

ISSN 1012-2354



ERCIYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ

ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

*Erciyes University
Journal of
the
Institute
of
Science and Technology*

Cilt (Vol.): 37

Sayı (No): 3



ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology

ISSN: 1012-2354



Genel Yayın Yönetmeni

Prof. Dr. Recai KILIÇ, Erciyes Üniversitesi

İmtiyaz Sahibi

Prof. Dr. Mustafa ÇALIŞ, Erciyes Üniversitesi

Baş Editör

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Editörler

Prof. Dr. Emel KIZILKAYA AYDOĞAN, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. M. Tamer ŞENEL, Erciyes Üniversitesi

Düzenleme Editörleri

Arş. Gör. Demet ALICI KARACA

Arş. Gör. Beyza Nur AKŞİT

Editörler Kurulu

Prof. Dr. Musa SARI, Gazi Üniversitesi, msari@gazi.edu.tr

Prof. Dr. Orhan BÜYÜKGÜNGÖR, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, orhanb@omu.edu.tr

Prof. Dr. Hasan Küçükbay, İnönü Üniversitesi, hasan.kucukbay@inonu.edu.tr

Prof. Dr. Kamil KOÇ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, kamil.koc@cbu.edu.tr

Prof. Dr. Tuncay CANDAN, The American University of the Middle East, Tuncay.Candan@aum.edu.kw

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA, Erciyes Üniversitesi, karaboga@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. Ömer Galip SARAÇOĞLU, Erciyes Üniversitesi, saracog@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. Doğan IŞIK, Erciyes Üniversitesi, dogani@erciyes.edu.tr

Prof. Dr. M. Duran TOKSARI, Erciyes Üniversitesi, dtoksari@erciyes.edu.tr

Doç. Dr. NİGMET UZAL, Abdullah Gül Üniversitesi, nigmet.uzal@agu.edu.tr

Doç. Dr. Murat GÖKÇEK, Ömer Halisdemir Üniversitesi, mgokcek@ohu.edu.tr

Dr. Öğr. Üyesi Umut Çalışkan, Erciyes Üniversitesi, ucaliskan@erciyes.edu.tr



ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology



ISSN: 1012-2354

Yayın Danışma Kurulu

Prof. Dr. Ülkü YETİŞ, Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Filiz B. DİLEK, Ortadoğu Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Gülçin BÜYÜKÖZKAN, Galatasaray Üniversitesi

Prof. Dr. Ceyda OĞUZ, Koç Üniversitesi

Prof. Dr. Yaman BARLAS, Boğaziçi Üniversitesi

Prof. Dr. Levent KANDİLLER, Yaşar Üniversitesi

Prof. Dr. Cengiz KAHRAMAN, İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Metin DAĞDEVİREN, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Okan KARAHAN, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Cevriye Temel GENCER, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet TANYAŞ, Maltepe Üniversitesi

Prof. Dr. TUNCAY CANDAN, Ömer Halisdemir Üniversitesi

Prof. Dr. Li TONGXING, Linyi University

Prof. Dr. Panos M. PARDALOS, University of Florida

Prof. Dr. José Machado Minho, University

Prof. Dr. Petraq PAPAJORGJË, University of New York Tirana

Prof. Dr. Fatih ALTUN, Erciyes Üniversitesi

Prof. Dr. Derviş KARABOĞA, Erciyes Üniversitesi



ERCİYES ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ

Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology

ISSN: 1012-2354



Cilt 37, Sayı 3, Hakem Kurulu

Prof. Dr. Eyyup TEL, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Prof. Dr. Selahattin MADEN, Ordu Üniversitesi

Prof. Dr. Hatice Nedret ÖZGEN, Mersin Üniversitesi

Doç. Dr. İshak Afşin KARİPER, Erciyes Üniversitesi

Doç. Dr. Abdülkerim KARABİBER, Erciyes Üniversitesi

Doç. Dr. Pınar ONAY DURDU, Kocaeli Üniversitesi

Doç. Dr. Enes YAVUZ, Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Doç. Dr. Ahmet DUMLU, Erzurum Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Bahatdin DAŞBAŞI, Kayseri Üniversitesi

Doç. Dr. Yunus BULUT, İnönü Üniversitesi

Doç. Dr. Nurgül OKUR, Giresun Üniversitesi

Doç. Dr. Cihan BAYINDIRLI, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Doç. Dr. Cenker BİÇER, Kırıkkale Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Emre KELEŞ, Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Gözde TANTEKİN ÇELİK, Çukurova Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Sami PEKDEMİR, Erciyes Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet KARA, Hitit Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN, Karabük Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet SORAN, Abdullah Gül Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Bahadır ÇETİNKAYA, Erciyes Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞENYURT, Ordu Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Ali Şenol, Tarsus Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Selçuk SARIKOÇ, Amasya Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Fatih AYDIN, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Burak KILIÇ, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet BİLİM, Nuh Naci Yazgan Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Handan ÖZLÜ TORUN, Kahramanmaraş İstiklal Üniversitesi



ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ DERGİSİ
Erciyes University Journal of Institute of Science and Technology



ISSN: 1012-2354

Dr. Öğr. Üyesi Murat TAŞYÜREK, Kayseri Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Nuh AZGINOĞLU, Kayseri Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Aslı EYECİOĞLU ÖZMUTLU, Bartın Üniversitesi

Arş.Gör.Dr. Serkan AYDINLI, Çukurova Üniversitesi

Arş. Gör. Dr. Mehmet Akif YERLİKAYA, Bitlis Eren Üniversitesi

Arş. Gör. Dr. Cevat SÖYLEMEZ, Dumlupınar Üniversitesi

Dr. İlknur SUR ERDEM, Oxford Üniversitesi

Dr. Mine ALTUNBEK, University of Massachusetts Lowell

Dr. Muhammad QASIM, National University of Sciences and Technology

Cilt: 37 Sayı: 3

Aralık 2021

İçindekiler

Sayfalar	Makaleler	Türü
367-376	Movie Recommendation Systems Based on Collaborative Filtering: A Case Study on Netflix	Araştırma Makalesi
377-391	Yeniden Kullanılabilirlik İçin Yazılım Tasarım Kalıplarının Kullanımı	Araştırma Makalesi
392-403	Atık Kızartma Yağı Biyodizelinin Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Pamuk Yağı ve Aspir Yağı Biyodizelleri ile Karşılaştırılması	Araştırma Makalesi
404-411	Yüzeyle Zenginleştirilmiş Raman Saçılması (YZRS) ile Ovaryum Kanseri İlaç Direncinin İncelenmesi	Araştırma Makalesi
412-422	Dielectric Properties of GNPs@MgO/CuO@PVDF Composite Films	Araştırma Makalesi
423-433	Gerçek Zamanlı Fare Takip ve Analiz Yazılımı Geliştirilmesi	Araştırma Makalesi
434-440	Lineer Modellerde Kısıtlama Altında Parametre Tahmini Üzerine Bir Çalışma	Araştırma Makalesi
441-451	Impacts of Syrian Construction Workers on the Turkish AEC Industry	Araştırma Makalesi
452-460	Parçalı Ters Dönüşüm Yöntemi ile Sürekli Dağılımlardan Tesadüfi Sayı Üretimi	Araştırma Makalesi
461-467	Factors for Generalized Matrix Summability	Araştırma Makalesi
468-478	Mikroyapının Stronsiyum Bizmut Tantalat İnce Filmlerin Ferroelektrik ve Elektriksel Özelliklerine Etkisi	Araştırma Makalesi
479-487	Comparison of Machine Learning Regression Models for Prediction of Soil Moisture with the use of Internet of Things Irrigation System Data	Araştırma Makalesi

Movie Recommendation Systems Based on Collaborative Filtering: A Case Study on Netflix

Muhammed SÜTÇÜ ^{*1,2}, Ecem KAYA ², Oğuzkan ERDEM ²

*₁ Abdullah Gül University, Faculty of Engineering, Industrial Engineering, KAYSERİ

² Abdullah Gül University, Institute of Social Sciences, Data Science for Business and Economics, KAYSERİ

(Alınış / Received: 22.08.2021, Kabul / Accepted: 12.10.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Keywords

Movie Recommendation,
Recommendation Systems,
Collaborative Filtering,
Netflix Prize

Abstract: User ratings on items like movies, songs, and shopping products are used by Recommendation Systems (RS) to predict user preferences for items that have not been rated. RS has been utilized to give suggestions to users in various domains and one of the applications of RS is movie recommendation. In this domain, three general algorithms are applied; Collaborative Filtering that provides prediction based on similarities among users, Content-Based Filtering that is fed from the relation between item-user pairs and Hybrid Filtering one which combines these two algorithms. In this paper, we discuss which methods are more efficient in movie recommendation in the framework of Collaborative Filtering. In our analysis, we use Netflix Prize dataset and compare well-known Collaborative Filtering methods which are Singular Value Decomposition, Singular Value Decomposition++, K-Nearest Neighbour and Co-Clustering. The error of each method is calculated by using Root Mean Square Error (RMSE). Finally, we conclude that K-Nearest Neighbour method is more successful in our dataset.

İşbirlikçi Filtreleme Temelinde Film Öneri Sistemleri: Netflix Üzerinde Bir Vaka Çalışması

Anahtar Kelimeler

Film Öneri,
Öneri Sistemleri,
İşbirlikçi Filtreleme,
Netflix Ödül

Öz: Filmler, şarkılar ve alışveriş ürünleri gibi öğelerin kullanıcı değerlendirmeleri Öneri Sistemleri (ÖS) tarafından henüz değerlendirilmemiş ürünleri tahmin etmek için kullanılır. ÖS kullanıcılara çeşitli alanlarda öneri vermek için geliştirilmiştir ve ÖS uygulama alanlarından birisi de film önerisidir. Bu alanda üç genel algoritma kullanılmaktadır; kullanıcılar arası benzerliğe dayanarak tavsiye veren İşbirlikçi Filtreleme, kullanıcı-şey eşleştirilmesindeki ilişkiden beslenen İçerik Tabanlı Filtreleme ve bu iki algoritmayı birleştiren Hibrit Filtreleme. Bu çalışmamızda İşbirlikçi Filtreleme çerçevesinde hangi metotların daha etkili çalıştığı incelenmiştir. Analizimizde Netflix Ödül veri seti kullanılmış ve iyi bilinen İşbirlikçi Filtreleme metotları olan Tekil Değer Ayrışımı, Tekil Değer Ayrışımı++, K En Yakın Komşu ve Eş Kümeleme kıyaslanmıştır. Her metodun hatası Ortalama Hata Kare Kökü kullanılarak ölçülmüştür. Son olarak, K En Yakın Komşu metodunun veri setimizde daha başarılı olduğu sonuçlanmıştır.

*Corresponding Author, email: muhammed.sutcu@agu.edu.tr

1. Introduction

Companies have developed new concepts as technology has become an alternative to the classical methods used in marketing and sales. Increasing competition in the market has created a need for new methods to be used in this field. Recommendation systems (RS) is the one of the methods that provide competitive advantage by allowing consumers spend more time on their websites or interface[1]. A recommendation system is an information filtering system that helps user's decision-making process in certain positions by declining a range of possible options and prioritizing these factors in given logic. RS is occurred to give offers to users in various domains and one of the application fields of RS is movie recommendation.

Although recommender systems have broad application areas, Collaborative Filtering (CF) is the one of the most used in research fields [2]. CF is used to predict a user's future preferences based on the user's past preferences. Media content providers like Netflix, Spotify uses collaborative filtering methods in their recommender systems [3]. The aim of this study is to compare results of different collaborative filtering methods as Singular Value Decomposition (SVD), Singular Value Decomposition++ (SVD++), K-Nearest Neighbor (KNN) and Co-Clustering by using Netflix Prize dataset.

Recommendation Systems is one of the most useful information systems for companies. General usage of these systems contains two main purposes. One of them is providing more personalized suggestions to users so that users can satisfy their needs among the various items or services. The other purpose is that companies can increase their profits with accurate and immediate solutions for customers. By this way, companies can create customer portfolios which serves to profit maximization purposes of companies[4]. According to the Forbes, Amazon's recommendation engine achieves %35 of annual total revenue of Amazon[5]. These data highlight the importance of recommendation systems for the development of all technology companies, especially e-commerce. Differently from previous articles, we present comprehensive comparable models as we know how profitable it is to discover the right model in practice. Like in other recommendation systems, movie recommendation systems are deployed with various techniques. Main techniques in the literature are Collaborative Filtering, Content Based Filtering and Hybrid Filtering.

Collaborative Filtering is one of the most effective technique which based on the assumption that users who have co-operated in the past will likely co-operate in the future. With this understanding CF tries to cluster users based on their similarities. Therefore, unrated movie or item by a specific user can be inferred by analysing the cluster that specific user belongs to [6][7][8][9].

Content Based Filtering (CBF) uses item-user pairing to give recommendation to users. Main assumption in the CBF is that if a user was interested in item(s) in the past, he or she will likely have interest in it in the future. In the movie recommendation field, CBF is used in various datasets [10][11].

Hybrid Filtering (HF), combines both Content Based Filtering and Collaborative Filtering, aims to maximize recommendation accuracy. For instance, one RS can use CF to recommend similar things to similar uses and it can also use CBF to give recommendation to specific user based on his or her past preferences. There are also studies which uses HF in the literature [12][13][14][15].

In this study, data is gathered from kaggle.com, Netflix Prize Dataset where the data was published officially by Netflix. The dataset includes movie ID, customer ID, ratings out of 5, and timestamp of the rating. Each movie ID and each customer ID represents a specific movie and customer. Although the dataset is introduced with four text files, in this study, we can use only one file to analyze because of insufficient technical infrastructure. Thus, our dataset comprises 24.053.764 ratings given by 470.758 customers to 4.499 movies.

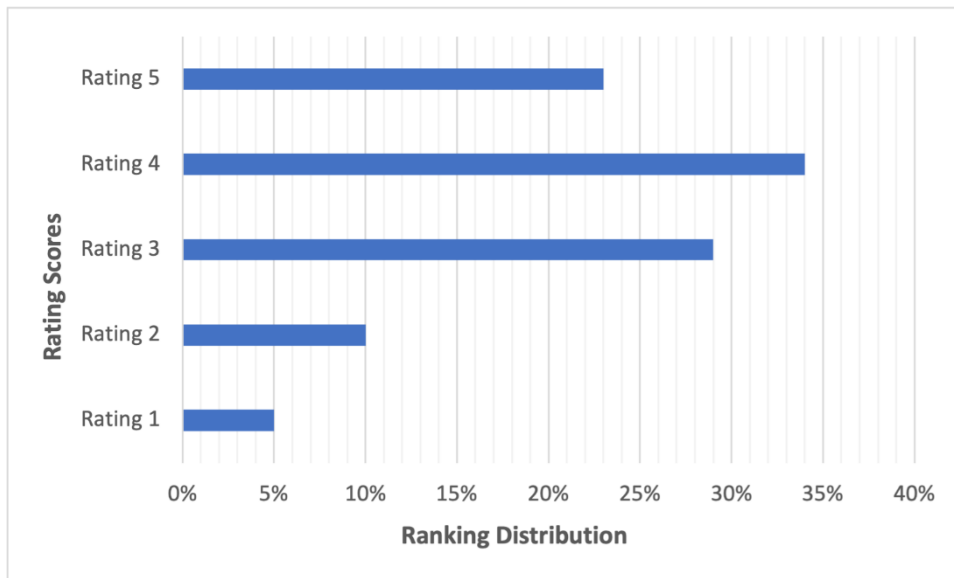


Figure 1. Distribution of ratings and counts

When the dataset is analyzed, we can easily demonstrate that people vote less at lower scores as shown in Figure 1. We assume that one of the most important reasons for this is that the audience did not choose to vote and closed the movie before it was finished. So, this could be considered a limitation for the dataset.

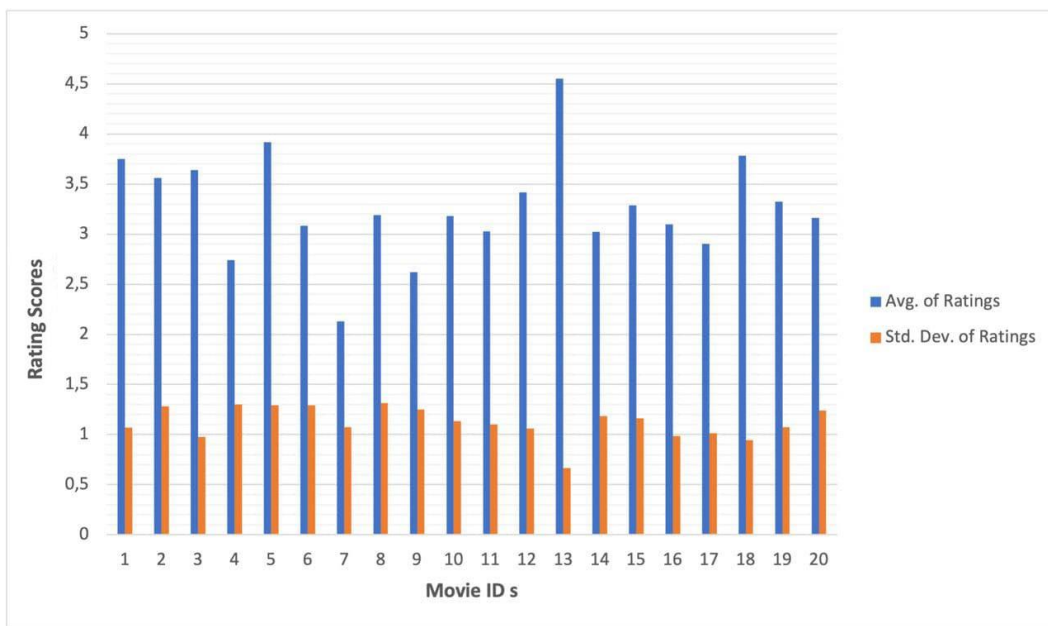


Figure 2. Rating statistics

To understand the dataset better, several statistical analyses based on movie ratings are calculated and shown in Figure 2. In order to easy to illustrate, we indicate the average scores and the standard deviations of the scores given to the first 20 movies. It can be observed that movies that have higher ratings tend to have a lower standard deviation.

Due to the huge number of movies in the dataset and the limited time of the people, every user rate only a small portion of the movies. The grand objective in the study is to develop models to predict the scores that a particular user will assign to a particular movie prior to the rating and propose an approach to the recommendation system of Netflix. Therefore, several data analytics techniques have been applied. Recommender systems is one of the hot topics of the field of data science due to their critical importance in e-commerce and streaming markets. Collaborative filtering is the recommender system method that predicts items depend on users' past experience. In this research, we aim to appraise performance of each collaborative filtering algorithms and demonstrate most effective algorithm.

The remainder of this article is structured as follows: In section 2, we present the basic notations and definitions used in the rest of the article. In section 3, we interpret the outputs of the applied methodologies and the comparison of the outputs among themselves. In section 4, we conclude the article and present our suggestions for future studies.

2. Material and Method

In this section, the methodologies that this article adopted will be explored. Methodology section is examined in four subtitles: Singular Value Decomposition, Singular Value Decomposition++, K-Nearest Neighbor and Co-clustering.

