinant mikroorganizmalarla bazı çalışmalarda yapılmıştır.

Özbeç ve Asma (2019) tarafından yapılan çalışmada Cr'un yabani *Deinococcus radiodurans* ile *Vitreoscilla* hemogloblin (vgb) geni klonlanmış rekombinantının üremesi üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Kullanılan Cr dozları; 250 ppm, 500 ppm, 1000 ppm, 1500 ppm ve 2000 ppm dir. Rekombinant suşun 1500 ppm'lik Cr uygulanmış vgb geni sayesinde üremeye devam ettiği görülmüştür (Özbeç ve Asma, 2019).

Kılıç ve Dönmez (2008) tarafından yapılan çalışmada, *Pseudomonas aeruginosa*, *Micrococcus sp.* ve *Ochrobactrum sp.* Mikroorganizmalarının değişen pH, sıcaklık, Cr (VI) konsantrasyonu ve inkübasyon sürelerindeki hücre dışı polisakkarid üretimlerindeki değişim araştırılmıştır. Mikroorganizmalar arasında *Pseudomonas aeruginosa* suşunda en yüksek polisakkarid üretimi olduğu saptanmıştır.

Zahoor ve Rehman (2009)'ın yaptıkları çalışmada, *Bacillus sp.* JDM-2-1 ve *Staphylococcus capitis* suşlarının heksavalent Cr (VI)'yı daha az toksik formu olan Cr (III)'e indirgeyebilme kapasiteleri incelenmiştir. Bakterilerin Cr (VI)'ya dayanma kapasiteleri sırasıyla; *Bacillus sp.* JDM-2-1'in 4800 µg/mL'ye ve *S. capitis*'in 2800 µg/mL olduğunu göstermiştir.

Polti ve arkadaşları tarafından (2010) daha önce yapılan çalışmalarında *Streptomyces sp.* MC1'in sentetik ortamda ve toprak örneklerinde bulunan Cr (VI)'yı daha az toksik formu olan Cr (III)'e indirgeyebildiğini bildirmişlerdir. Bu çalışmada ise optimal pH, sıcaklık, büyüme evresi ve elektron kaynaklarının Cr (VI)'nın in vitro koşullarda indirgenmesi üzerine çalışmışlardır. Cr(VI) indirgenmesinde optimum şartlarının 30 °C ve pH 7'de kromat reduktaz enzimi ile yapıldığını ifade etmişlerdir.

Caravelli ve arkadaşları tarafından (2008) aktif çamur arıtma sistemlerinde bulunan *Sphaerotilus natans* bakterisinin Cr (VI)'yı indirgeyebilme kapasitesi incelenmiştir. Bakterinin aerobik şartlarda 80 mg/L'ye kadar Cr (VI) ve Cr (III)'ü yüksek verimde indirgediği saptanmıştır.

Bu ve buna benzer teknikler geliştirmek için araştırmalara devam edilmelidir. Kromun etkili bir şekilde giderimi için bu çalışmalar umut vaat etmektedir.

## 5. Sonuç

Metallerin biyolojik prosesler ile giderimi ve geri kazanımı, kullanılan geleneksel fizikokimyasal arıtım yöntemlerine önemli bir alternatiftir. Özellikle kirlenmiş ortamlardan izole edilen bakteri türleri krom ve diğer ağır metallerle karşı geliştirdikleri doğal direnç mekanizmaları sayesinde yüksek metal konsantrasyonlarına dayanabilmektedir. Bakterilerin krom bağlama kapasitelerini arttırmak için etkili olduğu düşünülen genler plazmidler aracılığıyla istenilen hücreye aktararak rekombinant türler geliştirilmektedir.