2.1. Singular value decomposition

Singular Value Decomposition (SVD) is the most used model of recommendation systems, and users and projects can create it as an array format. In addition, SVD is a matrix factorization technique that reduces the number of attributes in the data set by reducing the spatial dimension from N dimensions to K dimensions (here $K < N$) [16]. In the recommendation system, SVD divides the K-dimensional matrix created by users T and D into N-dimensional matrices. The working principle of singular value decomposition is shared as follows:

$$\hat{r}_{ui} = \mu + b_u + b_i + q_i^T p_u \quad (1)$$

where, \hat{r}_{ui} is the prediction set, μ expresses average ratings, b_u expresses average rating given by user u minus μ , b_i represents average average rating of item i minus μ , q_i represents each item by vector and similarly p_u represents each user by vector, $q_i^T p_u$ represents dot product.

If user μ is unknown, the deviation b_u and p_u factors are assumed to be zero.

To predict all unknown scores the algorithm tries to minimize regularized squared error as follows:

$$\sum_{r_{ui} \in R_{train}} (r_{ui} - \hat{r}_{ui})^2 + \lambda(b_i^2 + b_u^2 + \|q_i\|^2 + \|p_u\|^2) \quad (2)$$

where, r_{ui} is rating and \hat{r}_{ui} is prediction, λ represents regularization parameters.

The minimization process is performed by a very basic stochastic gradient descent as follows:

$$\begin{aligned} b_u &\leftarrow b_u + \gamma(e_{ui} - \lambda b_u) \\ b_i &\leftarrow b_i + \gamma(e_{ui} - \lambda b_i) \\ p_u &\leftarrow p_u + \gamma(e_{ui} \cdot q_i - \lambda p_u) \\ q_i &\leftarrow q_i + \gamma(e_{ui} \cdot p_u - \lambda q_i) \end{aligned} \quad (3)$$

where, $e_{ui} = r_{ui} - \hat{r}_{ui}$ and γ represents learning rate.

2.2. Singular value decomposition++

In matrix factorization techniques explicit feedbacks are considered. Different from SVD, SVD++ consolidates both implicit and explicit feedback. In this regard, communities and user groups are performed as implicit feedback [17]. Since user groups are communities are served, the formulation of SVD turns into the following one:

$$\hat{r}_{ui} = \mu + b_u + b_i + q_i^T (p_u + |I_u|^{-\frac{1}{2}} \sum_{j \in I_u} y_j) \quad (4)$$

where y_j terms there is a new set of item factors capturing implicit ratings.

2.3. K-nearest neighbor

K-Nearest Neighbor basically groups the users who have same minds about similar items. It is used for classification and regression of similar inputs in the k-closest environment. In our dataset, we have data classification problem to be solved and, we also try to cluster users to give them better recommendations. In this context, we try to use user ratings to calculate similarities. In our analysis, we use 4 different KNN algorithms to make comprehensive analysis. These are KNN Basic, KNN With Means which considers mean ratings of each

individual user, KNN With Z Score which normalize z score of each user and KNN With Baseline which uses baseline rating. The mathematical formulation of each KNN is given below in our analysis.

2.3.1. K-nearest neighbor basic

$$\hat{r}_{ui} = \frac{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v) \cdot r_{vi}}{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v)}$$

(5)

or

$$\hat{r}_{ui} = \frac{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j) \cdot r_{uj}}{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j)}$$

where, \hat{r}_{ui} represents prediction, k represents number of neighbors, $\text{sim}(u, v)$ and $\text{sim}(i, j)$ express similarity measures as they are explained in results section, r_{vi} represents rating of user v on item i and similarly r_{uj} represents rating of user u on item j .

2.3.2. K-nearest neighbor with means

$$\hat{r}_{ui} = \mu_u + \frac{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v) \cdot (r_{vi} - \mu_v)}{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v)}$$

(6)

or

$$\hat{r}_{ui} = \mu_i + \frac{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j) \cdot (r_{uj} - \mu_j)}{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j)}$$

where, \hat{r}_{ui} represents prediction, μ_u represents mean of user u and similarly μ_i represents mean of item i , k represents number of neighbors, $\text{sim}(u, v)$ and $\text{sim}(i, j)$ express similarity measures as they are explained in results section, r_{vi} represents rating of user v on item i and similarly r_{uj} represents rating of user u on item j , μ_v represents mean of user v and similarly μ_j represents mean of item j .

2.3.3. K-nearest neighbor with z score

$$\hat{r}_{ui} = \mu_u + \sigma_u \frac{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v) \cdot (r_{vi} - \mu_v) / \sigma_v}{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v)}$$

(7)

or

$$\hat{r}_{ui} = \mu_i + \sigma_i \frac{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j) \cdot (r_{uj} - \mu_j) / \sigma_j}{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j)}$$

where, \hat{r}_{ui} represents prediction, μ_u represents mean of user u and similarly μ_i represents mean of item i , σ_u and σ_v represents the standard deviation of all ratings given by user u and v , k represents number of neighbors, $\text{sim}(u, v)$ and $\text{sim}(i, j)$ express similarity measures as they are explained in results section, r_{vi} represents rating of user v on item i and similarly r_{uj} represents rating of user u on item j , μ_v represents mean of user v and similarly μ_j represents mean of item j , σ_i and σ_j the standard deviation of all ratings given to item i and j respectively.

2.3.4. K-nearest neighbor baseline

$$\hat{r}_{ui} = b_{ui} + \frac{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v) \cdot (r_{vi} - b_{vi})}{\sum_{v \in N_i^k(u)} \text{sim}(u, v)}$$

(8)

or

$$\hat{r}_{ui} = b_{ui} + \frac{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j) \cdot (r_{uj} - b_{uj})}{\sum_{j \in N_u^k(i)} \text{sim}(i, j)}$$

where, \hat{r}_{ui} represents prediction, b_{ui} represents the baseline rating of user u for item i , k represents number of neighbors, $\text{sim}(u, v)$ and $\text{sim}(i, j)$ express similarity measures as they are explained in results section, r_{vi} represents rating of user v on item i and similarly r_{uj} represents rating of user u on item j , b_{vi} represents the baseline rating of user v for item i and similarly b_{uj} represents the baseline rating of user u for item j .

2.4. Co-clustering

Co-Clustering concept was introduced by Thomas George and Srujana Merugu as novel algorithm under the framework of collaborative filtering [18]. In this algorithm users and items form some clusters and some co-clusters. Basically, users and items are assigned into some clusters C_u, C_i and some co-clusters C_{ui} .

The prediction \hat{r}_{ui} is set follows as:

$$\hat{r}_{ui} = \overline{C_{ui}} + (\mu_u - \overline{C_u}) + (\mu_i - \overline{C_i}) \tag{9}$$

where, \hat{r}_{ui} represents prediction, $\overline{C_{ui}}$ is average rating of co-cluster C_{ui} , $\overline{C_u}$ is the average rating of u 's cluster, and $\overline{C_i}$ is the average rating of i 's cluster. If the user is unknown, the prediction is $\hat{r}_{ui} = \mu_i$. If the item is unknown, the prediction is $\hat{r}_{ui} = \mu_u$. If both the user and the item are unknown, the prediction is $\hat{r}_{ui} = \mu$.

3. Results

In our study, we aim to compare the Collaborative Filtering methods on the Netflix Prize dataset and find out which method is more effective in the movie recommendation system. First, we import the data and then we clean the missing data and make the data ready for model writing. These operations are made of using the Python language 3.8.2. version and in Jupyter Notebook as IDE as an environment. We use Pandas, NumPy, Math, and Re libraries for data cleaning and missing data operations.

Movie_Id	3	8	16	17	18	26	28	30	32	33	...	4472	4474	4478	4479	4485	4488	4490	4492	4493	4496	
Cust_Id																						
6	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.0	NaN	NaN	...	3.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
7	NaN	5.0	NaN	NaN	NaN	NaN	4.0	5.0	NaN	NaN	...	3.0	NaN	NaN	5.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
79	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.0	NaN	NaN	...	4.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	4.0	NaN	NaN	NaN	NaN
97	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
134	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5.0	NaN	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
...
2649370	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2649378	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.0	3.0	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2649388	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	3.0	NaN	NaN	...	3.0	NaN	NaN	3.0	NaN	3.0	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2649426	NaN	NaN	NaN	4.0	NaN	NaN	4.0	4.0	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
2649429	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	5.0	NaN	NaN	...	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN

143458 rows × 1350 columns

Figure 4. Data sample before data cleaning

Movie_Id	3	8	16	17	18	26	28	30	32	33	...	4472	4474	4478	4479	4485	4488	4490	4492	4493	4496
Cust_Id																					
6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	...	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	5.0	0.0	0.0	...	3.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
79	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	...	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0
97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
134	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
...
2649370	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2649378	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	3.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2649388	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	...	3.0	0.0	0.0	3.0	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2649426	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	4.0	4.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2649429	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	...	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

143458 rows × 1350 columns

Figure 5. Data sample after data cleaning

Since every movie is not rated by every user, some attributes have NaN value. Also, if any data is corrupted, it is cleaned out. In Figure 5, data which is missing or corrupted as in Figure 4 is handled.

To visualize our dataset, we use Matplotlib and Seaborn libraries. Finally, we use Surprise library to apply methods, similarity measures, creating train sets, validation sets, test sets and measuring error rates.

After we get our data ready for testing, we conduct SVD, SVD++, Co-Clustering methods. With these methods we only get singular results. However, K-Nearest Neighbor methods offer different similarity measures. These are Cosine, Mean Squared Difference (MSD), Pearson, and Pearson Baseline. In total K-Nearest Neighbor gives us 16 different outcomes. Therefore, in grand total we get 19 different outcomes to evaluate which method is the best. Similarity measures' mathematical formulations as follow:

$$\text{cosine_sim}(u, v) = \frac{\sum_{i \in I_{uv}} r_{ui} \cdot r_{vi}}{\sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} r_{ui}^2} \cdot \sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} r_{vi}^2}}$$

or

$$\text{cosine_sim}(i, j) = \frac{\sum_{u \in U_{ij}} r_{ui} \cdot r_{uj}}{\sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} r_{ui}^2} \cdot \sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} r_{uj}^2}}$$

$$\text{MSD}(u, v) = \frac{1}{|I_{uv}|} \cdot \sum_{i \in I_{uv}} (r_{ui} - r_{vi})^2$$

or

$$\text{MSD}(i, j) = \frac{1}{|U_{ij}|} \cdot \sum_{u \in U_{ij}} (r_{ui} - r_{uj})^2$$

MSD defined then as follows:

$$\begin{aligned} \text{MSD_sim}(u, v) &= \frac{1}{\text{MSD}(u, v) + 1} \\ \text{MSD_sim}(i, j) &= \frac{1}{\text{MSD}(i, j) + 1} \end{aligned} \quad (12)$$

where, +1 represents avoiding possible dividing by zero problem.

$$\text{pearson_sim}(u, v) = \frac{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{ui} - \mu_u) \cdot (r_{vi} - \mu_v)}{\sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{ui} - \mu_u)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{vi} - \mu_v)^2}}$$

or

$$\text{pearson_sim}(i, j) = \frac{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{ui} - \mu_i) \cdot (r_{uj} - \mu_j)}{\sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{ui} - \mu_i)^2} \cdot \sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{uj} - \mu_j)^2}} \quad (13)$$

$$\text{pearson_baseline_sim}(u, v) = \hat{\rho}_{uv} = \frac{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{ui} - b_{ui}) \cdot (r_{vi} - b_{vi})}{\sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{ui} - b_{ui})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i \in I_{uv}} (r_{vi} - b_{vi})^2}}$$

or

$$\text{pearson_baseline_sim}(i, j) = \hat{\rho}_{ij} = \frac{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{ui} - b_{ui}) \cdot (r_{uj} - b_{uj})}{\sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{ui} - b_{ui})^2} \cdot \sqrt{\sum_{u \in U_{ij}} (r_{uj} - b_{uj})^2}} \quad (14)$$

The prediction models are tested on validation set at first and then they are tested on test sets. To evaluate performances of each method and similarity measures we use Root Mean Square Error as performance indicator. RMSE measures the square root of the difference between actual values and model predicted outcomes, with a correction factor. RMSE take values between 0 and positive infinity. Ideally, lower RMSE score, closer to 0, means that model fits for the data more accurately since the difference between actual value and predicted value gets smaller. On the contrary, higher RMSE means that model gets far between actual value and predicted value. Therefore, accuracy of the model decreases with this gap between actual and predicted value.

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{|R|} \sum_{r_{ui} \in R} (r_{ui} - \hat{r}_{ui})^2} \quad (15)$$

RMSE values for the models are as given in the following tables.

Table 1. K-nearest neighbor methods and related similarity measures.

SIMILARITY MEASURES	Cosine	MSD	Pearson	Pearson Baseline
METHODS				
KNN BASIC	0.9621	0.9022	0.9198	0.8855 *
KNN WITH MEANS	0.8789	0.8788	0.8677	0.8488 ***
KNN WITH Z SCORE	0.8819	0.8798	0.8667	0.8479 ****
KNN BASELINE	0.8806	0.8782	0.8674	0.8482 **

Table 2. SVD,SVD++ and Co-Clustering results.

METHODS	SINGULAR OUTCOMES
SVD	0.8506
SVD++	0.8507
CO-CLUSTERING	0.8966

As it is explained in the previous sections, K Nearest Neighbour methods allow us to use similarity measures as well. In the Table 1, K Nearest Neighbour methods are compared among themselves and the most successful similarity measure is marked with star sign in each line. Also starred outcomes are compared among themselves and having more stars at the end of each row means more successful results.

On the other hand, SVD and SVD++ models performed nearly same results in the Table 2. They have only 0.0001 point difference. When it comes to Co-Clustering method, we get relatively higher score which means that Co-Clustering method is not fitting well the data as SVD and SVD++ does. So, it can be concluded that SVD has more successful results.

When we compare all results together, with the Pearson Baseline similarity measure KNN With Means, KNN With Z Score and KNN Baseline brings better results. However, SVD and SVD++ shows singular results and they are better than KNNs with other similarity measures. Therefore, we can conclude that KNN with Means, KNN With Z Score and KNN Baseline are better if they are conducted with Pearson Baseline method. Alternatively, SVD and SVD++ gives more consistent results relatively since they don't have similarity measures. In overall performance, KNN With Z Score with Pearson Baseline similarity measure provides the best fit in our data set.

4. Discussion and Conclusion

In this study we propose a comparative collaborative filtering algorithms using the Netflix Prize dataset under the framework of recommender systems. In the literature we find that each method under the collaborative filtering is studied in different aspects and contexts. However, we use comparative method for collaborative filtering for Netflix Prize dataset in particular. We try to find out which collaborative method is most suitable solution for the Netflix Prize dataset. Using Python and related libraries, we process the data first and then imply different collaborative filtering algorithms. Each algorithm's and model's success is measured with the Root Mean Square Error. It is concluded KNN With Z Score method with Pearson Baseline similarity measure brings the most successful outcome.

On the other hand, we only study on the quarter of the data because of the insufficient technical infrastructure. Thus, this study's results may change if all data is processed in collective way but since the data is portioned it is not expected to experience dramatic changes. Furthermore, Netflix dataset does not contain any information about the contents of the movies. Therefore, content-based filtering and hybrid models (that works with content-based filtering) cannot be used. In future studies content-based filtering and therefore hybrid models can be used by retrieving data from IMDB or Netflix itself. These studies might reflect on movies' contents, genres and so on. Also, Hybrid models support the collaborative filtering. Therefore, more comprehensive study can be performed.

Acknowledgment

We thank RA. Sami Kaya (Abdullah Gül University) for providing data visuals and RA. Suat Mumcu (Abdullah Gül University) for assistance in the writing process.

References

- [1] W. Deng, R. Patil, L. Najjar, Y. Shi, and Z. Chen, "Incorporating Community Detection and Clustering Techniques into Collaborative Filtering Model," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 31, pp. 66–74, 2014, doi: 10.1016/j.procs.2014.05.246.
- [2] J. Bobadilla, F. Serradilla, and A. Hernando, "Collaborative filtering adapted to recommender systems of E-learning," *Knowledge-Based Syst.*, vol. 22, pp. 261–265, May 2009, doi: 10.1016/j.knosys.2009.01.008.
- [3] I. Tobías, "Matrix factorization models for cross-domain recommendation: Addressing the cold start in collaborative filtering," 2017.
- [4] F. Şahin and C. Söylemez, "Güdülenmiş Tüketici Yenilikçiliğinin Dijital Medya Platformlarının Algılanan Tüketici Temelli Marka Değeri Ve Marka Tutumu Üzerine Etkisi: Covid-19 Döneminde Netflix Üzerine Bir İnceleme," *Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilim. Fakültesi Derg.*, vol. 58, pp. 301–332, 2021.
- [5] B. Morgan, "How Amazon Has Reorganized Around Artificial Intelligence And Machine Learning." <https://www.forbes.com/sites/blakemorgan/2018/07/16/how-amazon-has-re-organized-around-artificial-intelligence-and-machine-learning/?sh=704109107361>. (Access date: 10.10.2021)
- [6] T. Anwar and V. Uma, "Comparative study of recommender system approaches and movie recommendation using collaborative filtering," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 12, no. 3, pp. 426–436, 2021, doi: 10.1007/s13198-021-01087-x.
- [7] Z. Wang, X. Yu, N. Feng, and Z. Wang, "An improved collaborative movie recommendation system using computational intelligence," *J. Vis. Lang. Comput.*, vol. 25, no. 6, pp. 667–675, 2014, doi: 10.1016/j.jvlc.2014.09.011.
- [8] G. Adomavicius and A. Tuzhilin, "Toward the next generation of recommender systems: A survey of the state-of-the-art and possible extensions," *Knowl. Data Eng. IEEE Trans.*, vol. 17, pp. 734–749, Aug. 2005, doi: 10.1109/TKDE.2005.99.
- [9] N. Yi, C. Li, X. Feng, and M. Shi, "Design and implementation of movie recommender system based on graph database," *Proc. - 2017 14th Web Inf. Syst. Appl. Conf. WISA 2017*, vol. 2018-Janua, pp. 132–135, 2018, doi: 10.1109/WISA.2017.34.
- [10] S. R. S. Reddy, S. Nalluri, S. Kunisetti, S. Ashok, and V. Bachu, "Content-Based Movie Recommendation System Using Genre Correlation: Proceedings of the Second International Conference on SCI 2018, Volume 2," 2019, pp. 391–397.
- [11] J. Son and S. B. Kim, "Content-based filtering for recommendation systems using multiattribute networks," *Expert Syst. Appl.*, vol. 89, pp. 404–412, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2017.08.008>.
- [12] Y. Wang, M. Wang, and W. Xu, "A Sentiment-Enhanced Hybrid Recommender System for Movie Recommendation: A Big Data Analytics Framework," *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2018, p. 8263704, 2018, doi: 10.1155/2018/8263704.
- [13] K. N. Jain, V. Kumar, P. Kumar, and T. Choudhury, "Movie Recommendation System: Hybrid Information Filtering System," in *Intelligent Computing and Information and Communication*, 2018, pp. 677–686.
- [14] X. Li, W. Jiang, W. Chen, J. Wu, and G. Wang, "HAES: A New Hybrid Approach for Movie Recommendation with Elastic Serendipity," Aug. 2019, pp. 1503–1512, doi: 10.1145/3357384.3357868.
- [15] C. Christakou, S. Vrettos, and A. Stafylopatis, "A hybrid movie recommender system based on neural networks," *Int. J. Artif. Intell. Tools*, vol. 16, no. 5, pp. 771–792, 2007, doi: 10.1142/S0218213007003540.
- [16] R. Salakhutdinov and A. Mnih, "Bayesian Probabilistic Matrix Factorization Using Markov Chain Monte Carlo," in *Proceedings of the 25th International Conference on Machine Learning*, 2008, pp. 880–887, doi: 10.1145/1390156.1390267.
- [17] L. Baltrunas, T. Makcinskas, and F. Ricci, "Group Recommendations with Rank Aggregation and Collaborative Filtering," in *Proceedings of the Fourth ACM Conference on Recommender Systems*, 2010, pp. 119–126, doi: 10.1145/1864708.1864733.
- [18] T. George and S. Merugu, "A Scalable Collaborative Filtering Framework Based on Co-Clustering," in *Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining*, 2005, pp. 625–628, doi: 10.1109/ICDM.2005.14.