Rekombinant DNA teknolojisi kullanılarak istenilen bir gen bakterilere aktararak bir bakteri türü ile aynı anda birden fazla metal giderilebilir. Bunun için daha fazla çalışmalar yapılmalı, yeni genler ve bakteriler araştırılmalıdır. Bu şekilde ağır metallerin giderimi ya da geri kazanımı daha etkili bir şekilde yapılabilir. Pilot ölçekli çalışmalarda gen ve bakterilerin etkinliği tespit edilerek, endüstriyel atıksuların arıtımında kullanımı yaygın hale getirilebilir. Endüstriyel atıksulardan metal arıtımında kullanılacak reaktörler bu bakterilerin doğaya salınmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Çünkü rekombinant bakteriler doğaya salındığında ortamı istila ederek diğer canlıları yok olmasına yol açabilirler. Ağır metallerin giderimi üzerinde rekombinant bakteriler ile daha fazla çalışmalar yapılarak büyük ölçekte kullanımı yaygın hale getirilebilir.

## Kaynakça

- Fernandez, P.M., Vinarta, S.C., Bernal, A.R., Cruz, E. L., Figueroa, L.I.C. (2018). Bioremediation strategies for chromium removal: Current research, scale-up approach and future perspectives. *Chemosphere*, Vol. 208, 139-148.
- Tekerlekopoulou, A.G., Tsiflikiotou, M., Akritidou, L. Viennas, A., Tsiamis, G., Pavlou, S., Bourtzis, K., Vayenas. D.V. (2013). Modelling of biological Cr(VI) removal in draw-fill reactors using microorganisms in suspended and attached growth systems. *Water Research*, vol. 47, 623-636.
- Parker, D.L., Borer, P., Bernier-Latmani, R. (2011). The response of *Shewanella oneidensis* MR-1 to Cr(III) toxicity differs from that to Cr(VI). *Frontiers in Microbiology*, vol. 2, 1-14.
- Baral, A., Engelken, R.D. (2002). Chromium-based regulations and greening in metal finishing industries in the USA. *Environmental Science & Policy*, vol. 5, 121-133.
- Kumar, V., Dwivedi, S.K. (2019). Hexavalent chromium reduction ability and bioremediation potential of *Aspergillus flavus* CR500 isolated from electroplating wastewater. *Chemosphere*, vol. 237, 1-11.
- Witek-Krowiak, A. (2013). Kinetics and equilibrium of copper and chromium ions removal from aqueous solutions using sawdust. *Environmental Engineering and Management Journal*, vol. 12, 2125-2135.
- Wong, P.K., S.c. Kwok. (1992). Accumulation of nickel ion (Ni<sup>2+</sup>) by immobilized cells of *Enterobacter* species. *Biotechnol Letters*, 14:7,629-634 p.
- Çınar Acar, B. (2018). Doktora Tezi. Endüstriyel Atıksulardan Biyoremediasyon İle Kromun Detoksifikasyonu, Doğal ve Kimyasa/Biyolojik Yöntemlerle Modifiye Edilmiş Kil Üzerine Krom Adsorpsiyonunun Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemi Kullanılarak İncelenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Taran, M., Sisakhtnezhad, S., Azin, T. (2015). Biological removal of nickel (II) by *Bacillus sp.* KL1 in different conditions: optimization by Taguchi statistical approach. *Polish Journal of Chemical Technology*, vol.17(3), 29-32.
- Evgen, E. (2012). Yüksek Lisans Tezi. *Pseudomonas* Cinsi Bakterilerde Heksavalent Krom İndirgeme Üzerine Ağır Metallerin Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Su, Y. Q., Zhao, Y. J., Wu, N., Chen, Y. E., Zhang, W. J., Cao, D. R. Q, Y. (2018). Chromium removal from solution by five photosynthetic bacteria isolates. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 102, 1983-1995.
- Kahvecioglu, Ö., Kartal, G., Güven, A., Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri. İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü. İstanbul.
- Ting, Y. P., Lawson, F. Prince, L. G. (1991). Uptake of cadmium and zinc by the alga *Chlorella vulgaris*: II Multi-ion stiation. *Biotechnology Bioengineering*, vol.37, 445-455.