Yeniden Kullanılabilirlik İçin Yazılım Tasarım Kalıplarının Kullanımı

Ali Aydılek¹, Hacer Karacan², Mustafa Dursun¹,

¹ Aselsan A.Ş., ANKARA

² Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, ANKARA

(Alınış / Received: 14.07.2021, Kabul / Accepted: 03.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Yazılım tasarım kalıpları,
yeniden kullanılabilirlik,
sorumluluk zinciri,
ilgilerin ayrılığı

Öz: Günümüzde neredeyse her alanda kullanılan yazılımların geliştirilmesi sürecinde karşımıza çıkan takvim sıkışıklığı problemi ve kalite beklentisi nedeniyle yeniden kullanılabilirlik kavramı ön plana çıkmaktadır. Yazılımlarda yeniden kullanılabilirlik arttırıldığında hızlı, düşük maliyetli yazılımlar geliştirmek mümkün olacaktır. Yazılımların yeniden kullanılabilirliği üzerine literatürde mevcut bulunan çalışmalar incelendiğinde en sık kullanılan yöntemin yazılım tasarım kalıpları kullanımı olduğu ve yeniden kullanılabilirliği ciddi bir oranda arttırdığı görülmektedir. Bu çalışmada, elde edilen bu bulgulara dayanarak daha önce geliştirilmiş olan bir algoritma yönetimine yönelik yeniden kullanılabilirliğini sağlamak adına yazılım tasarım kalıplarının kullanımına dayalı bir geliştirme yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem Aselsan bünyesinde mevcut bir proje uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Using Software Design Patterns for Reusability

Keywords

Software design patterns,
reusability,
chain of responsibility,
separation of concerns

Abstract: Today, the concept of reusability comes to the fore due to the calendar congestion problem and quality expectation that we encounter during the development process of software used in almost every field. When software reusability is increased, it will be possible to develop fast, low-cost software. When the studies available in the literature on the reusability of software are examined, it is seen that the most frequently used method is the use of software design patterns and it increases reusability significantly. In this study, based on these findings, a development method based on the use of software design patterns is proposed to ensure the reusability of a previously developed algorithm management. The proposed method was implemented in an existing project within Aselsan and successful results were obtained.

*İlgili Yazar, e-mail: ali.aydilek1@gmail.com

1. Giriş

Günümüzde neredeyse her alanda yazılım kavramı karşımıza çıkmaktadır. Yazılımların geliştirilmesi sürecinde yaşanan takvim sıkışıklığı problemi ve kaliteli yazılım beklentisi nedeniyle yeniden kullanılabilirlik kavramı ön plana çıkmıştır. Yeniden kullanılabilirlik var olan yazılımın aynı şekilde veya ufak değişikliklerle yeni yazılımda kullanılması olarak tanımlanabilir. Yazılımlarda yeniden kullanılabilirlik arttırıldığında düşük iş gücüyle daha büyük işler yapmak ve dolayısıyla hızlı geliştirilen, düşük maliyetli yazılımlar elde etmek mümkün olacaktır.

Yazılımda yeniden kullanılabilirlik aktif araştırma ve uygulama alanlarından biridir. Yazılımın yeniden kullanımı yalnızca üretkenliği arttırmakla kalmaz, aynı zamanda yazılım ürünlerinin kalitesi ve sürdürülebilirliği üzerinde de

olumlu bir etkiye sahiptir [1]. Yazılımlarda yeniden kullanılabilirliği sağlamak için; yazılım tasarım kalıplarının kullanımı [2-13], yazılım framework kullanımı [14-17], yazılım ürün hattı yaklaşımı [18-22], servis tabanlı sistemler [23-28], konfigüre edilebilir sistem tasarımı [29-33], eski sistemin revize edilmesi[34-37], cephe yönelimli programlama (Aspect-oriented programming) [38-40] gibi çeşitli yöntemler kullanılır. Yazılımın yeniden kullanılabilirliği, bir yazılım bileşenin beklenen yeniden kullanım potansiyelini ifade eden bir özelliktir. Yeniden kullanılabilirliği arttırmak adına yapılması gerekenlerden biri de bileşenleri mümkün olduğunca birbirinden bağımsız şekilde tasarlamak ve kodlamaktır. Bir başka deyişle ilgilerin ayrılması (Seperation of Concern-SoC) ilkesine uygun kodlama ve tasarım yapmaktır. [41-47]

Hürsch ve Lopes [44] ilgilerin ayrılması (SoC) yaklaşımı üzerine bir araştırma yaparak mevcut uygulamaları ve faydalarını değerlendirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda ilgilerin ayrılması yaklaşımının faydalarını, azaltılmış karmaşıklık, daha iyi anlaşılabilirlik, artan esneklik ve yeniden kullanılabilirliğin sağlanması olarak ifade etmişlerdir.

Panunzio ve Vardanega [43] gömülü gerçek zamanlı yazılım geliştirmede ilgilerin ayrılması yaklaşımı ile bileşen tabanlı bir yazılım geliştirme metodu sunmuşlardır. Bileşen modeli, özellikle işlevsel ve işlevsel olmayan konular arasında kaygıların ayrılmasını desteklemek için tasarlanmıştır. Yaklaşımın yazılım varlıklarına farklı ilgilerin dikkatli bir şekilde tahsis edilmesiyle ilgilerin ayrılması sağlanır. Oluşturulan bileşenler eşzamanlılık boyutunda görev, senkronizasyon, zamanlama gibi işlevsel olmayan ilgilerden ayrılmıştır. Bu da farklı işlevsel olmayan gereksinimler altında farklı bağlamlarda doğrudan yeniden kullanılabilmelerini sağlamaktadır.

Zelinsky ve arkadaşları [48] MEMS Program Modeli Oluşturma işlemi için dekoratör tasarım kalıbını önermişlerdir. MEMS, karmaşık bir yapıdır ve insanlığın daha küçük mikrosistemler oluşturmasına izin veren yeni teknolojiler, belirli boyutsal gereksinimleri karşılayan daha karmaşık sistemler oluşturmaya da izin vermektedir. MEMS sistemlerinin önde gelen tiplerinden biri N-katmanlı yapıdır. Bu nedenle N-katmanlı yapıya dayalı olarak oluşturulan program modelinin esnek olması ve MEMS ile ilgili farklı yazılım uygulamaları geliştirirken kullanılması mümkün olmalıdır. Bunu sağlayabilmek adına dekoratör yazılım tasarım kalıbının uygulanmasını öne sürmüşler ve uygulamışlardır. Yaptıkları çalışma sonucunda ortaya koydukları yapı esnek bir yapı olmuştur. Çalışma zamanında özellikler eklenebilir ve kaldırılabilir. Ayrıca geliştirmiş oldukları sisteme yeni bir dekoratör eklemenin de kolay olduğunu belirtmişlerdir.

Tasarım kalıpları yeniden kullanılabilirlik için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Ampatzoglou [65] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada tasarım modellerinin, sınıflarının ve yazılım paketlerinin yeniden kullanılabilirliğini deneysel olarak araştırmışlardır. Bu araştırma için 100 açık kaynaklı proje üzerinde bir çalışma yapmışlardır. İnceledikleri yöntemler arasında yazılım tasarım kalıbı kullanımı önemli bir başarıyı göstermiştir.

Anguswamy ve Frakes [49] karmaşıklık ve yeniden kullanım tasarım ilkeleri ile kod bileşenlerinin yeniden kullanılabilirliği arasındaki ilişki üzerine bir çalışma yapmışlardır. Bir bileşenin yeniden kullanılabilirliğini, bileşeni yeniden kullanan kişiler tarafından algılanan yeniden kullanım kolaylığı olarak ölçülebileceğini ifade etmişler ve yapmış oldukları çalışmaya otuz dört denek katılmış ve her denek 5 bileşeni tekrar kullanarak 170 yeniden kullanım örneği oluşturulmuştur. Çalışmalarında bir bileşenin karmaşıklığı ve yeniden kullanım kolaylığı arasındaki ilişkiyi bir regresyon analizi ile analiz etmişlerdir. Çalışmalarında karmaşıklık arttıkça yeniden kullanım kolaylığının azaldığı görülmüştür, ancak korelasyon anlamlı değildir. Bir diğer sonuç ise yeniden kullanım tasarım ilkelerinden olan iyi tanımlanmış arayüzün, netliğin ve anlaşılabilirliğin, yeniden kullanım kolaylığını önemli ölçüde artırdığını görmüşlerdir.

Bir başka çalışmada Ahmaro ve arkadaşları [2] yeniden kullanılabilirliğin önemli bir kavram olduğunu ve Malezya'da bu konu hakkında az araştırma olduğu için bu konuda bir çalışma yaptıklarını belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada Malezya'da benimsenen yazılım yeniden kullanılabilirlik yaklaşımlarını belirlemeye çalışmışlardır. Bunun için bir anket hazırlayıp Malezya'daki 183 yazılım mühendisine göndermişler ve cevaplarını toplayıp analiz etmişlerdir. Araştırma sonucunda kullanılan yöntemlerin yazılım tasarım kalıpları, model tabanlı geliştirme, uygulama çerçeveleri, servis tabanlı geliştirme olduğu gözlemlenmiştir. En çok kullanılan 2 yöntem ise sırasıyla yazılım tasarım kalıpları ve bileşen tabanlı geliştirmedir.

Chen ve arkadaşları [3] yeniden kullanımı sağlayabilmek adına gemi istifleme sisteminde adaptör tasarım kalıbını uygulamışlardır. Bu sayede, sisteme uygun bir şekilde yeni işlevler eklemenin kolaylaşacağını ve böylece kodun yeniden kullanılabilirliğinin ve sürdürülebilirliğinin geliştirileceğini öne sürmüşlerdir.

Kerji [4] yapmış olduğu çalışmada farklı uygulamalara sahip belirli yazılım gereksinimlerinin uygulanmasını basitleştirmek için Web uygulamasına Dekoratör Tasarım Modeli önermiş ve uygulamıştır. Standart web sayfasına ek olarak oturum açan kullanıcı türüne bağlı olarak, gerekli XHTML kodu oluşturulacak ve tarayıcıya işlenecektir.

Çalışmada XML web uygulamasının değişen gereksinimlere uyarlanabilirliğini artırmak için kullanılır. XML kullanımı, uygulamayı gereksinimdeki değişikliklere karşı esnek hale getirmiş ve bu da kod bakımını kolaylaştırmıştır. Ortaya çıkan uygulama, performansta gelişme, yeniden kullanılabilirliği ve bakım kolaylığını artırmıştır.

Sorumluluk zinciri (Chain of Responsibility) yazılım tasarım kalıbı önemli tasarım kalıplarından biridir. Bu tasarım kalıplarında zincir halkaları sabittir. Shirazi ve arkadaşları [5] ise dinamik zincir halkalarına sahip olmayı mümkün kılan yeni bir tür Sorumluluk Zinciri tasarım kalıbı önermişlerdir. Bu dinamik zincirin halkaları, önceliklerine göre değiştirilebilen ve öncelik sürecinde kullanılabilen halka pozisyonunu ifade eder. Böylelikle daha esnek bir yapı elde edilmektedir.

Sorumluluk zinciri (Chain of Responsibility) tasarım kalıbı bir zincire benzer ve sorumluluk zincirinin bir işleyicisi, talebi ele alır veya talep Sorumluluk zincirinin bir sonraki işleyicisine iletir. Yueping ve arkadaşları [6] yaptıkları çalışmada, gözlemci örüntüsünün bir tür bileşik örüntü haline gelmesi için sorumluluk zinciri örüntüsüne gömülmesini önermişlerdir. Böylelikle sorumluluk zinciri örüntüsünün yeteneğinin güçleneceğini ve daha esnek olabileceğini belirtmişlerdir.

Aygıt ağaçları, düğüm özelliklerine sahip gömülü bir sistem içindeki aygıtların ve çevre birimlerini tanımlayan yapılarıdır. Geliştiriciler aygıt ağaçlarının yapısı gereği aygıt ağacı uygulamaları oluştururken çoğunlukla zorluklarla karşılaşmaktadırlar. Bununla beraber farklı mikroişlemci mimarilerine ait aygıt ağacı geliştirilmesi zaman alıcı bir süreç olabilmektedir. Arslan ve Kardas [50] bu zorlukları aşabilmek için aygıt ağacı yazılımının model güdümlü olarak geliştirilmesini sağlayan DSML4DT isimli alana özgü bir modelleme dili önermişlerdir. Önerdikleri sistemi akıllı ulaşım sistemleri geliştiren bir firmada değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak aygıt ağacı yapılarının %76'sının önerdikleri model yoluyla otomatik olarak geliştirilebileceğini göstermişlerdir. Mevcut sistemle kendi önerdikleri yöntemi karşılaştırdıklarında, önerdikleri yöntemin geliştirme sürecini yarıya indirdiğini belirtmişlerdir. Geliştiricilerden aldıkları geri bildirimler sonucunda önerdikleri yöntemin yeniden kullanılabilirliği arttırdığı sonucuna varmışlardır.

Günümüzde mikro servis mimarisi sıklıkla kullanılmaktadır. Büyük uygulamalar mikro servis mimarisiyle birlikte küçük servislere bölünerek yönetilebilmektedir. Mikro servislere olan ilginin artması mikro servis mimarisi ile geliştirme yapılırken farklı yaklaşımların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu yaklaşımlardan biri de model güdümlü geliştirmedir. İçöz ve Kalıpsız [51] yaptıkları çalışmada mikro servis mimarisi kullanılarak restful web servislerinin geliştirilmesi için model güdümlü bir yöntem önermişlerdir. Yaptıkları değerlendirmeler sonucunda önerdikleri yöntemin yazılımın verimliliğini arttırdığını, geliştirme sürecini hızlandırdığını ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada yeniden kullanılabilirlik için yazılım tasarım kalıplarının kullanılması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Bu bulgulara dayanarak daha önce geliştirilmiş bir algoritma yönetiminin yeniden kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla yazılım tasarım kalıplarının kullanılmasına dayalı bir yöntem önerilmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Yeniden Kullanılabilirlik

Yazılımın yeniden kullanımı, yeni bir sistem oluşturmak için mühendislik bilgisinin veya mevcut yazılım bileşenlerinden elde edilen eserlerin kullanılmasıdır [52-55]. Bir başka deyişle yeniden kullanılabilirlik geçmişte gerçekleştirilmiş olan yazılım geliştirme etkinliklerinde elde edilen bilginin yeni sistemler geliştirmede kullanılması olarak tanımlanmaktadır.

2.2. Yazılım Tasarım Kalıpları

Tasarım kalıplarının varlığı ilk olarak bir mimar olan Christopher Alexander [56] tarafından ortaya konulmuştur. Christopher Alexander yaptığı araştırmalar sonunda benzer problemleri çözmek için oluşturulan ve beğenilen (kaliteli) mimari yapılarda ortak özellikler (benzerlikler) olduğunu belirlemiştir. Bu benzerliklere kalıplar (patterns) adını vermiştir. Her kalıp gerçek dünyada defalarca karşılaşılan bir problemi ve o problemin çözümünde izlenmesi gereken temel yolu tarif etmektedir. Bir problemle karşılaşan tasarımcı eğer daha önce benzer problemle karşılaşan tasarımcının uyguladığı başarılı çözümü biliyorsa (kalıp) her şeyi yeniden keşfetmek yerine aynı çözümü tekrar uygulayabilir. Tasarım kalıpları gereksinimlerden tasarıma ve uygulamaya kadar uzanan ve her aşamada değişkenlik gösteren karmaşık soyutlamalardır. Tasarım kalıpları denenmiş ve test edilmiş, kanıtlanmış programlama ve kod yapılandırma yolları olarak da tanımlanabilir [57-59].

Toplam 23 adet olan bu tasarım kalıpları temel olarak Yaratımsal, Yapısal ve Davranışsal olmak üzere 3 başlığa ayrılır.

2.2.1. Yaratımsal Tasarım Kalıpları

Yaratımsal tasarım kalıpları, tek önerisi nesnelere ve sınıfları yaratma, başlatma ve yapılandırma işini kolaylaştıran kalıplardır. Yazılım sistemindeki nesnelere yaratılışı hakkında yol gösterirler. Bu tür desenler, nesnelere örneklerini oluşturmamız, bu nesnelere depolamamız, nesnelere kopyalarını oluşturmamız gerektiğinde kullanışlıdır [58-60].

2.2.2. Yapısal Tasarım Kalıpları

Yapısal tasarım modelleri, nesnelere daha büyük, daha yapılandırılmış bir yapıda birleştirmenize yardımcı olur. Yapısal sınıf kalıpları, genel olarak arayüzleri veya uygulamaları oluşturmak için kalıtımı kullanılır [59,62].

2.2.3. Davranışsal Tasarım Kalıpları

Davranışsal tasarım modelleri, bir kod tabanındaki birden çok nesne arasındaki iletişime yardımcı olmaya odaklanırlar. Davranış kalıpları, algoritmalar ve nesnelere arasındaki sorumlulukların atanması ile ilgilidir. Davranışsal tasarım kalıpları sadece nesnelere veya sınıfların kalıplarını değil, aynı zamanda bunlar arasındaki iletişim kalıplarını da tanımlar. Bu modeller, çalışma zamanında takip edilmesi zor olan karmaşık kontrol akışını karakterize eder [59,62].

Tiplerine göre tasarım kalıpları Şekil 1'de verilmiştir.

Yaratımsal Tasarım Kalıpları	Yapısal Tasarım Kalıpları	Davranışsal Tasarım Kalıpları
Factory Abstract Factory Builder Prototype Singleton	Adapter Composite Decorator Facade Flyweight Mixin Module Proxy	Chain of Responsibility Command Iterator Observer Mediator Memento Promises Strategy

Şekil 1. Tiplerine göre tasarım kalıpları

2.3. Uygulanan Yöntem

Önerilen yöntemin uygulandığı Aselsan bünyesinde geliştirilen projelerde çok sayıda algoritma kullanılmaktadır. Bu algoritmalar ilgili algoritma birimi tarafından geliştirilmekte ve Yazılım Konfigurasyon Birimi tarafından kullanılmaktadır. Bu algoritmaların yeniden kullanımı ile ilişkili bazı problemler şu şekildedir:

1. Projeden projeye bu algoritmaların içerikleri değişebilir.
2. Girdi ve çıktıları değişebilir.
3. Bir projede kullanılan algoritma diğer projede kullanılmayabilir.
4. Aynı proje içerisinde farklı durumlara göre bu algoritmaların kullanılma sırası çalışma zamanında değişebilmektedir. Örneğin projede kullanılacak A1, A2, A3 olmak üzere 3 tane algoritma olduğunu varsayalım;
 - o Durum 1 Algoritma çalışma sırası: A1-A2
 - o Durum 2 Algoritma çalışma sırası: A1-A3
 - o ... vb olabilir.

Daha önce geliştirilmiş olan sistemlerde bu problemlerin çözümü kodda büyük değişiklikler yapılarak çözümlenmiş durumdadır. Anlaşılabilirlik son derece düşüktür. Ayrıca bir algoritma çıkarılmak veya eklenmek istendiğinde birçok yer etkilemekte ve etkilediği yerlerde değişiklikler gerektirmektedir. İlgilerin ayrılığı ilkesine bağlı bir geliştirme yapılmamıştır. Bu nedenle de değişiklik yapma maliyeti yüksektir ve yeniden kullanıma uygun bir kod yapısı yoktur.

Yapılan literatür taraması sonucunda yazılım tasarım kalıplarının kullanımının yazılımda yeniden kullanılabilirliği artırdığı görülmüştür ve yeniden kullanılabilirliği sağlamak adına en çok tercih edilen yöntemlerden biridir.

Önerilen yöntemde algoritmaların ayrı bir modül içerisinde ele alınması kararlaştırılmıştır. Algoritmaların bir sıra içerisinde çalışacağı göz önüne alındığında ve literatüre de bakıldığında bunun için en doğru tasarım kalıbının Sorumluluk Zinciri (Chain of Responsibility) tasarım kalıbı olduğu görülmüştür.

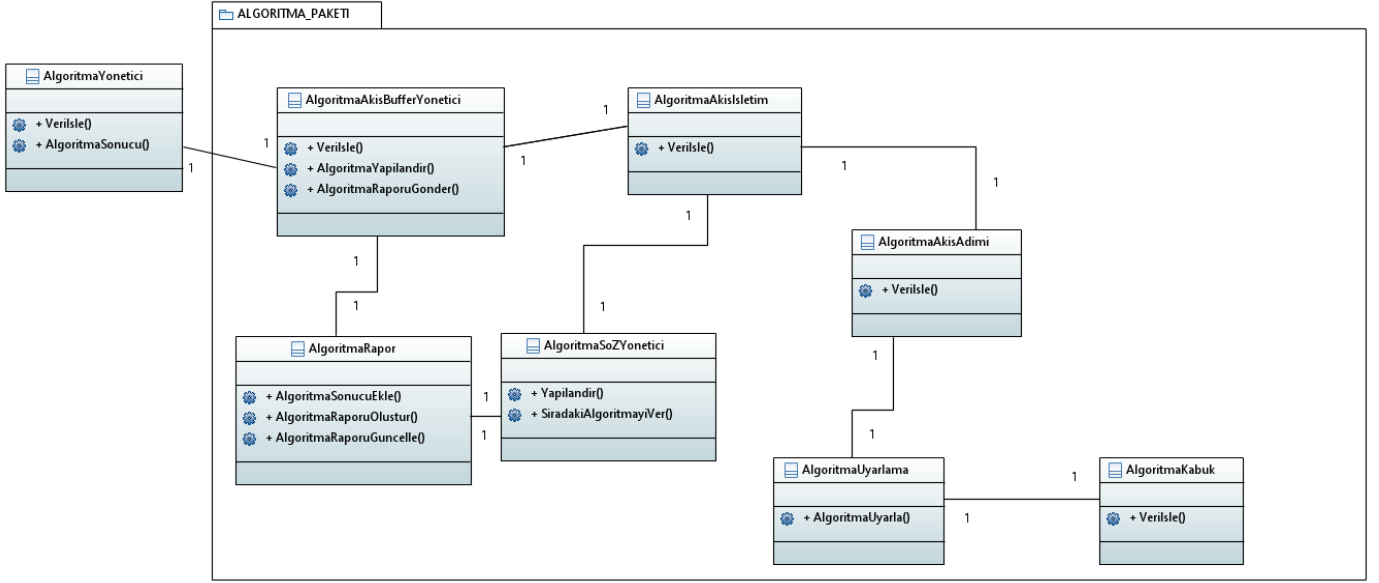
Sorumluluk zinciri tasarım kalıbının seçilmesinin nedenleri şu şekilde sıralanabilir;

- Zincirin düğümleri çalışma sırasında dinamik olarak eklenebilir veya çıkarılabilir.
 - Geliştirmekte olduğumuz algoritma modülünde algoritmaların işleyiş sıraları durumlara göre değişiklik gösterebildiği için çalışma sırasında oluşan farklı durumlarda farklı zincirlerin kullanılabilmesini sağlayacaktır.
- Bir düğümün, zincirdeki bir sonraki düğümün isteği nasıl ele aldığını bilmesi gerekmez.
 - Yeni bir algoritma ekleneceği zaman diğer algoritmaların işleyişine bakılması gerekmeyecektir. Bağımsız olarak eklenebilecektir.
- Bir zincir düğümü çıkarıldığında diğer düğümler bu durumdan etkilenmez.
 - Önerdiğimiz yöntemde her algoritma bir düğümü ifade etmektedir. Bir algoritma bir projede kullanılırken başka bir projede kullanılmayabilir. Kullanılmayan algoritmayı zincirden çıkardığımızda diğer düğümler bu durumdan etkilenmeyeceği için başka bir değişik yapmaya gerek kalmadan ilgili algoritmayı zincirden çıkarmak yeterli olacaktır.

Algoritma modülünde kullanılan sınıflar ve veri yapıları şu şekildedir:

1. Algoritma Akış Buffer Yönetici Sınıfı: Algoritma işleyişlerinin kontrol edecek olan sınıftır. Ayrıca algoritmalara ait veriler burada tutulacaktır. Modülün dışarıyla olan arayüzünü sağlayacaktır.
2. Algoritma Akış İşletim Sınıfı: Akışları kontrol edecek olan sınıftır.
3. Algoritma Akış Adımı Sınıfı: Algoritma akış adımlarını kontrol edecek olan sınıftır.
4. Algoritma Uyarlama Sınıfı: Mevcut verilerden algoritmaya gerekli olan girdileri sağlayacak olan sınıftır.
5. Algoritma Kabuk Sınıfı: Algoritma kütüphanesi ile olan arayüzü sağlayacak olan sınıftır.
6. Algoritma SoZ (Sorumluluk Zinciri) Yönetici Sınıfı: Algoritma akışlarının yapılandırıldığı ve ilgili akışa ait algoritma sırasını yönetecek olan sınıftır. Sorumluluk zinciri tasarım kalıbının uygulandığı sınıftır.
7. Algoritma Rapor Sınıfı: Algoritma sonuçlarında bir rapor oluşturacak olan sınıftır.
8. AkisBufferlari: İçerisinde algoritma kullanıcı tarafından gönderilen veriyi, algoritma girdi çıktı bilgilerini ve dışarıdan algoritmaların kullanacağı bilgileri barındıran veri yapısıdır.

Önerilen yönteme ait sınıf diyagramı Şekil 2'de verilmiştir. Ticari gizlilik nedeniyle çözümün anlaşılması için yeterli olan belli başlı fonksiyon isimleri verilmiştir. AlgoritmaUyarla ve AlgoritmaKabuk sınıfları temel sınıflar olmak üzere yeni eklenecek olan uyarlama ve kabuk sınıfları bu sınıflardan türetilmektedir.



Şekil 2. Önerilen yönteme ait sınıf diyagramı

Önerilen sistemde her durum bir akışı ifade etmektedir. İlgili algoritmalar ilgili sırayla akışlara eklenecektir. Sistemde hangi algoritmaların hangi sıralamada kullanılacağı için Algoritma SoZ Yoneticisi sınıfındaki Yapilandir() metodu kullanılacaktır.

Önerilen yöntem iki aşamada değerlendirilebilir;

1. Algoritma Kullanıcı, Algoritma Yönetici ve Algoritma Modülü arasındaki işlemler
2. Algoritma Modülü içerisindeki işlemler

2.3.1. Algoritma kullanıcı, algoritma yönetici ve algoritma modülü arasındaki işlemler

Algoritma Kullanıcı, Algoritma Yönetici ve Algoritma Modülü arasındaki işlemlere ait sıra diyagramı Şekil 3'te verilmiştir. Bu işlemler aşağıda ifade edilmiştir;

1. Algoritma Yapılandırılması

Algoritma modülünün kullanılabilmesi için öncelikle yapılandırılması gerekmektedir. Bu işlem için Algoritma Kullanıcı tarafından gerekli parametrelerle Algoritma Yönetici sınıfına ait AlgoritmaYapilandir() metodu çağrılır. Algoritma Yönetici sınıfı bu isteği aldığı anda AlgoritmaAkisBufferYoneticisi sınıfına ait AlgoritmaYapilandir() metodunu çağırır.

2. Verinin İşlenmesi

Eldeki verinin işlenebilmesi için Algoritma Kullanıcı AlgoritmaYoneticisi sınıfının VeriIsle() metodunu çağırır. AlgoritmaYoneticisi bu isteği aldığı anda gelen parametrelere göre verinin sistemde var olan hangi akışın kullanılarak işleneceğini belirler ve bu akışı çalıştırmak üzere AkisBufferYoneticisi sınıfına ait VeriIsle() metodunu çağırır.

3. Algoritma Raporunun Alınması

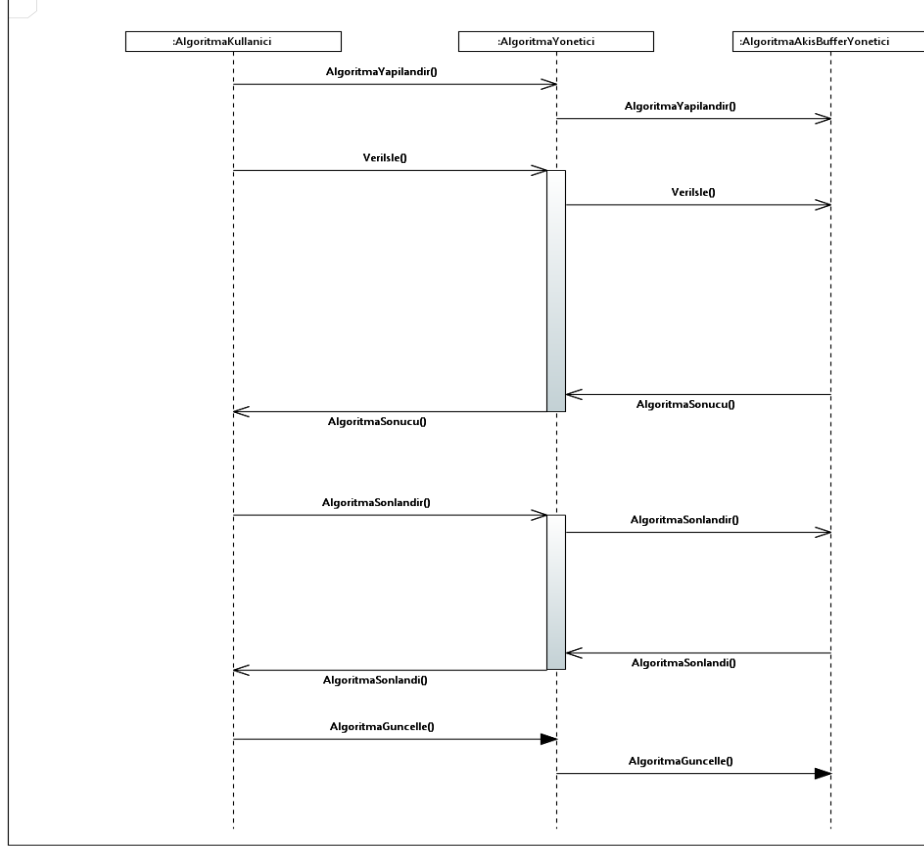
Algoritma Modülü veri işleme aşamasını tamamlayıp sonuçları raporladığında AlgoritmaYoneticisi sınıfına ait AlgoritmaSonucu() metodunu çağırır. AlgoritmaYoneticisi bu isteği aldığı anda gerekli çevrimleri yaparak Algoritma Kullanıcıya algoritma sonucunu iletir.

4. Algoritma Sonlandırılması

Algoritma Kullanıcı algoritmaların sonlandırılmasını istediğinde Algoritma Yönetici sınıfına ait Algoritma Sonlandır metodunu çağırır. Algoritma Yönetici bu isteği Algoritma Akış Buffer Yönetici sınıfına aktarır.

5. Algoritma Parametrelerinin Güncellenmesi

Sistem çalışırken bazı değişimler sonucu Algoritmaların ayar ve iklendirme parametrelerinin güncellenmesi gerekebilir. Böyle bir durum olduğunda işleyişi bozmadan güncelleme yapılabilmesi gerekir. Bu işlem için Algoritma Kullanıcı Algoritma Yönetici sınıfına ait AlgoritmaGuncelle() metonu çağırır. Algoritma Yönetici sınıfı bu isteği Algoritma Akış Buffer Yönetici sınıfına iletir.



Şekil 3. Algoritma Kullanıcı, Algoritma Yönetici ve Algoritma Modülü arasındaki işlemlere ait sıra diyagramı

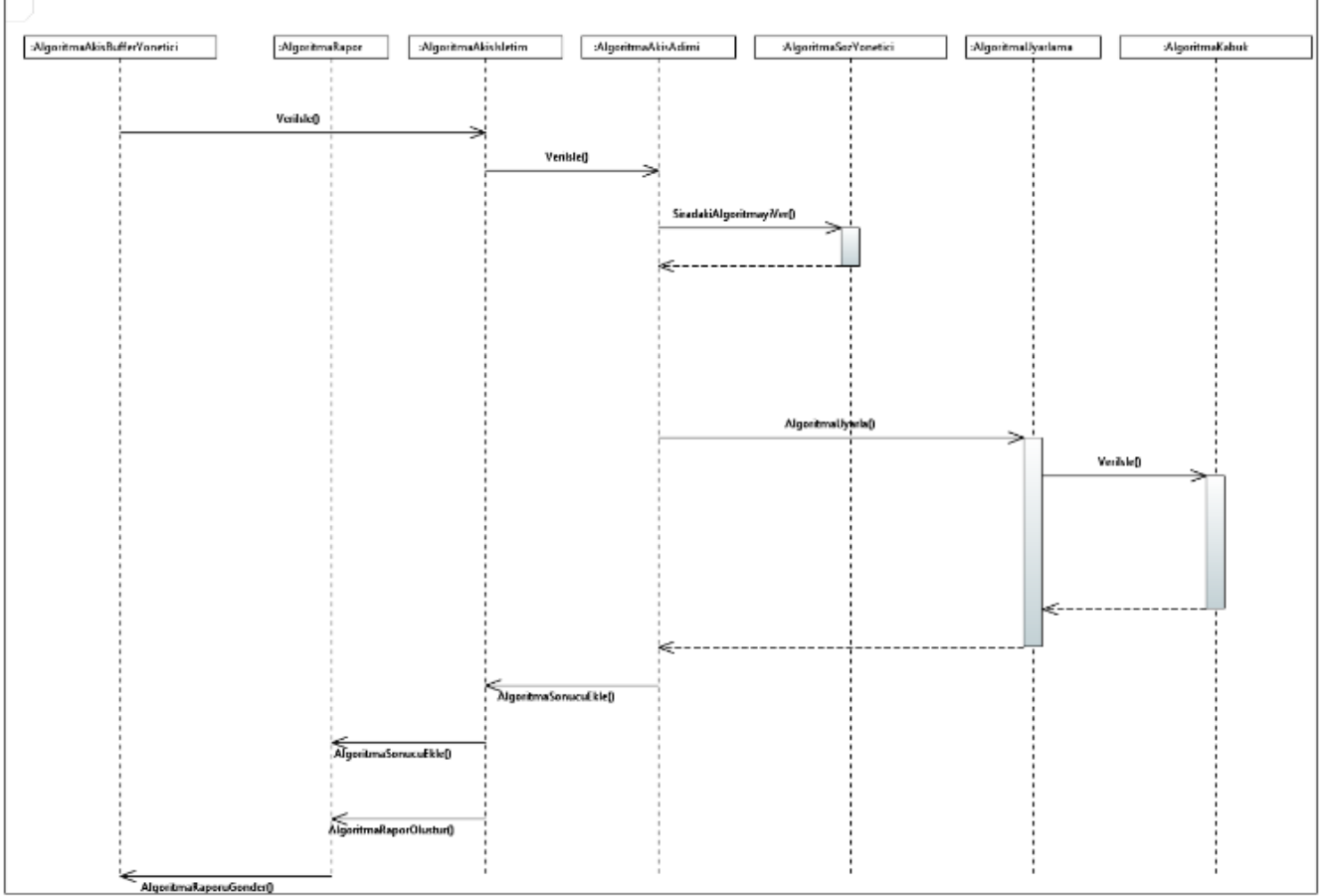
2.3.2. Algoritma modülü içerisindeki işlemler

Algoritma Modülü içerisindeki işlemlere ait sıra diyagramı Şekil 4'te verilmiştir. Bu işlemler aşağıda ifade edilmiştir;

Verinin İşlenmesi ve Raporlanması Aşamaları;

1. AlgoritmaAkisBufferYoneticisi sınıfına ait VeriIsle() metodu çağrıldığında ilgili akış ait rAkisBufferlari oluşturulur.
2. AkisIsletim sınıfına ait VeriIsle() metodu çağrılır.
3. AkisIsletim sınıfı Algoritma SoZ Yoneticisi sınıfına ait olan SiradakiAlgoritmayiVer() fonksiyonunu çağırarak hangi algoritmayı işleteceğine karar verir.
4. İlgili algoritmanın uyarılma sınıfı yardımıyla eldeki veriler ve eğer gerekiyorsa önceki algoritmaların sonuçları kullanılarak algoritma girdisi sağlanır.
5. Algoritma girdisi ayarlandıktan sonra Algoritma Kabuk yardımıyla algoritma çağrılır ve sonucu alınır.

6. Akış içerisindeki algoritmalar sırayla çalıştırılır.
7. Akışa ait tüm algoritmaların çalışması tamamlandığında Algoritma Rapor sınıfı yardımıyla sonuç raporu oluşturulur
8. Sonuç raporu Algoritma Yönetici sınıfına gönderilir.