- Holan, Z. R., Volesky, B., Prasetyo, I. (1993). Biosorption of cadmium by biomass of marine algae. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 41, 819-825.
- Shumate, S. E., Strandberg, G.W. (1985). Accumulation of Metals By Microbial Cell. In *Comprehensive Biotechnology*, 4, 235-240.
- Şencan, A. (2006). Yüksek Lisans Tezi. Sulu Çözümlü ve Deri Endüstrisi Atıksuyundan Cr(VI) İyonunun Aktif Çamur Biyokütlesi ile Biyosorpsiyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Volesky, B., May, R., Holan, Z. R. (1993). Cadmium biosorption by *Saccharomyces cerevisiae*. *Biotechnology Bioengineering*, vol. 41, 826-829.
- Ergül Ülger, Z. (2016). Ağır Metal İçeren Atıksulardan İzole Edilecek Bakteriler İle Cr(VI) Biyoremediasyonu,” Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,
- Koçberber Kılıç, N. (2008). Doktora Tezi. Proteomik Yaklaşımla Atıksu Kaynaklı Mikroorganizmalarda Cr(VI) Direnç Yollarının Araştırılması. Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Bruins, M. R., Kapil, S., Oehme, F. W. (2000). Microbial resistance to metals in the environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 45, 198-207.
- Silver, S. (1996). Bacterial resistance to toxic metal-ions-a review. *Gene*, vol. 179, 9-19.
- Rosen, B. P. (2002). Transport and detoxification systems for transition metals, heavy metals and metalloids in eukaryotic and prokaryotic microbes. *Comparative Biochemistry and Physiology*, Part A vol. 133, 689-693.
- Gadd, G. M. (1990). Biosorption,” *Journal Of Chemistry And Industry*. 421-426.
- Han, N. S., Seo, J. R., Chung, Y.C. (1992). Growth and copper resistance of recombinant *Saccharomyces cerevisiae* containing a metallothionein gene. *Biotechnology Letters*, vol. 14, no:1, 7-11.
- Francisco, R., Alpoim, M. C., Morais, P. V., (2002). Diversity of chromium-resistant and reducing bacteria in a chromium contaminated activated sludge. *Journal of Applied Microbiology*, 92: 837-843.
- Megharaj, M., Avudainayagam, S., Naidu, R., (2003). Toxicity of hexavalent chromium and its reduction by bacteria isolated from soil contaminated with tannery waste. *Current Microbiology*, 47: 51-54.
- Rajkumar, M., Nagendran, R., Lee, K. J., Lee, W. H. (2005). Characterization of a novel Cr(VI) reducing *Pseudomonas* sp. with plant growth-promoting potential. *Current Microbiology*, 50: 266-271.
- Campos, V. L., Moraga, R., Yanez, J., Zaror, C. A., Mondaca, M. A., (2005). Chromate reduction by *Serratia marcescens* isolated from tannery effluent. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 75: 400-406.
- Thacker, U., Madamwar, D. (2005). Reduction of toxic chromium and partial localization of chromium reductase activity in bacterial isolate DM1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21: 891-899.
- Elangovan, R., Abhipsa, S., Rohit, B., Ligy, P., Chandraraj, K., (2006). Reduction of Cr(VI) by a *Bacillus* sp. *Biotechnology Letter*, 28: 247-252.
- Goulhen, F., Gloter, A., Guyot, F., Bruschi, A., (2006). Cr(VI) detoxification by *Desulfovibrio vulgaris* strain Hildenborough: microbe-metal interactions studies. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 71: 892-897.
- Viamajala, S., Smith, W. A., Sani, R. K., Apel, W. A., Petersen, J. N., Neal, A. L. (2007). Isolation and characterization of Cr(VI) reducing *Cellulomonas* spp. from subsurface soils: Implications for long-term chromate reduction. *Bioresource Technology*, 98: 612-622.
- Velásquez, L., Dussan, J. (2009). Biosorption and bioaccumulation of heavy metals on dead and living biomass of *Bacillus sphaericus*. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 167, 713-716.
- Srinath, T., Verma, T., Ramteke, P.W., Garg, S.K. (2002). Chromium (VI) biosorption and bioaccumulation by chromate resistant bacteria. *Chemosphere*, vol. 48, 427-435.
- Singh, A., Malaviya, P. (2015). Optimization of culture parameters for tannery effluent bioremediation by *Bacillus galactosidilyticus* APBS5-3,” *Journal of Environmental Biology*, Vol. 36, no: 5, 1149-1152.
- Sathishkumar, K., Murugan, K., Benelli, G., Higuchi, A., Rajasekar, A.(2017). Bioreduction of hexavalent chromium by *Pseudomonas stutzeri* L1 and *Acinetobacter baumannii* L2. *Annals of Microbiology*, vol. 67, 91-98.
- Robins, K.J., Hooks, D.O., Rehm, B. H. A., Ackerley, D. F. (2013). *Escherichia coli* NemA is an efficient chromate reductase that can be biologically immobilized to provide a cell free system for remediation of hexavalent chromium. *PLoS One*, vol. 8, 1-8.
- Özbey, E., Asma, D. (2019). Krom'un *Deinococcus radiodurans* ve Rekombinantlarına Etkisi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no: 3, 1305-1315.
- Kiliç, N.K. and Dönmez, G. (2008). Environmental conditions affecting exopolysaccharide production by *Pseudomonas aeruginosa*, *Micrococcus* sp., and *Ochrobactrum* sp. . *Journal of Hazardous Materials*, 154, 1019-1024.
- Zahoor, A., Rehman, A. (2009). Isolation of Cr (VI) reducing bacteria from industrial effluents and their potential use in bioremediation of chromium containing wastewater. *Journal Environmental Science (China)*, 21, 814-820.
- Polti, M.A., Amoroso, M.J. and Abate, C.M. (2010). Chromate reductase activity in *Streptomyces* sp. MC1. *Journal Genetic Applied Microbiology*, 56, 11-18.
- Caravelli, A.H., Giannuzzi, L. and Zaritzky, N.E. (2008). Reduction of hexavalent chromium by *Sphaerotilus natans* a filamentous micro-organism present in activated sludges. *Journal of Hazardous Materials*, 156, 214-222.