Şekil 4. Algoritma Modülü içerisindeki işlemlere ait sıra diyagramı

Bu çalışmada Sorumluluk zinciri (Chain of Responsibility) tasarım kalıbı dışında Adaptör tasarım kalıbı da kullanılmıştır. Algoritma modülünün kullanıcısıyla arasında adaptör görevi yapacak olan Algoritma Yönetim sınıfı tasarlanmıştır. Bu sınıf algoritma kullanıcı ile algoritma modülü arasında adaptör görevi görecektir. Böylelikle algoritma modülü kullanıcıdan bağımsız olarak çalışacaktır. Bu şekilde proje bağımlılığının azaltılması amaçlanmaktadır. Proje farklılıklarında algoritma modülünün aynı şekilde kullanılarak Algoritma Yönetim sınıfında değişiklik yapılması amaçlanmaktadır.

3. Bulgular

Günümüzde neredeyse her alanda kullanılan yazılımların geliştirilmesi sürecinde karşımıza çıkan takvim sıkışıklığı problemi ve kalite beklentisi nedeniyle yeniden kullanılabilirlik kavramı ön plana çıkmaktadır. Yeniden kullanılabilirlik yazılım güvenilirliğini artırır, süreç riskini azaltır, geliştirme sürecini hızlandırır ve iş gücünün optimum seviyede kullanılmasını sağlar. [54,63-64] Bu nedenlerden dolayı bu makalede yeniden kullanılabilirlik kavramı ele alınmış ve yeniden kullanılabilirliği sağlamak adına bir çalışma yapılmıştır.

Daha önce yapılan çalışmalara bakıldığında yazılım yeniden kullanılabilirliğini sağlamak ve arttırmak için en çok uygulanan yöntemlerden birisi yazılım tasarım kalıplarının kullanılmasıdır [2,49,65]. Daha önceki çalışmalarda yazılım tasarım kalıbı uygulamalarından başarılı sonuçlar elde edilmiştir. [2-8,13]. Geçmiş çalışmalar referans alınarak bu çalışmada da yeniden kullanılabilirliği sağlamak adına yazılım tasarım kalıbı kullanılmış ve başarılı bir sonuç elde edilmiştir.

Uygulanan projede verinin belli algoritmalar kullanılarak işletilip raporlanması gerekmektedir. Algoritmalar art arda kullanıldığı ve bir algoritmanın sonucu diğer algoritma tarafından kullanılabilirdiği için ve literatürde de yeniden kullanılabilirlik için başarılı sonuçlar ortaya koyan Sorumluluk Zinciri tasarım kalıbının uygulanması doğru bulunmuştur. [5-6,59]

Sorumluluk zinciri tasarım kalıbının yanı sıra Adaptör tasarım kalıbı da uygulanmıştır. Algoritma Yönetici sınıfı Algoritma Kullanıcı ile Algoritma Modülü arasında adaptör görevi görecektir. Böylece Algoritma Kullanıcı, Algoritma Modülünün arayüzleri ve içeriğinden bağımsız olacaktır. Projeden projeye oluşabilecek bazı farklılıklarda Algoritma Yönetici sınıfında düzenlemeler yapılarak Algoritma Modülü değiştirilmeden kullanılabilir.

Yeniden kullanılabilirliği sağlamak için yapılması gerekenlerden birisi de ilgilerin ayrılığı ilkesine uygun tasarım ve geliştirme yapmaktır [41,42]. Önerilen Algoritma Modülü projeden bağımsız olacak şekilde tasarlanmış ve uygulanmıştır. Algoritma Kullanıcı ve Algoritma Modülü arasında iletişimi sağlamak için Algoritma Yönetici sınıfı tasarlanmıştır. Algoritma Kullanıcı Algoritma Modülünün içeriğinden haberdar değildir ve içeriği Algoritma Kullanıcıyı etkilemez. Algoritma Modülünün genel olarak amacı veriyi işlemek ve bu veriden bir rapor oluşturmaktır. Bu sayede, Algoritma Modülünün içinde yapılacak olan değişiklik Algoritma Kullanıcısını etkilemeyecektir.

Projeden projeye Algoritma Modülü'nden beklenen sonuç raporu formatı değişebilir. Bu durumda yapılması gereken yalnızca Algoritma Modülü içerisindeki Algoritma Rapor sınıfında değişiklik yapmak olacaktır.

Yazılımda var olmayan bir algoritma ekleneceği zaman bu algoritmayı uyarılama ve kabuk sınıfları yazılıma eklenecek ve gerekli kodlama yapılacaktır. Bunun ardından bu algoritma adımı ilgili akışa Algoritma SoZ Yönetici sınıfı içerisindeki yapılandır() metodu kullanılarak eklenecektir. Projede var olan algoritma başka projede kullanılmayacağı zaman sadece algoritma akışlarından çıkarılması yeterli olacaktır.

Algoritma modülünün yeniden kullanılabilirliğini artırmak için işlenmek üzere algoritmaya gelen veri char* şeklinde ele alınmıştır. Veri ilgili metodun içinde projeye özgü tipe dönüştürülmektedir. Böylelikle farklı projelerde girdi tipi değiştiğinde metodların argümanlarının değişimine gerek duyulmayacaktır. Arayüzler aynı şekilde kullanılabilir olacaktır.

Yazılım kalitesinin ve yeniden kullanılabilirliğinin değerlendirilmesi için kullanılan yöntemlerden biri nesne yönelimli tasarım metriklerinin kullanılmasıdır. [66-73] Önerilen yöntemin başarısını ölçmek için Chidamber ve Kemerer'in geliştirdiği metrik kümesinden yararlanılmıştır [75]. İlgili metrikler ve tanımları [66-73] Şekil 5'te verilmiştir.

Metrik	Tanımı
LCOM (Lack of Cohesion in Methods/Metotlardaki uyum eksikliği)	Ayrık yöntem çiftlerinin sayısı ile kullanılan benzer yöntem çiftlerinin sayısını çıkarmak için kullanılır.
DIT (Depth of Inheritance Tree / Kalıtım ağacının derinliği)	Bir sınıfın, o sınıftan kalıtım ağacının köküne kadar olan maksimum yol uzunluğunu ifade eder.
CBO (Coupling between object classes/Nesne sınıfları arasındaki bağımlılık)	Belirli bir sınıfın bağımlı olduğu sınıfların sayısını ifade eder.
NOC (Number of Children/Alt sınıf sayısı)	Bir sınıftan direkt olarak türetilmiş sınıfların sayısını ifade eder.
RFC (Response For a Class/Sınıfın tetiklediği metot sayısı)	Bir sınıfın nesnesi tarafından alınan bir mesaja yanıt olarak potansiyel olarak yürütülebilecek yöntemlerin sayısıdır.
WMC (Weighted Methods Per Class / Sınıfın ağırlıklı metot sayısı)	Bir sınıftaki yöntemlerin ağırlıklı toplamını ifade eder.

Şekil 5. Kullanılan metrikler ve tanımları [75]

Metriklerin ölçümü için “Understand” adlı uygulama kullanılmıştır. Şekil 6’da eski projeye ait nesne yönelimli tasarım metrikleri, Şekil 7’de ise önerilen yöntemin uygulandığı projenin nesne yönelimli tasarım metrikleri verilmiştir.

SINIF	LCOM	DIT	CBO	NOC	RFC	WMC
Algoritma	87	1	7	1	41	40
AlgoritmaKullanicisi	0	0	1	1	7	7
AlgoritmaParametreleri	72	0	0	1	10	10
AlgoritmaTakipcisi	65	1	8	0	23	16
AlgoritmaUretici	0	1	3	0	3	3
XY_Algoritmasi	95	2	24	0	189	148
XY_AlParametreleri	92	1	0	0	50	40

Şekil 6. Eski projeye ait nesne yönelimli tasarım metrikleri

SINIF	LCOM	DIT	CBO	NOC	RFC	WMC
AlgoritmaAkisAdimi	75	1	6	0	28	28
AlgoritmaAkisBufferYonetici	94	1	17	0	71	61
AlgoritmaAkisIsletim	83	1	10	0	37	37
AlgoritmaXKabuk	71	1	12	0	24	7
AlgoritmaXUyarlama	0	1	1	0	11	3
AlgoritmaYKabuk	91	1	17	0	32	15
AlgoritmaYUyarlama	0	1	6	0	14	6
AlgoritmaKabuk	100	0	4	2	17	17
AlgoritmaUyarlama	100	0	4	2	17	17
AlgoritmaRapor	89	0	21	0	38	38

Şekil 7. Önerilen yöntemin uygulandığı projeye ait nesne yönelimli tasarım metrikleri

WMC değeri bir sınıftaki fonksiyonların sayısını ifade eder. WMC değeri büyüdükçe sınıf projeye özgü olma yolunda ilerler. Bu nedenden ötürü de yeniden kullanılabilirlik düşer. WMC değeri büyüdükçe aynı zamanda bakım maliyeti de artar. [66-73] Şekil 5 ve Şekil 6’ya bakıldığında önerilen yönteme ait sınıflardan en büyük WMC değerine sahip sınıfın WMC değeri 61 iken daha önce geliştirilen yönteme ait sınıflar arasında en büyük WMC değerine sahip sınıfın WMC değeri ise 148’dir. Bu metriğe bakıldığında önerilen yöntemin yeniden kullanılabilirliğinin eski yönteme göre daha yüksek olduğu çıkarımı yapılabilir. Ayrıca eski yöntemdeki bu en yüksek WMC değerine sahip sınıf (XY_Algoritmasi sınıfı) projeden projeye farklılık göstermesi ve değiştirilmesi beklenen sınıftır. Bu nedenden ötürü de eski projenin yeniden kullanılabilirliği zordur. Önerilen yöntemde projeden projeye farklılık göstermesi beklenen sınıfların WMC değerleri en büyük olanının (AlgoritmaXKabuk sınıfı) WMC değeri ise 7’dir. Değiştirilmesi ve bakım maliyeti düşüktür.

NOC değeri bir sınıftan direkt olarak türetilmiş sınıfların sayısını ifade eder. [66-73] Bilindiği üzere kalıtım yeniden kullanılabilirliği sağlamanın ve artırmanın yöntemlerinden biridir. [70,74] Bu nedenle NOC değeri büyüdükçe yeniden kullanılabilirliğin de artacağı sonucuna varılabilir. Şekil 5 ve Şekil 6’ya bakıldığında NOC değeri en büyük sınıfların AlgoritmaUyarlama ve AlgoritmaKabuk sınıflarının olduğu görülmektedir. Projeden projeye farklı olması beklenen yerlerden en önemlileri algoritma girdi ve çıktılarının değişmesidir. Bu durumda da AlgoritmaUyarlama ve AlgoritmaKabuk sınıflarında değişiklik yapılması gerekecektir. Bu sınıfların yeniden kullanılabilirliği artıracağı NOC değerlerine bakarak görülebilir.

CBO değeri bir sınıfın bağımlı olduğu sınıfların sayısını ifade eder. Nesne sınıfları arasında aşırı bağlantı, modüler tasarıma zarar verir ve yeniden kullanımı önler. [66-73]. CBO değerlerine bakıldığında önerilen yöntemin uygulandığı projenin eski projeye göre daha düşük CBO değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu da önerilen yöntemim daha modüler ve yeniden kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada yeniden kullanılabilirliği sağlamak için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Yapılan literatür taramasında yeniden kullanılabilirliğin yazılım geliştirme için oldukça önemli bir kavram olduğu ve yeniden kullanılabilirliği sağlamak ve artırmak için en çok uygulanan yöntemlerden birinin yazılım tasarım kalıbı kullanımının olduğu görülmüştür. Bu bulgulara dayanarak daha önce geliştirilmiş bir algoritma yönetim modülünün yeniden kullanılabilirliğini sağlamak amacıyla yazılım tasarım kalıplarının kullanılmasına dayalı bir yöntem önerilmiş ve Aselsan bünyesindeki geliştirme süreci devam eden mevcut bir projeye uygulanmıştır. Bununla birlikte ilgilerin ayrılığı ilkesine uygun olarak yazılım geliştirmenin de yeniden kullanılabilirliği artırdığı literatürde gözlemlendiği için ilgili modül ilgilerin ayrılığı ilkesine uygun olarak geliştirilmiştir.

Literatürdeki çalışmalara bakıldığında [3-6] yeniden kullanılabilirliği sağlamak için tasarım kalıplarının kullanıldığı çalışmalar ile önerdiğimiz yöntem benzer sonuçlar ortaya koymuştur. Tasarım kalıbının kullanımı yeniden kullanılabilirliği arttırmıştır. Yeniden kullanılabilirliği sağlamak için tasarım kalıpları önemli bir yöntemdir. İncelenen çalışmalarda adaptör, dekoratör ve sorumluluk zinciri tasarım kalıpları kullanılmıştır. Önerdiğimiz yöntemde ise sorumluluk zinciri tasarım kalıbı kullanılmıştır. Önerdiğimiz yöntemi etkin kılan noktalardan biri mevcut bir projeye uygulanması ve daha sonra gerçekleştirilecek olan projelerde kullanılacak olmasıdır. Önerdiğimiz yöntemin başarısı makale kapsamında incelenen çalışmaların [3-6] aksine yalnızca nitel olarak değil nicel olarak da ortaya koyulmuştur. Böylelikle önerilen yöntemin başarısı daha net bir şekilde ifade edilmiştir.

Önerilen yöntemin başarımını daha net ortaya koyabilmek için önerilen tasarımın başka bir projeye daha uygulanarak sonuçların değerlendirilmesi daha uygun olacaktır. Ancak proje büyüklüğü, insan kaynağı ve zaman kısıtları nedeniyle bu karşılaştırma yöntemi uygulanamamıştır. Gelecek dönemde böyle bir çalışma yapılması planlanmaktadır. Bununla birlikte başarımın ölçülmesi için kullanılan yöntemlerden biri olan uzman görüşü alma yöntemi de sonraki aşamalarda uygulanacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma Aselsan Akademi Lisansüstü Tez projesi kapsamında desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1] Gill, N. S. (2006). Importance of software component characterization for better software reusability. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 31(1), 1-3.
- [2] Ahmaro, I. Y., bin Mohd Yusoff, M. Z., & Abualkishik, A. M. (2014, September). The current practices of software reusability approaches in Malaysia. In 2014 8th. Malaysian Software Engineering Conference (MySEC) (pp. 172-176). IEEE.
- [3] Chen, X., Chen, J., Zhang, S., & Sui, L. (2010, July). Application of adapter pattern in container ship stowage system. In 2010 2nd International Conference on Industrial and Information Systems (Vol. 1, pp. 120-123). IEEE.
- [4] Kerji, V. K. (2011, April). Decorator Pattern with XML in web application. In 2011 3rd International Conference on Electronics Computer Technology (Vol. 5, pp. 304-308). IEEE.
- [5] Shirazi, M. N., Hejazi, M., & Dolatabadi, H. (2012). Applied Dynamic Chain of Responsibility in Web Application Security. International Journal of Computer Theory and Engineering, 4(6), 917.
- [6] Yueping, Z., Yuefan, L., & Kesheng, X. (2009, December). The Compound Pattern on the Chain of Responsibility and Observer. In 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications (Vol. 3, pp. 420-422). IEEE.
- [7] Gill, N. S. (2006). Importance of software component characterization for better software reusability. ACM SIGSOFT Software Engineering Notes, 31(1), 1-3.
- [8] Masoumi, S., & Mahjur, A. (2019). Reusable and interactive classes: a new way of object composition. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences, 27(5), 3615-3632.

- [9] Patil, S., Drozdov, D., & Vyatkin, V. (2018, July). Adapting software design patterns to develop reusable IEC 61499 function block applications. In 2018 IEEE 16th International Conference on Industrial Informatics (INDIN) (pp. 725-732). IEEE.
- [10] He, G. L., Wu, S., & Yao, J. P. (2013, April). Application of design pattern in the JDBC programming. In 2013 8th International Conference on Computer Science & Education (pp. 1037-1040). IEEE.
- [11] Harrer, A., Pinkwart, N., McLaren, B. M., & Scheuer, O. (2008). The Scalable Adapter design pattern: Enabling interoperability between educational software tools. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 1(2), 131-143.
- [12] He, Y., Wang, H., & Wang, L. (2015, December). Design and implementation of radar signal processing system based on design patterns. In 2015 8th International Symposium on Computational Intelligence and Design (ISCID) (Vol. 1, pp. 85-88). IEEE.
- [13] Dai, W., & Vyatkin, V. (2013, November). A component-based design pattern for improving reusability of automation programs. In IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (pp. 4328-4333). IEEE.
- [14] Roselló, E. G., Lado, M. J., Méndez, A. J., Dacosta, J. G., & Cota, M. P. (2007). A component framework for reusing a proprietary computer-aided engineering environment. *Advances in Engineering Software*, 38(4), 256-266.
- [15] Al Dallal, J., & Sorenson, P. (2005). Reusing class-based test cases for testing object-oriented framework interface classes. *Journal of Software Maintenance and Evolution: Research and Practice*, 17(3), 169-196.
- [16] Chan, S. M., & Lammers, T. L. (1998, June). Reusing a distributed object domain framework. In *Proceedings. Fifth International Conference on Software Reuse (Cat. No. 98TB100203)* (pp. 216-223). IEEE.
- [17] Xin, T., & Yang, L. (2017, June). A framework of software reusing engineering management. In 2017 IEEE 15th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA) (pp. 277-282). IEEE.
- [18] Pelechano, V. (2011, September). Systematic reuse of web services through software product line engineering. In 2011 IEEE Ninth European Conference on Web Services (pp. 192-199). IEEE.
- [19] Dikel, D., Kane, D., Ornburn, S., Loftus, W., & Wilson, J. (1997). Applying software product-line architecture. *Computer*, 30(8), 49-55.
- [20] Griss, M. L. (2000, June). Implementing product-line features with component reuse. In *International Conference on Software Reuse* (pp. 137-152). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [21] Krueger, C. W. (2006, August). New methods in software product line development. In 10th International Software Product Line Conference (SPLC'06) (pp. 95-99). IEEE.
- [22] Ramler, R., & Putschögl, W. (2013, March). Reusing automated regression tests for multiple variants of a software product line. In 2013 IEEE Sixth International Conference on Software Testing, Verification and Validation Workshops (pp. 122-123). IEEE.
- [23] Lee, J., Muthig, D., & Naab, M. (2010). A feature-oriented approach for developing reusable product line assets of service-based systems. *Journal of Systems and Software*, 83(7), 1123-1136.
- [24] Istoan, P., Nain, G., Perrouin, G., & Jézéquel, J. M. (2009, October). Dynamic software product lines for service-based systems. In 2009 Ninth IEEE International Conference on Computer and Information Technology (Vol. 2, pp. 193-198). IEEE.
- [25] Zhu, H. (2005, August). Building reusable components with service-oriented architectures. In IRI-2005 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, Conf, 2005. (pp. 96-101). IEEE.
- [26] Shatnawi, A., Seriai, A., Sahraoui, H., Ziadi, T., & Seriai, A. (2020). ReSIde: Reusable service identification from software families. *Journal of Systems and Software*, 170, 110748.

- [27] Granell, C., Díaz, L., & Gould, M. (2010). Service-oriented applications for environmental models: Reusable geospatial services. *Environmental Modelling & Software*, 25(2), 182-198.
- [28] Wang, J., Yu, J., & Han, Y. (2005, October). A service modeling approach with business-level reusability and extensibility. In *IEEE International Workshop on Service-Oriented System Engineering (SOSE'05)* (pp. 23-28). IEEE.
- [29] Baillarguet, C., & Piumarta, I. (1999). An highly-configurable, modular system architecture for mobility, interoperability, specialisation and reuse. In *Proceedings of the ECOOP'99 Workshop on Object-Orientation and Operating Systems*.
- [30] Drechsler, R., Drechsler, N., Mackensen, E., Schubert, T., & Becker, B. (2000, September). Design reuse by modularity: A scalable dynamical (re) configurable multiprocessor system. In *Proceedings of the 26th Euromicro Conference. EUROMICRO 2000. Informatics: Inventing the Future (Vol. 1, pp. 425-431)*. IEEE.
- [31] Cannon, D. M. (1997). U.S. Patent No. 5,644,698. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [32] DeBusk, B. C., Cofer, M. C., Shanks, M. W., & Lukens, W. F. (1999). U.S. Patent No. 5,995,937. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [33] Wang, J., Beu, J., Yalamanchili, S., & Conte, T. (2012, November). Designing configurable, modifiable and reusable components for simulation of multicore systems. In *2012 SC Companion: High Performance Computing, Networking Storage and Analysis* (pp. 472-476). IEEE.
- [34] Sneed, H. M. (2006, February). Wrapping legacy software for reuse in a SOA. In *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik (Vol. 2, pp. 345-360)*.
- [35] Mishra, S. K., Kushwaha, D. S., & Misra, A. K. (2009). Creating Reusable Software Component from Object-Oriented Legacy System through Reverse Engineering. *J. Object Technol.*, 8(5), 133-152.
- [36] Thiran, P., & Hainaut, J. L. (2001, October). Wrapper development for legacy data reuse. In *Proceedings Eighth Working Conference on Reverse Engineering* (pp. 198-207). IEEE.
- [37] Sneed, H. M. (2001, October). Wrapping legacy COBOL programs behind an XML-interface. In *Proceedings Eighth Working Conference on Reverse Engineering* (pp. 189-197). IEEE.
- [38] Masoumi, S., & Mahjur, A. (2019). Reusable and interactive classes: a new way of object composition. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 27(5), 3615-3632.
- [39] Kaur, P. J., Kaushal, S., Sangaiah, A. K., & Piccialli, F. (2018). A framework for assessing reusability using package cohesion measure in aspect oriented systems. *International Journal of Parallel Programming*, 46(3), 543-564.
- [40] AlSobeh, A. M., AlShattnawi, S., Jarrah, A., & Hammad, M. M. (2020). Weavesim: a Scalable and Reusable Cloud Simulation Framework Leveraging Aspect-Oriented Programming. *Jordanian Journal of Computers and Information Technology (JJCIT)*, 6(02).
- [41] Aksit, M., Tekinerdoğan, B., & Bergmans, L. (2001). The six concerns for separation of concerns. In *Proceedings of ECOOP*.
- [42] Juhár, J., & Vokorokos, L. (2015, November). Separation of concerns and concern granularity in source code. In *2015 IEEE 13th international scientific conference on informatics* (pp. 139-144). IEEE.
- [43] Panunzio, M., & Vardanega, T. (2014). A component-based process with separation of concerns for the development of embedded real-time software systems. *Journal of Systems and Software*, 96, 105-121.
- [44] Hürsch, W. L., & Lopes, C. V. (1995). Separation of concerns.
- [45] Kim, Y. S., & Lee, S. H. (2008, October). Separation of Concerns Security Model for Extension of Component Reuse. In *2008 International Symposium on Ubiquitous Multimedia Computing* (pp. 23-28). IEEE.

- [46] Ober, I., & Ober, I. (2017). On Patterns of Multi-domain Interaction for Scientific Software Development focused on Separation of Concerns. *Procedia computer science*, 108, 2298-2302.
- [47] Kulkarni, V., & Reddy, S. (2003). Separation of concerns in model-driven development. *IEEE software*, 20(5), 64-69.
- [48] Zelinsky, A., Tesliuk, V., & Maloid, T. (2016, April). Applying decorator design pattern for MEMS program model creation. In *2016 XII International Conference on Perspective Technologies and Methods in MEMS Design (MEMSTECH)* (pp. 19-21). IEEE.
- [49] Anguswamy, R., & Frakes, W. B. (2012, September). A study of reusability, complexity, and reuse design principles. In *Proceedings of the 2012 ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement* (pp. 161-164). IEEE.
- [50] Arslan, S., & Kardas, G. (2020). DSML4DT: A domain-specific modeling language for device tree software. *Computers in Industry*, 115, 103179.
- [51] İçöz, B. & Kalıpsız, O. (2020). MODEL GÜDÜMLÜ YAZILIM GELİŞTİRME YAKLAŞIMI KULLANILARAK MİKRO SERVİS GELİŞTİRİLMESİ . *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi* , Special Issue: International Conference on Artificial Intelligence and Applied Mathematics in Engineering (ICAIAE 2020) , 142-148
- [52] Frakes, W. B., & Fox, C. J. (1996). Quality improvement using a software reuse failure modes model. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 22(4), 274-279.
- [53] Prieto-Diaz, R. (1993). Status report: Software reusability. *IEEE software*, 10(3), 61-66.
- [54] Sandhu, P. S., Kakkar, P., & Sharma, S. (2010, September). A survey on Software Reusability. In *2010 International Conference on Mechanical and Electrical Technology* (pp. 769-773). IEEE.
- [55] Kasikci, B. C., & Bilgen, S. (2009). Etkin Yeniden Kullanım: Yazılım Ürün Hatlarında Değişkenliğin Modellenmesi. *Ulusal Yazılım Mühendisliği Sempozyumu*.
- [56] Alexander, C., Ishikawa, S., Silverstein, M. (1979). *The Timeless Way of Building*, Oxford University Press.
- [57] Kuchana, P. (2004). *Software architecture design patterns in Java*. CRC Press.
- [58] Radonjic, V. D., Bashardoust, S., Corriveau, J. P., & Arnold, D. (2011). Design Patterns-A Modeling Challenge. In *Proceedings of the International Conference on Software Engineering Research and Practice (SERP)* (p. 1). The Steering Committee of The World Congress in Computer Science, Computer Engineering and Applied Computing (WorldComp).
- [59] Odell, D. (2014). *Design Patterns: Creational*. In *Pro JavaScript Development* (pp. 119-135). Apress, Berkeley, CA.
- [60] Lasater, C. G. (2006). *Design patterns*. Jones & Bartlett Publishers.
- [61] Sarcar, V., & Metsker, S. J. (2004). *Design Patterns in C#*. Addison-Wesley Professional.
- [62] Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides, J., & Patterns, D. (1995). *Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Design Patterns. massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- [63] Ahmaro, I. Y., Abualkishik, A. M., & Yusoff, M. Z. M. (2014). Taxonomy, definition, approaches, benefits, reusability levels, factors and adaption of software reusability: a review of the research literature. *Journal of Applied Sciences*, 14(20), 2396.
- [64] Poulin, J. S. (1994, November). Measuring software reusability. In *Proceedings of 1994 3rd International Conference on Software Reuse* (pp. 126-138). IEEE.
- [65] Ampatzoglou, A., Kritikos, A., Kakarontzas, G., & Stamelos, I. (2011). An empirical investigation on the reusability of design patterns and software packages. *Journal of Systems and Software*, 84(12), 2265-2283.

- [66] Calp, M. H., & ARICI, N. (2011). Nesne yönelimli tasarım metrikleri ve kalite özellikleriyle ilişkisi. *Politeknik Dergisi*, 14(1), 9-14.
- [67] Jamali, S. M. (2006). Object oriented metrics. A survey approach Technical report, Department of Computer Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran.
- [68] Cheikhi, L., Al-Qutaish, R. E., Idri, A., & Sellami, A. (2014). Chidamber and kemerer object-oriented measures: Analysis of their design from the metrology perspective. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8(2), 359-374.
- [69] Thwin, M. M. T., & Quah, T. S. (2005). Application of neural networks for software quality prediction using object-oriented metrics. *Journal of systems and software*, 76(2), 147-156.
- [70] Gill, N. S., & Sikka, S. (2011). Inheritance hierarchy based reuse & reusability metrics in oosd. *International Journal on Computer Science and Engineering*, 3(6), 2300-2309.
- [71] Neelamegam, C., & Punithavalli, M. (2009). A survey-object oriented quality metrics. *Global Journal of Computer Science and Technology*, 9(4), 183-186.
- [72] Aggarwal, M., Verma, V. K., & Mishra, H. V. (2013). An Analytical Study of Object-Oriented Metrics (A Survey). *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, 6(2), 76-83.
- [73] Dadhania S., Galathiya S., (2014). Survey on Object Oriented Matrices. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(3), 1432-1437.
- [74] Senthil, V. S. (2019, April). Quantitative Assessment of Inheritance Hierarchies for Aspect Oriented Software Development using a proposed Aspect Inheritance Reusability Model. In 2019 International Conference on Automation, Computational and Technology Management (ICACTM) (pp. 573-576). IEEE.
- [75] Chidamber, S. R., & Kemerer, C. F. (1994). A metrics suite for object oriented design. *IEEE Transactions on software engineering*, 20(6), 476-493.

Atık Kızartma Yağı Biyodizelinin Performans, Emisyon ve Yanma Karakteristiklerinin Pamuk Yağı ve Aspir Yağı Biyodizelleri ile Karşılaştırılması

İlker Örs¹, Murat Ciniviz², Bahar Sayın Kul²

*¹ Selçuk Üniversitesi Sivil Havacılık Yüksekokulu Uçak Gövde ve Motor Bakımı, KONYA, TÜRKİYE
² Selçuk Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği, KONYA, TÜRKİYE

(Alınış / Received: 11.04.2020, Kabul / Accepted: 12.09.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.10.2021)

Anahtar Kelimeler

Atık kızartma yağı,
Biyodizel,
Dizel motor,
Pamuk yağı,
Aspir yağı

Öz: Bu çalışmada, atık kızartma yağından elde edilen biyodizel, tek silindirli direkt enjeksiyonlu bir motorda yakıt olarak kullanılmış, performans, yanma ve emisyon sonuçları petrol kökenli dizel yakıtı, pamuk yağı biyodizeli ve aspir yağı biyodizeli ile karşılaştırılmıştır. Deney sonuçlarına göre; atık kızartma yağından üretilen biyodizel, geleneksel dizel yakıtına göre motor performans parametrelerini düşürse de diğer biyodizel yakıtlarına göre daha iyi performans parametrelerine sebep olmuştur. Pamuk ve aspir biyodizeli ile benzer yakıt özellikleri göstermesi sayesinde, emisyon değerlerinde de dizel yakıtına göre önemli iyileşmeler gözlemlenmiştir. Yanma karakteristikleri bakımından incelendiğinde, maksimum silindir basıncının atık kızartma yağı biyodizeli ile elde edildiği görülmektedir. Bu sayede de diğer biyodizellere göre daha yüksek performans değerlerine sahiptir. Biyodizel hammaddesi olarak tercih edilmesi durumunda diğer biyodizeller ile benzer sonuçların elde edileceği bu çalışmanın sonuçları ile ortaya konulmuştur.

Comparison of Performance, Emission and Combustion Characteristics of Waste Frying Oil Biodiesel with Cotton Oil and Safflower Oil Biodiesels

Keywords

Waste frying oil,
Biodiesel,
Diesel engine,
Cotton oil,
Safflower oil

Abstract: In this study, biodiesel obtained from waste frying oil was used as fuel in a single cylinder direct injection engine, the performance, combustion and emission results were compared with petroleum-based diesel fuel, cotton oil biodiesel and safflower oil biodiesel. According to the results of the experiment; although biodiesel produced from waste frying oil reduced engine performance parameters compared to conventional diesel fuel, it has caused better performance parameters compared to other biodiesel fuels. Due to its similar fuel characteristics with cotton and safflower biodiesel, significant improvements were observed in emission values compared to diesel fuel. When examined in terms of combustion characteristics, it is seen that the maximum cylinder pressure is obtained with waste frying oil biodiesel. Thus, it has higher performance values than other biodiesels. It is demonstrated by the results of this study that if it is preferred as biodiesel feedstock, similar results will be obtained with other biodiesel fuels.

*İlgili Yazar, e-mail: ilkerors@hotmail.com

1. Giriş

Biyodizel, günümüzde en yaygın kullanılan alternatif dizel motor yakıtlarındandır. Biyodizel, Yenilenebilir ve sürdürülebilir özellikleri sayesinde biyodizel araştırmacıları cezbetmiştir. Ayrıca, atıkların yok edilmesi için kullanılabilen ve sınırsız hammadeden üretilebilen çevre dostu bir yakıttır. Bu özellikleri, onun en önemli avantajlarıdır. Dahası, günümüz dizel motorlarında önemli bir yapısal değişiklik olmadan da kullanılabilirliği biyodizelin sık sık gündeme gelmesine sebep olmaktadır.

Biyodizel üretimi için en çok kullanılan yöntem, katalizör olarak etanol ve metanol gibi kısa zincirli alkollerin kullanıldığı, katalitik bir reaksiyon olarak da bilinen ve biyokimyasal bir süreç olan transesterifikasyondur [1]. Biyodizel hem bitkisel hem de hayvansal yağlardan elde edilebilir. Biyodizel üretim süreci için kullanılacak hammaddenin seçiminde, yakıtın kullanılacağı bölgenin iklimsel özellikleri, hammaddenin yenilebilen veya yenilmeyen ürünlerden olması, hammaddenin bölgesel bolluğu, hayvansal ve bitkisel üretim yoğunluğu gibi çeşitli faktörler vardır [2,3]. Son yıllarda, yakıt olarak kullanılan biyodizel üretiminde en çok seçilen hammaddeler kanola [4,5], ayçiçeği [6,7], pamuk [8-9], hurma [10-11], aspir [12,13], soya fasulyesi [14,15] ve kolza tohumudur. Ancak, biyodizel üretiminde kullanılan hammadde üretim maliyetini de belirler. Biyodizelin yüksek üretim maliyeti, ticarileştirilmesinin önündeki en büyük engel olarak görülmektedir. Bu nedenle, günümüzde kullanılan kızartma yağları, atık pişirme yağları, atık hayvansal yağlar, sabun artıkları, sarı ve kahverengi gresler de biyodizel üretimi için hammadde olarak tercih edilmeye başlanmıştır [16-18].

Biyodizelerin saflık, yanma, depolama ve akış gibi fizikokimyasal özellikleri, kullanımları esnasındaki etkileri belirler [19]. Örneğin, ester içeriği ve su içeriği değerleri saflığını gösterir, parlama noktası depolama güvenliğini belirtir, setan sayısı yanma karakteristiklerini, bakır şeridi belirtir korozyon değeri ise malzemeler üzerindeki aşınma etkisini gösterir. Bu özelliklerden en önemlisi, dizel motor yakıtı olarak kullanılabilirliğinin bir göstergesi için yoğunluk, kinematik viskozite, ısı değeri, setan sayısı ve soğuk akış özellikleri gibi bazı yakıt özellikleridir. Yoğunluk ve viskozite püskürtme ve atomizasyon özelliklerini belirler ve bu özellikler özellikle yanma ve performans karakteristiklerini etkiler. Isıl değeri, yanma sonunda yakıttan alınan enerji miktarıdır ve biyodizelin motor performansı üzerindeki etkisini gösterir. Setan sayısı, yakıtın kendiliğinden tutuşabilme özelliğidir. Dizel motor yakıtları için çok önemli bir parametredir. Çünkü ateşleme gecikmesi, ısı salınım hızı, yanma başlangıcı, kontrollü yanma gibi önemli yanma özellikleri setan sayısına bağlıdır. Soğuk akış özellikleri aynı zamanda biyodizelin kullanılabilirliği iklim özelliklerinin seçilmesi için bir göstergedir. Biyodizel hammadde türleri bu özelliklere göre belirlenir.

Pamuk ve aspir, coğrafi şartları uygun olan ülkeler için önemli biyodizel hammaddelerindedir. Özellikle aspir, kuraklığa dayanıklı olması ve ürün verimliliğinin yüksek olması sebebi ile tercih edilmektedir. Pamuk ise daha ılıman iklimlerde yetişebilen bir bitkidir. Ayrıca her iki yağ da biyodizel üretimi için ideal yağ asidi içeriklerine sahiptir ve sülfür içermezler [12,20]. Aspir ve pamuk yağından üretilen biyodizelin dizel motorlarda kullanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan güncel ve önemli sonuçlara sahip olanlardan bazılarını ait sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

Aydoğan, dizel yakıtını %20 oranında aspir ayağı biyodizeli ile karıştırarak belirli oranlarda biyoetanol ilave etmiş, performans, emisyon ve yanma karakteristiklerini incelemiştir. Aspir biyodizelinin düşük alt ısı değerinin motor performansını olumsuz etkilediğini, emisyonları ise iyileştirdiğini belirtmiştir. Bununla birlikte, %20 biyodizel karışımının dizel yakıtı il benzer yanma karakteristikleri gösterdiğini ortaya koymuştur [21]. Özçelik, dizel yakıtı %2, 10 ve 50 oranlarında aspir biyodizeli harmanlayarak motor performansı ve egzoz emisyonları üzerine etkilerini incelemiştir. Sonuç olarak, karışımdaki biyodizel miktarının artması ile tork ve güç değerlerinin azaldığını, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise arttığını belirtmiştir. Egzoz emisyon değerlerinde ise, karbon monoksit (CO) ve hidrokarbon (HC) emisyonlarında önemli bir azalma, azot oksit (NO_x) ve karbon dioksit (CO₂) emisyonlarında da artış olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, biyodizelin içeriğindeki oksijen sayesinde, egzoz emisyonlarında dizel yakıtı göre ortalama olarak yaklaşık %40'a kadar bir artış olduğunu göstermiştir [22]. Aydın ve Ögüt aspir yağından elde ettikleri biyodizeli %5 oranında dizel yakıtı ile harmanlayarak motor performans parametrelerini incelemişlerdir. Biyodizelin düşük ısı değeri nedeni ile tork ve güç değerlerini azalttığını, özgül yakıt tüketimi değerlerini ise yaklaşık %7'e kadar artırdığını tespit etmişlerdir [23]. Çelebi ve Aydın çalışmalarında, yakıt olarak aspir biyodizeli ve %50 dizel-biyodizel karışımını bir dizel jeneratör motorunda test etmişler, performans, emisyon ve yanma analizlerini incelemişlerdir. En yüksek silindir basıncı ve ısı salımı hızı değerlerini aspir biyodizeli ile elde etmişlerdir. Performans parametreleri olarak, biyodizelin özgül yakıt tüketimini artırdığını, termal verim değerlerini de azalttığını belirtmişler, bu artış ve azalmanın lineer olduğunu göstermişlerdir. Bunun yanında eksik yanma yüzünden CO emisyonlarının artmasına rağmen HC emisyonlarının azaldığını belirtmişlerdir. Ayrıca hem NO_x hem de CO₂ emisyonlarının arttığını ortaya koymuşlardır [24]. Oğuz ve diğ., yakıt olarak saf aspir biyodizeli kullanarak performans ve emisyon sonuçlarını dizel yakıtinkiler ile

karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak, motor performansında yaklaşık %10 oranında azalma, CO, HC ve SO₂ emisyonların çok önemli bir azalma ve CO₂ ve NO_x emisyonlarında ise gözle görülür bir artış olduğunu çalışmalarında sunmuşlardır [25]. Aydın, bir jeneratör dizel motorunda aspir yağı biyodizelin ve %50 dizel yakıtla harmanlanmış biyodizeli yakıt olarak kullanmış ve dizel yakıtın performans, emisyon ve yanma parametreleri ile karşılaştırmıştır. Aspir biyodizelinin hem silindir basıncını hem de ısı salınım hızı değerlerini düşürdüğünü, performans değerlerini olumsuz etkilediğini, CO, CO₂, HC ve NO_x değerlerini de artırdığını belirtmişlerdir [26].