# A Conceptual Framework for Adaptive Storage Location Assignment Considering Order Characteristics<sup>1</sup>

Polina Görbe<sup>1</sup>, Tamás Bódis<sup>2</sup>, János Botzheim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Széchenyi István University, Audi Hungaria Faculty of Automotive Engineering, Department of Logistics and Forwarding, Győr, Hungary (ORCID: 0000-0001-8067-4432)

<sup>2</sup> Széchenyi István University, Audi Hungaria Faculty of Automotive Engineering, Department of Logistics and Forwarding, Győr, Hungary (ORCID: 0000-0002-1255-8031)

<sup>3</sup> Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechatronics, Optics and Mechanical Engineering Informatics, Budapest, Hungary (ORCID: 0000-0002-7838-6148)

(Conference Date: 5-7 March 2020)

(DOI: 10.31590/ejosat.araconf74)

**ATIF/REFERENCE:** Görbe, P., Bodis, T. & Botzheim, J. (2020). A Conceptual Framework for Adaptive Storage Location Assignment Considering Order Characteristics. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (Special Issue), 610-614.

## Abstract

Nowadays, the fragmented orders, the shrinking time windows, the special customer requirements, and the inventory reduction requirements are the biggest challenges in warehouse logistics and production supply. Research studies have already examined different type of order picking routing optimization and considered optimal storage location assignment (SLA). The several SLA solutions take into consideration several factors, however, these usually require the repositioning of the stored products. Based on our industrial experiments there is a lack of industrial application and support of the systems to keep up the ideal SLA. The aim of this paper is to define a potential concept to keep up a nearly optimal SLA during order picking position replenishment with minimized number of time consuming and labor-intensive product repositioning tasks.

**Keywords:** Storage location assignment, Adaptive, Conceptual framework.

## 1. Introduction

Nowadays, the fragmented orders, the shrinking time windows, the special customer requirements, and the inventory reduction requirements are the biggest challenges in warehouse logistics and production supply. The order picking process needs to face with these challenges, which is the most labor intensive and costly part of the warehouse operations. While travelling time is approximately 50% of the whole picking time, the primary goal of the order picking process development is the routing optimization. The routing is strongly influenced by the storage location assignment and the layout design. The storage location assignment (SLA) methods allocate products to picking positions, which are visited by the pickers. The aim of the SLA optimization methods and algorithms is to support the effective order picking. The general Key Performance Indicator (KPI) of the order picking processes is the lead time which depends mostly on the routing distances (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007).

Koster et al. summarized the usually applied SLA policies, like random storage method, closest open location, dedicated storage strategy, full turnover storage, class-based storage, family grouping SLA strategy. The random storage method results high storage capacity utilization and increased travel distance, because the method selects position randomly. During the closest open location storage strategy, the warehouse worker or system can choose a free position during storing. The dedicated storage strategy is responsible for storing the products on fixed positions. In this strategy the space utilization is lower, because the storage position must be reserved all the time. The dedicated storage can support the order picking sequence, for example if the products have different weights and if stacking sequence is important. The full turnover storage considers the ordering intensity and the products turnover.

<sup>1</sup> This paper was presented at the *International Conference on Access to Recent Advances in Engineering and Digitalization (ARACONF 2020)*.

The class-based storage classifies the products and dedicates the positions for classes. One of the usually applied class-based strategy is when the products are classified based on Pareto's method, it focuses on the combination of the full turnover and the dedicated storage. The family grouping SLA strategy considers the relations of products based on ordered quantity, ordering frequency or product association (De Koster, Le-Duc, & Roodbergen, 2007)

Gils et al. (2019) made a state-of-the-art research for the order picking problems, where the SLA-routing combinations are the most frequently published research. Most of the research studies focus on the picking travel distance, and therefore the picking time reduction with SLA optimization (Gils, Caris, Ramaekers, Braekers, & de Koster, 2019). Quader et al. present a new model for order-picking with bucket-brigades algorithm. This algorithm can be applied to multiple aisles warehouses to minimize the routing distances (Quader & Castillo-Villar, 2018). Gils et al. (2018) compared some variations of warehousing decision fields: SLA and order batching; SLA and picker routing; SLA and zone picking; order batching and picker routing; order batching and zone picking; zone picking and picker routing. This paper explicitly analyzed and statistically proved the relations among storage, batching, zoning, and routing (Gils, Ramaekers, Braekers, Depaire, & Caris, 2018). Dijkstra et al. focused on the combined effects of routing methods and SLA. They presented formulas for the average route length in the case of any SLA for four common routing methods, like Return routing, Largest-gap routing, S-shape routing and Midpoint routing. In addition, they presented a dynamic programming approach. This approach determines SLA, using the route length formulas and optimality properties (Dijkstra & Roodbergen, 2017).

Some author writes about different approach for algorithmic SLA optimization and some of them consider the repositioning of the products in the warehouse.

Manzini et al. classified the products and examined the products' „life's cycles" effect on the picking process (Manzini, Accorsi, Gamberi, & Penazzi, 2015). Product features, like temperature sensitivity, packaging type and weight are important factors during SLA optimization. Accorsi et al. examined the storage possibilities and repositioning requirements of temperature-sensitive products. They consider external environmental factors also to store the products on safe positions, for example the seasons change, different temperature circumstances next to storage walls and windows (Accorsi, Baruffaldi, & Manzini, 2018). Žulj et al. optimized the SLA and the picking-routing considering the product parameters for the picking. During the picking task, for example the heavier products must be collected earlier than lighter products, thus protecting the products (Žulj, Glock, Grosse, & Schneider, 2018).

While orders characteristics are one of the most influencing aspects of the SLA, Micale et al. considered the orders for defining the picking positions for the articles (Micale, La Fata, & La Scalia, 2019). Furthermore, the demand fluctuation makes the periodic SLA optimization necessary, to keep up the order picking efficiency in the case of the changing demands. The right time period for the repositioning is generally unique warehouse by warehouse. Wang et al. focused on when to reassign the storage locations for cost reduction depending on the demand fluctuation (Wang & Zhang, 2019).

However, the repositioning of the items is labor intensive, it needs warehouse operation shutdown or overtime to load the products from their current location for the updated ideal location. Because of its labor-intensive nature research works have been made to optimize the process of warehouse reorganization in order to minimize the time loss. Because of the complexity of the problems, Héctor et al. suggested some heuristics for defining the right processes and the necessary amount of repositioning (Carlo & Giraldo, 2012). However, it still requires overtime or free time slot from the warehouse operations.