Keskin ve diğ., pamuk yağından ürettikleri biyodizeli %20, 40 ve 60 oranlarında dizel yakıt ile harmanlayarak tek silindirli bir dizel motorda yakıt olarak kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre, pamuk yağı biyodizelinin performans değerlerini düşürdüğünü, karışımdaki biyodizel oranının artması ile değerlerdeki düşme miktarının arttığını, maksimum tork değerlerinin %5.09'a, maksimum güç değerlerinin %6.2'ye kadar azaldığını, özgül yakıt tüketimi değerlerinin ise ortalama olarak %7.8'e kadar arttığını ortaya koymuşlardır. Bununla birlikte, partikül madde emisyonu değerlerinin %46.6'ya kadar azaldığını belirtmişlerdir [27]. Subbarayan ve diğ., çalışmalarında %25, 50, 75 ve 100 oranlarında pamuk yağı biyodizelin bir dizel motorda yakıt olarak kullanarak performans ve emisyon parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerinin saf biyodizel ile elde edildiğini, en düşük değerin ise dizel yakıtla elde edildiğini, karışımdaki biyodizel oranına bağlı olarak özgül yakıt tüketimi değerlerinin %2.11'e kadar arttığını belirtmişlerdir. Termal verim değerleri incelendiğinde ise, %25 biyodizel içeren yakıtın dizel yakıtı göre %1.65'e kadar termal verimi artırdığını ancak biyodizel oranındaki artışla bu değerin azaldığını göstermişlerdir. Ayrıca pamuk yağı biyodizeli, CO ve HC emisyonlarının genel olarak artmasına, duman ve NO_x emisyonlarının ise azalmasına sebep olduğunu ortaya koymuşlardır [28]. Nabi ve diğ., pamuk yağından elde ettikleri biyodizeli %10, 20 ve 30 oranlarında dizel yakıtına karıştırmışlar ve yakıt olarak kullanmışlardır. Pamuk yağı biyodizeli karışimli yakıtlar dizel yakıtına göre özgül yakıt tüketimi değerini artırırken termal verimi değerini düşürdüğünü, CO emisyonu değerlerini %24'e kadar azalttığını, NO_x emisyonunu %10'a kadar artırdığını, partikül madde emisyonunu %24, duman emisyonunu ise %14 iyileştirdiğini tespit etmişlerdir [29]. Sundar and Udayakumar çalışmalarında, dizel yakıtına %5-20 oranlarında hacimsel olarak %5'er farkla pamuk yağı biyodizeli ilave etmişler, performans ve emisyon sonuçlarına etkilerini sunmuşlardır. Sonuç olarak, biyodizel ilavesi ile termal verimin %4.13'e kadar azaldığını, özgül yakıt tüketiminin %17.1'e kadar arttığını, CO ve HC emisyonlarında sırası ile %18.4'e ve %3.86'ya kadar bir azalma olduğunu, CO₂ ve NO_x emisyonlarının ise sırası ile %14 ve %8 arttığını belirtmişlerdir [30].

Bugünün şartlarında her iki bitkinin tohumundan elde edilen yağlar başta kızartma yağı olmak üzere gıda olarak tüketilebilmektedir. Bu nedenle, bu yağlar da günümüzde ticari değeri yüksek olan yağlar sınıfına dahil olmuşlardır. Bu yağların değer kazanması sebebi ile biyodizelin üretim maliyetleri de yükselmiştir. Böylece araştırmacılar, hem maliyeti düşürebilmek hem de atıkların geri kazanımını sağlayabilmek amacı ile biyodizel üretiminde atık yağların kullanımına odaklanmışlardır.

Uyumaz ve diğ., atık zeytin yağından üretmiş oldukları biyodizeli %10 ve %20 oranlarında dizel yakıt ile harmanlayarak dizel motorun çalışma parametrelerine etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak, yüksek motor yükünde biyodizel ilavesinin silindir basıncı, ısı salınım hızını artırdığını, tutuşma gecikmesini ve yanma süresini artırdığını, termal verimi %11.7'e kadar düşürdüğünü, CO emisyonunu %17.6, duman emisyonunu %49.5 azalttığını, CO₂ ve NO_x emisyonlarını ise sırasıyla %8.49 ve %7.5 artırdığını göstermişlerdir [31]. Calam, direkt püskürtmeli bir dizel motorda yakıt olarak atık kızartma yağı kullandığı çalışmada, biyodizeli hem tek yakıt hem de %50 karışimli yakıt olarak test etmiştir. Biyodizelin dizel yakıtı göre %3.25 daha düşük motor torkuna, %15.39 da özgül yakıt tüketimi değerine sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, biyodizelin daha yüksek maksimum silindir basıncı değerine sahip olmasına rağmen daha düşük ısı salınım hızına sahip olduğunu, yanma süresinin de dizel yakıttan yaklaşık 5 crank açısı kadar daha kısa olduğunu belirtmiştir. CO ve is emisyonlarında çok önemli bir azalma meydana geldiğini, NO_x emisyonlarının ise %50.45'e kadar arttığını sunmuştur [32]. Aksoy ve diğ. atık kızartma yağından natüralize metodu ile elde ettikleri biyodizeli %30 oranında dizel yakıtla karıştırmışlar ve tek silindirli bir dizel motorunda test etmişlerdir. %30 biyodizel ilavesinin silindir basıncı, ısı salınım hızı ve tutuşma gecikmesi değerlerini artırdığını, yanma süresini ise kısalttığını belirtmişlerdir. Biyodizel ilavesinin performans değerlerini olumsuz etkilediğini, CO ve duman emisyonlarının düşürürken NO_x ve CO₂ emisyonlarını artırdığını ortaya koymuşlardır [18].

Günümüzde, biyodizelin yakıt özellikleri yeni nesil dizel motorlarda saf olarak kullanımını pek mümkün kılmaya da özellikle zirai araçlar, ağır iş makineleri ve elektrik üreten jeneratörler halen yüksek oranda biyodizelin harmanlanarak yada saf yakıt olarak kullanılmasına izin verecek dizel motorlara sahiptirler. Ancak, biyodizel kullanımının cazip hale gelebilmesi için üretim maliyeti olarak çok yüksek bir orana sahip olan hammadde maliyetinin en aza düşürülebilmesi çok önemlidir. Bu çalışmada da hammadde maliyetinin (atık kızartma yağının toplam biyodizel maliyetine oranı %0, pamuk yağının %17 ve aspir yağının %32) azaltılabilmesine imkan verebilmek amacı ile hammadde olarak atık kızartma yağının tercih edilmesi için bu yağdan üretilen biyodizelin, günümüzde popüler olan pamuk ve aspir yağından üretilen ile performans, emisyon ve yanma karakteristikleri

karşılaştırılmıştır. Böylece, atık kızartma yağının, diğer hammaddelerin yerini alabileceğini göstermek hedeflenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Test yakıtlarının hazırlanması, deney düzeneğinin oluşturulması, deneylerin yapılışı ve deneylerde kullanılan ölçüm cihazlarına ait özellikler aşağıda detaylı olarak belirtilmiştir.

2.1. Biyodizel üretimi ve yakıt özellikleri

Bu çalışmada, Aksaray Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren öğrenci kafeteryalarında, sadece bitkisel ürünlerin kızartılması için kullanılan atık kızartma yağları toplanmış ve içerisindeki yabancı maddeler filtre edilerek biyodizel hammaddesi olarak kullanılmıştır. Kullanılan atık kızartma yağının maruz kaldığı sıcaklık 160-180 °C'dir. Aspir ve pamuk tohumları, bölgesel olarak faaliyet gösteren tarım ürünleri tedarikçisi bir firmadan temin edilerek presleme yöntemi ile yağları çıkarılmış, ham aspir ve pamuk yağları elde edilmiştir. Elde edilen yağların her birinden transesterifikasyon yöntemi ile biyodizel üretilmiştir. Transesterifikasyon sürecinde, alkol olarak %99 saflıkta metanol ve katalizör olarak ta sodyum hidroksit kullanılmıştır. Elde edilen biyodizeller ve petrol kökenli dizel yakıtta ait bazı önemli fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Dizel yakıt Dizel, Pamuk yağından üretilen biyodizel P₁₀₀, Aspir yağından üretilen biyodizel A₁₀₀ ve atık kızartma yağından üretilen biyodizel K₁₀₀ olarak kodlanmıştır.

Tablo 1. Test yakıtlarının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

	Dizel	P ₁₀₀	A ₁₀₀	K ₁₀₀
Yoğunluk [gcm ³] 15°C'de	0.841	0.888	0.886	0.893
Viskozite [mm ² /s] 40°C'de	2.811	4.455	4.353	4.511
Alt ısı değer [MJ]/kg]	43.88	39.31	38.59	40.71
Setan sayısı	50.4	54.8	55.7	58
Bulutlanma noktası [°C]	-8	0	-4	3
SFTN [°C]	-14	-7	-10.5	-1
Donma noktası [°C]	>25	-17	-20	-15
O atomu oranı [%]	-	14.25	11.26	10.55
Ester muhtevası [%]	-	97,73	98.18	97.95

2.2. Deney düzeneği ve test prosedürü

Deneylerde kullanılan motora ait teknik özellikler Tablo 2'de sunulmuştur. Test motoru, direkt olarak bir shaft mili aracılığı ile hidrolik bir dinamometreye bağlanmıştır. Motor torkunu ölçmek için kullanılan yük hücresi 1 g hassasiyete sahiptir. Motorun yakıt tüketimi 0.01 g hassasiyete sahip yük hücresi ile kütleli olarak ölçülmüştür. Egzoz gaz sıcaklığının ölçümü 1°C hassasiyete sahip PT100 sıcaklık ölçer ile yapılmıştır.

Tablo 2. Test motorunun teknik özellikleri

Model	3 LD 510
Motor tipi	Dört zamanlı, Direkt enjeksiyonlu
Silindir sayısı	1
Silindir hacmi, cm ³	510
Çap X Strok, mm X mm	85 X 90
Sıkıştırma oranı	17.5:1
Soğutma şekli	Su soğutmalı

Yanma analizi için silindir basıncı ve krank açısını ölçmekte kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Tablo 3'de, egzoz emisyonlarının ölçülmesinde kullanılan BOSCH BEA 350 ve MRU Optima 7 gaz analiz cihazlarının teknik özellikleri de Tablo 4'de verilmiştir. Yanma analizi için ölçülen silindir basıncı değerleri art arda gerçekleşen 100 çevrimin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Tablo 3. Yanma analizi ekipmanlarının teknik özellikleri

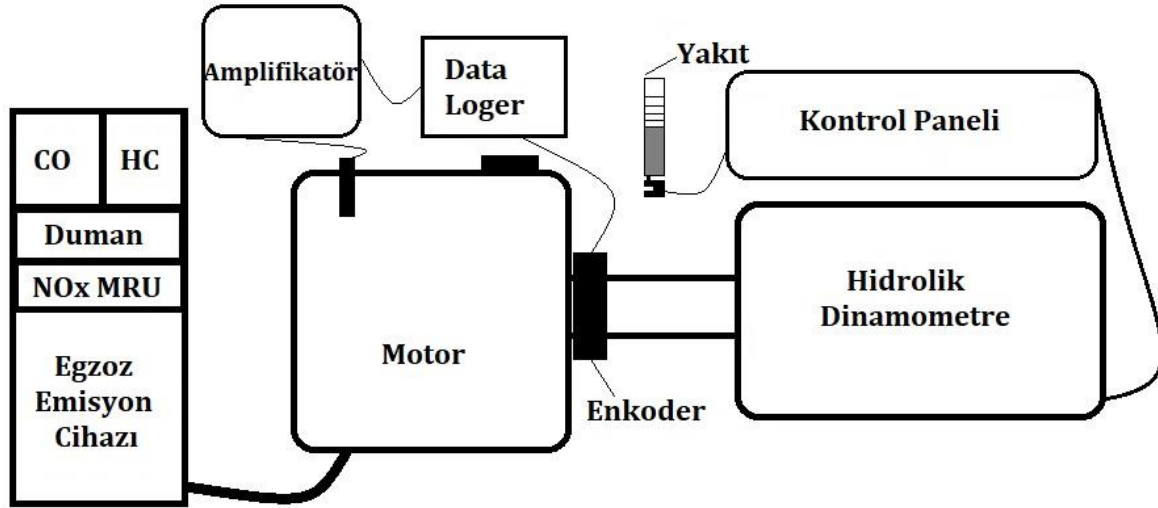
Basınç Sensörü	
Marka - Model	Kistler - 6052C
Tip	Piezoelektrik
Ölçüm aralığı, bar	0 - 250
Çalışma sıcaklığı, °C	-20 - 350
Amplifikatör	
Marka - Model	Kistler - 5018A
Kanal sayısı	1

Ölçüm aralığı, pC	2 - 2200000
Çıkış sinyali, volt	-10 - 10
Frekans, kHz	0 - 200
Çalışma sıcaklığı, °C	0 - 50
Enkoder	
Marka - Model	Kübler - Sendix 5000
Ölçüm aralığı, d/d	0 - 12000
Çalışma sıcaklığı, °C	-40 - 85

Tablo 4. Egzoz emisyon cihazı teknik özellikleri

ÖLÇÜM	ÖLÇME ARALIĞI	HASSASİYET
CO [% v/v]	0 - 10	0.001
HC [ppm]	0 - 9999	1 ppm
NO _x [ppm] MRU Optima 7 ile	0 - 5000	5 ppm
Duman [k, m ⁻¹]	0 - 100	0.1

Test düzeneğinin şematik görünümü Şekil 1'de gösterilmiştir. Deneylerden önce, testlerde kullanılan tüm cihazların kalibrasyonları yaptırılmıştır. Tüm testler motorun çalışma sıcaklığı olan 85-110°C'de gerçekleştirilmiştir. Tüm yakıtlar için maksimum tork değeri 1400 rpm motor hızında elde edilmiştir. Bu nedenle, testler tüm yakıtlar için 1400 rpm motor hızında %25, 50, 75 ve 100 motor yükünde gerçekleştirilmiştir. Yakıt tüketimi, tork, basınç, egzoz gaz sıcaklığı ve emisyon değerleri ölçümleri aynı anda kaydedilmiştir.

**Şekil 1.** Deney test düzeneğinin şematik görünümü

Deneyler esnasında ölçüm ekipmanları ile elde edilen sonuçların doğrulukları ile hesaplamaların belirsizliği Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Ölçümlerin doğruluğu ve hesaplamaların belirsizliği

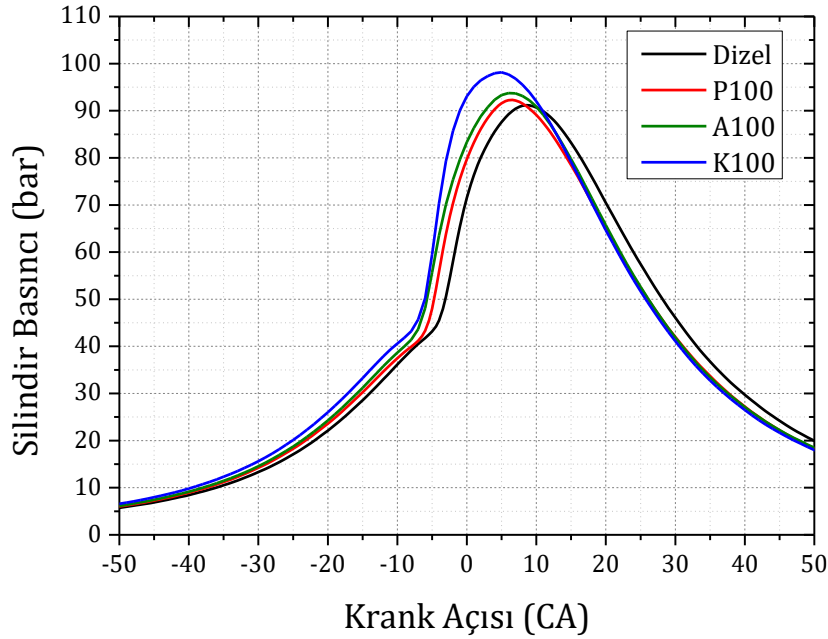
Ölçümler	Doğruluk	Hesaplanan parametre	Belirsizlik (%)	
Hidrolik dinamometre	± 0.02 %	Tork	0.5784	
Basınç Sensörü	± 1 %	Güç	0.087	
Enkoder	± 0.01 rpm	Özgül Yakıt Tüketimi	0.764	
Silindir Hacmi	± 1 %	Ortalama Efektif Basınç	0.096	
Silindir Basıncı	± 1 %	Termal Verim	0.0014	
Emisyon Ölçüm Cihazı	CO ₂	± 0.1 %	Toplam Motor Performansı	0.9553
	CO	± 0.01 %	Isı Salınım Hızı	0.0066
	HC	± 1 ppm	Emisyonlar	0.0586
	NO _x	± 1 ppm	Toplam Sistem	0.8312
	Duman	± 0.01 %		

3. Bulgular

Deney sonuçları; yanma analizi, motor performans parametreleri ve egzoz emisyon karakteristikleri olarak incelenmiştir.