While applying the updated SLA usually requires some time consuming and labor-intensive product repositioning, this paper focuses on a potential concept to keep up the nearly optimal SLA during picking position replenishment without repositioning. Naturally there are possible cases when repositioning is necessary because of strong seasonality and dramatic decreases of the demands.

## **2. Conceptual Framework for Adaptive Storage Location Assignment**

Because of the increasing effects of the fluctuating demands and the changing order characteristics, we needed to realize that the warehouses should have any digitalized support SLA optimization to be able to adjust to the changing requirements and to keep up the order picking efficiency. We believe that this solution should be integrated into the everyday processes and the warehousing system mostly should be able to keep up the efficiency by itself with the right algorithmic support. It can minimize the extra workloads which are independent from the orders and therefore not directly value making tasks, for example repositioning every item based on the new SLA.

The aim of our Adaptive Storage Location Assignment (ASLA) conceptual framework is to optimize the SLA periodically based on the actual circumstances, adapt and apply the results for the daily operations. The defined goals require from the ASLA to be integrated to the IT system of the warehouse.

The integration can be done by an interfaced external module which is connected to the Warehouse Management System (WMS) and to the Enterprise Resource Planning (ERP) system. (Fig 1.) Furthermore, the optimization algorithm can be an internal part of the WMS. The integration let us be able to reach the necessary inputs and supports the adaptation of the actualized SLA. The WMS will be able to apply the actualized ideal SLA in the storage system during the order picking position replenishments and the minimized number of repositions tasks.

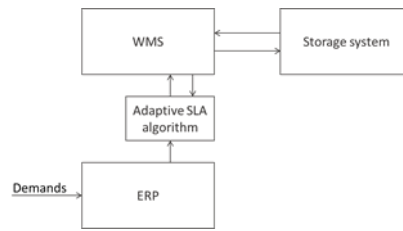


Fig. 1 ASLA integration

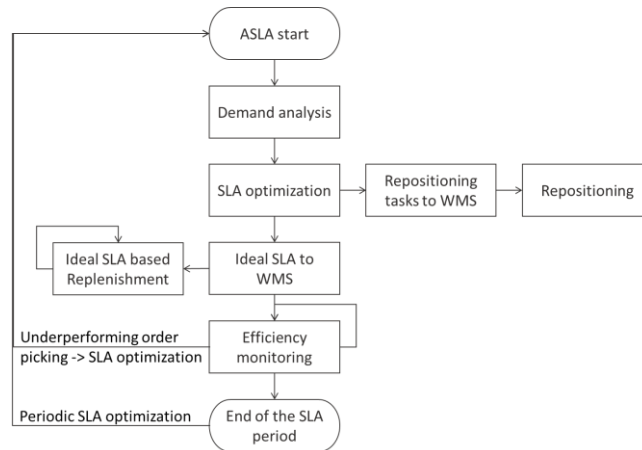


Fig. 2 ASLA workflow

The ASLA workflow (Fig. 2) starts with the demand analysis, when based on the previously defined time period the booked orders from the ERP will be investigated and classified. The results of this step are:

- Updated ordering frequency parameter of the products which shows, how often the products are ordered. It neglects the ordered quantity.
- Updated product parameters (for example packaging, product groups etc.)
- Updated family grouping parameters, to highlight which products should be allocated near to each other.
- The defined number of sample orders which contain the generalized characteristics of the orders. These sample orders will be used for evaluating the possible SLA solutions during the optimization.
- The SLA optimization algorithm defines the ideal SLA based on the actual ordering frequencies, product parameters, and family grouping parameters. The algorithm results in:
  - ideal SLA for adaptation,
  - minimized number of repositioning tasks.

The ideal SLA is adapted and continuously applied by the WMS. When replenishment of a product is necessary on its order picking position, then the replenishment will apply the updated SLA and find a new picking position for the product near to the ideal SLA based position. While the ideal picking position possibly won't be free, this solution will approximate to the optimal SLA replenishment by replenishment continuously without extra tasks and workloads.

Repositioning of products on the picking positions without replenishment should be minimized because of its extra workload requirements, but it is sometimes not neglectable. When the ordering frequency of the product is dramatically changed since the previous optimization, then it can be more effective to move immediately near to the new SLA position than waiting for the replenishment.

As an optional step of the workflow, the efficiency of the order picking process continuously should be monitored. When it is already underperforming because of the ineffective SLA, then the ASLA workflow should be repeated. The efficiency can be monitored for example based on picking lead times of order categories.

The periodic cycle of the ASLA makes the solution possible to continuously keep up the order picking efficiency. The time period should be defined individually for warehouses based on the order characteristics. When any dramatic change happens during the period, then the time period is stopped and the ASLA workflow is repeated based on the efficiency monitoring.

### 3. Algorithm Concept

The SLA can be generalized as a known Quadratic Assignment Problem (QAP). In a general point of view there are a set of  $n$  facilities and a set of  $n$  locations. For each pair of locations, a distance is specified and for each pair of facilities a weight is defined. The QAP algorithms are responsible for assigning all facilities to different locations with minimized distances which are multiplied by

the defined weights. In the case of SLA, the facilities are products and the locations are order picking positions. The distances between the positions can be defined based on the warehouse layout. The weights of the product pairs should be defined based on the order characteristics. If pair of products are ordered together frequently, then the weight should be higher (Koopmans & Beckmann, 1957).

While QAP is known to be strongly NP-hard combinatorial problem (Sahni & Gonzalez, T., 1967), the number of possible combinations can be high and because of the operational application we have short possible time window for running, we offer meta heuristics and evolutionary algorithms for the given problem. While Chmiel (2019) highlighted based on state-of-the-art research that evolutionary or similar solutions for solving the QAP have still not been found, defining evolutionary algorithm for QAP based SLA optimization algorithm would be a novel result (Chmiel, 2019).

Based on our previous experiences Bacterial Memetic Algorithm (BMA) can be a possible algorithm for solving the ASLA problem. It has already been successfully applied for several combinatorial optimization problems because of its fast convergence speed. The applied local search operator helps the algorithm quicker converge to the global optimum. The BMA algorithm operates in four steps. The first step is to create an initial population with  $N_{ind}$  individuals (bacteria), each bacterium represents a solution to the original problem. This can be done randomly, or some further rules can be defined. Next, bacterial mutation, local search methods, and gene transfer operator are applied in the bacterium population. These 3 operators are repeated while the stopping condition is achieved. The stopping condition is usually given by a predefined maximum number of generations (Ngen) (Botzheim, Cabrita, Koczy, & Ruano, 2009), (Földesi, Botzheim, & Kóczy, 2011), (Bódis & Botzheim, 2018).

The proposed BMA algorithm is offered for optimizing  $i$  product allocation on the  $p$  order picking positions, when  $i=p$ . Each bacterium represents a possible allocation of the products on the order picking positions. The length of an individual is equal to the number of order picking positions ( $p$ ) because every picking position has to handle a product. There can be further possible cases when  $i>p$  and  $i<p$ .

The individuals should be evaluated based on 2 possible values. The summary of the weighted distances should be minimized, and the defined generalized order picking lists' lead time should be minimized. The 2 values should be merged and minimized.

Definition of the appropriate bacterial mutation, local search, and gene transfer operators is the next step of the particular research, which will be evaluated based on industrially relevant inputs.

## 4. Conclusion

This paper highlighted a short state-of-the-art research of warehousing storage location assignment (SLA), where most of the research works concerned with repositioning of the products after optimization. Repositioning of the items is very labor intensive. It needs warehouse operation shutdown or overtime to load the products from their current location for the updated ideal location. Research has been made to optimize the process of warehouse reorganization to minimize the time loss.

This paper defined a potential concept to keep up the nearly optimal SLA during picking position replenishment without process independent repositioning. Naturally there are possible cases when repositioning is necessary, but the proposed concept can help us to minimize these movements. If the warehouse does the order picking position replenishment based on the actualized SLA, the warehouse can save time and eliminate extra workloads.

The next possible step of the research is to define BMA operators and evaluate them on industrially relevant inputs. The first period of this research focuses on the cases when the number of the products and positions are the same. In the future we would like to extend it for industrially more relevant cases when the number of the products and positions are not equal.

## Acknowledgment

P. Görbe and T. Bódis acknowledge the financial support of this research by the Project EFOP-3.6.1-16-2016-00017. Internationalisation, initiatives to establish a new source of researchers and graduates, and development of knowledge and technological transfer as instruments of intelligent specialisations at Széchenyi István University.

J. Botzheim was supported by the János Bolyai Research Scholarship of the Hungarian Academy of Sciences.

## Reference

- Accorsi, R., Baruffaldi, G., & Manzini, R. (2018). Picking efficiency and stock safety: A bi-objective storage assignment policy for temperature-sensitive products. *Computers & Industrial Engineering Volume 115*, 240-252.
- Bódis, T., & Botzheim, J. (2018). Bacterial Memetic Algorithms For Order Picking Routing Problem With Loading Constraints. *Expert Systems with Applications*, 105, 196-220.
- Botzheim, J., Cabrita, C., Koczy, L. T., & Ruano, A. (2009). Fuzzy rule extraction by bacterial memetic algorithms. *International Journal of Intelligent Systems*, 24(3), 312-339.
- Carlo, H. J., & Giraldo, G. E. (2012). Toward perpetually organized unit-load warehouses. *Computers & Industrial Engineering Volume 63*, 1003-1012.
- Chmiel, W. (2019). Evolutionary algorithm using conditional expectation value for quadratic assignment problem. *Swarm and Evolutionary Computation*, 46, 1-27.

- De Koster, R., Le-Duc, T., & Roodbergen, K. J. (2007). Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal of Operational Research*, 182, 481-501.
- Dijkstra, A. S., & Roodbergen, K. J. (2017). Exact route-length formulas and a storage location assignment heuristic for picker-to-parts warehouses. *Transportation Research Part E*, 38-59.
- Földesi, P., Botzheim, J., & Kóczy, L. T. (2011). EUGENIC BACTERIAL MEMETIC ALGORITHM FOR FUZZY ROAD TRANSPORT TRAVELING SALESMAN PROBLEM. *International Journal of Innovative Computing*, 5(2775-2798), 7.
- Gils, T. v., Caris, A., Ramaekers, K., Braekers, K., & de Koster, R. B. (2019). Designing efficient order picking systems: The effect of real-life features on the relationship among planning problems. *Transportation Research Part E* 125, 47-73.
- Gils, T. v., Ramaekers, K., Braekers, K., Depaire, B., & Caris, A. (2018). Increasing order picking efficiency by integrating storage, batching, zone picking, and routing policy decisions. *International Journal of Production Economics*, 243-261.
- Koopmans, T. C., & Beckmann, M. (1957). Assignment Problems and the Location of Economic Activities. *Econometrica*, 25(1), 53-76.
- Manzini, R., Accorsi, R., Gamberi, M., & Penazzi, S. (2015). Modeling class-based storage assignment over life cycle picking patterns. *Int. J. Production Economics Volume 170, Part C*, 790-800.
- Micale, R., La Fata, C., & La Scalia, G. (2019). A combined interval-valued ELECTRE TRI and TOPSIS approach for solving the storage location assignment problem. *Computers & Industrial Engineering* 135, 199-210.
- Quader, S., & Castillo-Villar, K. K. (2018). Design of an enhanced multi-aisle order-picking system considering storage assignments and routing heuristics. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 50, 13-29.
- Sahni, S., & Gonzalez, T. (1967). P-Complete Approximation Problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 23(3), 555-565.
- Wang, M., & Zhang, R.-Q. (2019). A dynamic programming approach for storage location assignment planning problem. *Procedia CIRP* 83, 513-516.
- Žulj, I., Glock, C. H., Grosse, E. H., & Schneider, M. (2018). Picker routing and storage-assignment strategies for precedence-constrained order picking. *Computers & Industrial Engineering Volume 123*, 338-347.