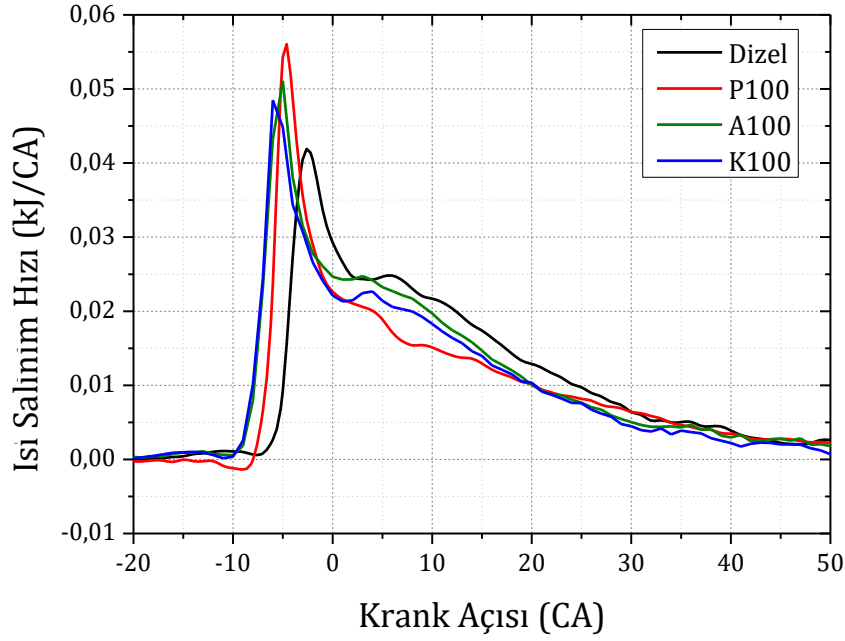
3.1. Yanma analizi

Yanma analizi, tam yük durumunda ölçülen silindir basıncı değerlerine göre gerçekleştirilmiştir. Silindir basıncı, başta ısı salınım hızı olmak üzere yanma başlangıcı, yanma safhaları, yanma sonu, tutuşma gecikmesi gibi diğer yanma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Yakıtın yoğunluk ve viskozite değerleri, bir önceki çevrimden kalan atık gaz miktarı ve sıcaklığı gibi silindir basıncını etkileyen pek çok etken vardır. Silindir içerisinde oluşan basınç, piston tepesine etki eden kuvveti oluşturduğu için önemlidir. Çünkü bu kuvvet motor torkunu da oluşturan kuvvettir. Şekil 2, 1400 rpm motor hızında tam yük durumunda elde edilen krank açısına bağlı silindir basıncı değerlerini göstermektedir. Biyodizelin yüksek yoğunluk değeri püskürtülmesi esnasında daha yüksek bir yakıt yığılmasına sebep olduğu için daha erken püskürtülmeye başlar. Böylece, daha fazla yakıt bir anda yanma başladığından maksimum silindir basıncı da yüksek olur. Silindir basıncı değerlerine göre, maksimum silindir basıncı K₁₀₀ yakıtı ile 98.14 bar olarak üst ölü noktadan 5 CA sonra elde edilmiştir. Daha sonra A₁₀₀, P₁₀₀ ve Dizel yakıtları ile sırası ile 93.75, 92.22 ve 91.15 bar olarak üst ölü noktadan 6, 6 ve 9 CA sonra elde edilmiştir. Tablo 1’de de görüldüğü gibi K₁₀₀ en yüksek yoğunluk değerine sahiptir. Bu nedenle en yüksek basınç değeri de bu yakıtla elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar ve nedenleri Rounce ve diğ. (33)’ nin, Su ve diğ. (34)’ nin ve Lesnik ve diğ. (35)’ nin ortaya koymuş oldukları çalışmalar ile büyük ölçüde benzerlik göstermektedir.



Şekil 2. 1400 rpm motor hızı ve tam yükte yakıtlarının krank açısına bağlı silindir basınçlarının değişimi

Şekil 3’de gösterilen ısı salınım hızı eğrileri, yakıtların yanma sürelerinin ve hızlarının bir göstergesidir. Biyodizel, yapısında oksijen bulunduğu için daha hızlı yanmaktadır. Yine Tablo 1’de görüldüğü gibi, P₁₀₀ yakıtı en yüksek oksijen içeriğine sahiptir. Bu nedenle de maksimum ısı salınım hızı P₁₀₀ yakıtı ile elde edilmiştir.



Şekil 3. 1400 rpm motor hızı ve tam yükte yakıtlarının krank açısına bağlı ısı salınım hızlarının değişimi

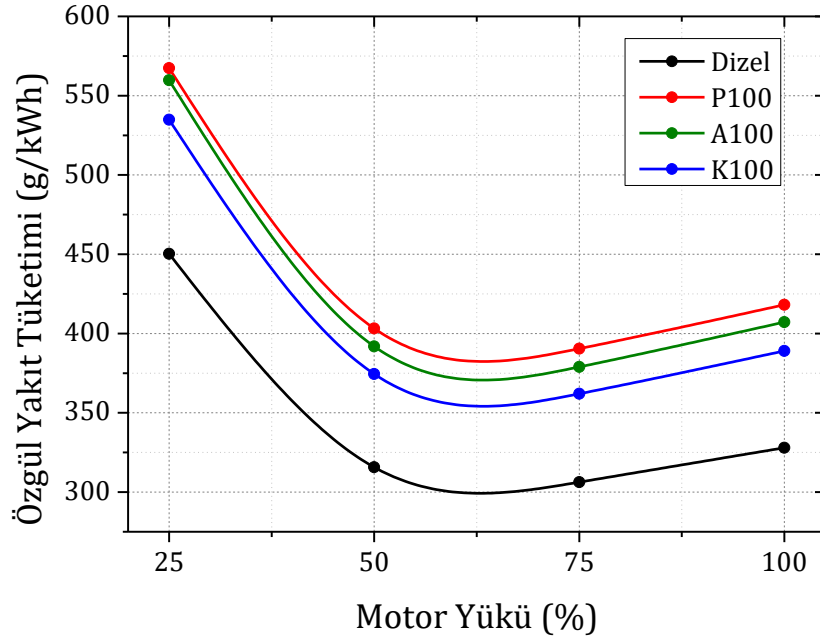
Tablo 6. Yanma analizi verileri

	Dizel	P ₁₀₀	A ₁₀₀	K ₁₀₀
Püskürtme anı [CA] üst ölü noktadan önce	13	14	14	15
Yanma başlangıcı [CA] üst ölü noktadan önce	6	8	8	10
Tutuşma gecikmesi [CA] süre	7	6	6	5
CA10 [CA] üst ölü noktadan sonra	8	5	7	10
CA50 [CA] üst ölü noktadan sonra	28	23	24	25
CA90 [CA] üst ölü noktadan sonra	34	31	32	35
Yanma sonu [CA]	62	56	57	60
Toplam yanma süresi [CA] süre	80	69	71	77

Tutuşma gecikmesi, yakıtın püskürtüldüğü an ile yanma başladığı ana kadar geçen süredir. Setan sayısının yüksek olması yakıtın daha erken tutuşmasına etki eder. Tablo 6'da da görüldüğü gibi en yüksek setan sayısına sahip olan K₁₀₀ yakıtı diğerlerine göre daha erken tutuşmaya başlamıştır. Bu nedenle de daha düşük tutuşma gecikmesi süresine sahiptir. Diğer biyodizeller de Dizel yakıttan daha yüksek setan sayısına sahip oldukları için daha erken tutuşmaya başlamışlardır. CA10, CA50 ve CA90 yakıtların kütleli olarak yanma miktarlarının gerçekleştiği krank açısı değerleridir. Yani, CA10 yakıtın %10'unun yandığı krank açısını gösterir. P₁₀₀'ün yüksek oksijen miktarı yanma hızını artırdığı için en kısa yanma süresi de bu yakıt ile elde edilmiştir. Aksoy ve diğ.[36] ile Aydın [26]' da benzer sonuçları çalışmalarında rapor etmişlerdir.

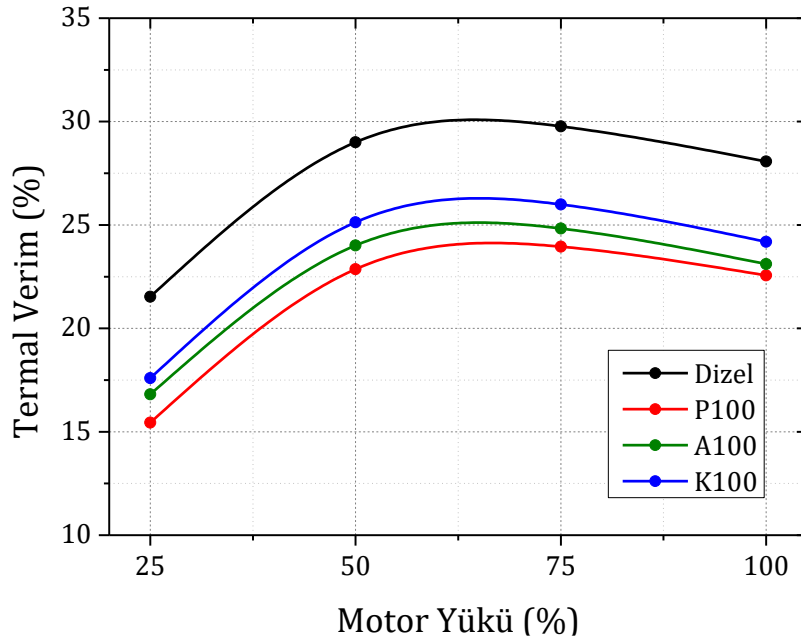
3.2. Motor performans parametreleri

Birim güç için tüketilen yakıt miktarı özgül yakıt tüketimi olarak tanımlanır. Termal verim ise tüketilen yakıtın faydalı işe dönüşüm oranını gösterir. Hem Şekil 4 hem de Şekil 5, biyodizel yakıtlarının performans değerlerini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bunun en önemli nedeni, yakıtların kalorifik değerleridir. Alt ısıl değer, performans parametreleri için en belirleyici özelliklerden birisidir. En yüksek özgül yakıt tüketimi değerleri P₁₀₀ yakıtı ile elde edilmiştir. P₁₀₀, A₁₀₀ ve K₁₀₀ yakıtlarının özgül yakıt tüketimi değerleri Dizel yakıtına göre sırası ile ortalama %27,05, %24,1 ve %18,58 daha yüksektir. K₁₀₀ yakıtı ise P₁₀₀ ve A₁₀₀ yakıtlarına göre sırası ile ortalama %6,67 ve %4,45 daha iyi özgül yakıt tüketimi değerine sahiptir.



Şekil 4. Farklı yük koşullarındaki özgül yakıt tüketimi eğrileri

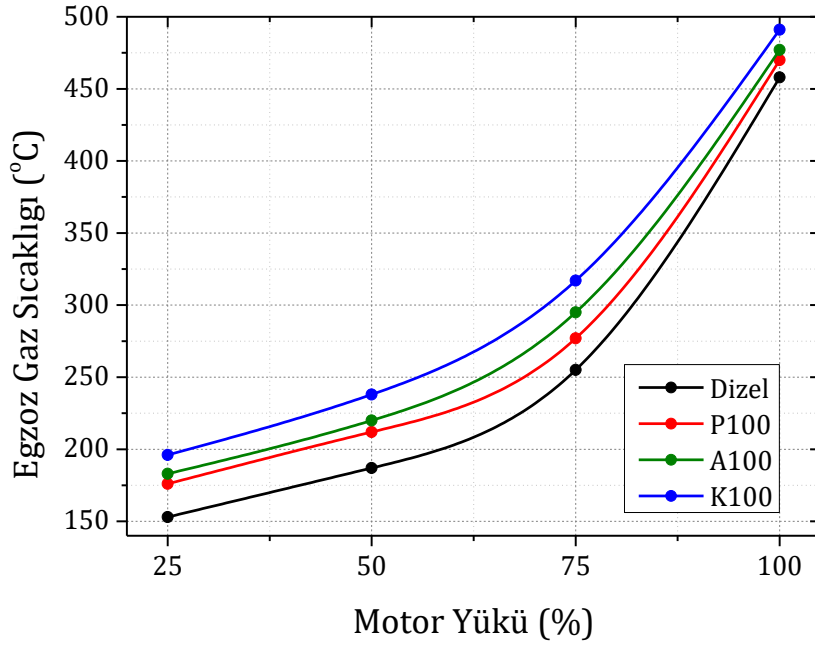
Kalorifik değerin yanı sıra yanmanın kalitesi de performansı önemli ölçüde etkilemektedir. Biyodizellerin yüksek viskoziteleri püskürtülen yakıtın damlacık çaplarının daha büyük olmasına [37] ve bu nedenle yakıtın kötü atomizasyonu yüzünden silindir içerisinde sıkıştırılmış olan havaya iyi nüfuz edememesine sebep olmaktadır. Biyodizel yakıtlarının ısı değerlerinin düşük olması ve yüksek viskoziteleri nedeni ile P₁₀₀, A₁₀₀ ve K₁₀₀ yakıtları için Dizele göre sırasıyla ortalama %21.72, %18.09 ve %14.27 azalma gözlemlenmiştir. Biyodizel yakıtları arasında da yine en iyi termal verim değerleri K₁₀₀ yakıtı ile elde edilmiştir. Literatürde de benzer sonuçlar ortaya konulmuştur [24,32].



Şekil 5. Farklı yük koşullarındaki termal verim eğrileri

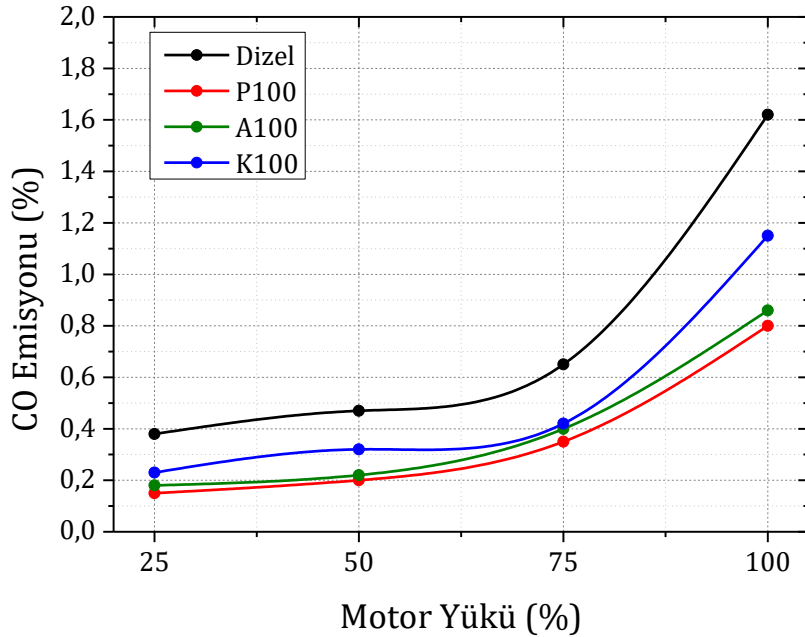
3.3. Egzoz emisyonları

Egzoz gaz sıcaklığı değerleri, emisyon oluşumlarında etkili bir parametredir. Silindir içerisinde, yanma sonucu oluşan sıcaklığın bir göstergesidir. Biyodizel yakıtlarının oksijen içeriği yanma veriminin artmasına sebep olmuş ve böylece Dizel yakıtına göre daha yüksek egzoz gaz sıcaklığı değerleri elde edilmiştir. Alt ısı değeri yüksek olan K₁₀₀ yakıtı ise en yüksek egzoz gaz sıcaklığı değerine sahiptir. Ayrıca, Şekil 6'da da görüldüğü gibi, motor yükünün artması ile daha fazla miktarda yakıt silindire alındığı için tüm yakıtların egzoz gaz sıcaklığı değerleri de artmıştır.



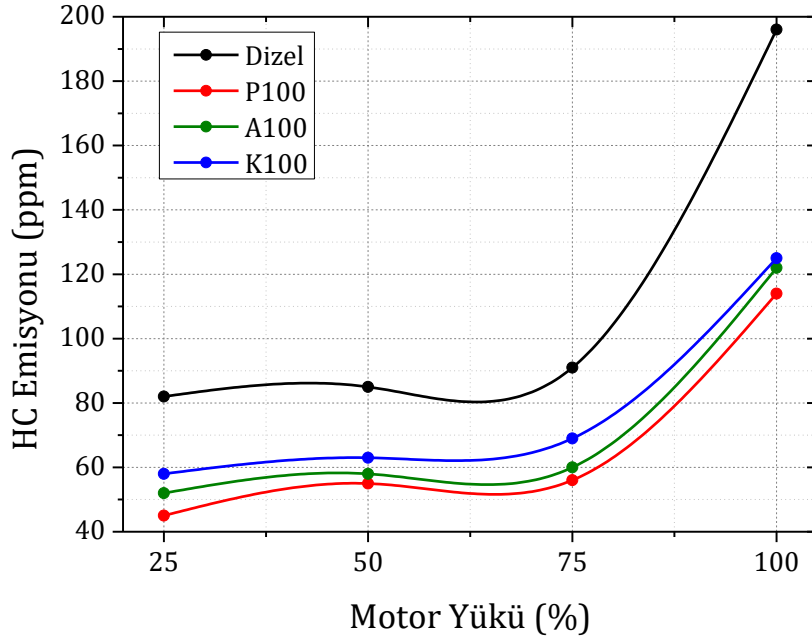
Şekil 6. Farklı motor yüklerindeki egzoz gaz sıcaklığı eğrileri

Şekil 7, test yakıtlarının CO emisyonu karakteristiklerini göstermektedir. Yanma esnasında, oksijen miktarının yetersiz olması yanma ürünlerinde CO gazının oluşmasına sebep olur. Renksiz, kokusuz ve oldukça zehirli olan bu gaz Euro normları ile kontrol altında tutulmaktadır. Biyodizel yakıtları oksijen içerdiği için CO emisyon değerleri Dizele göre daha düşüktür. P₁₀₀ yakıtı ile ortalama %52'ye kadar bir azalma görülmektedir. K₁₀₀ yakıtı diğer biyodizellerden daha yüksek CO emisyonuna sahip olmasına rağmen yine Dizele göre %32 oranında daha düşüktür. Fattah ve diğ. [38] ile Uyumaz ve diğ. [31] de CO emisyonlarının biyodizel kullanımı ile azaldığını göstermişlerdir.



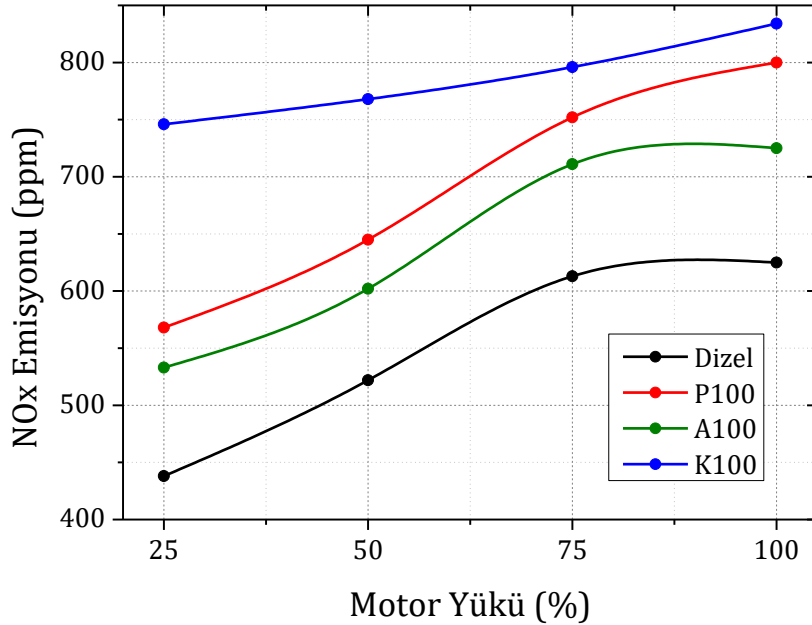
Şekil 7. Farklı motor yüklerindeki CO emisyonu eğrileri

Test yakıtlarına ait HC emisyonu değerleri Şekil 8'de sunulmuştur. Hidrokarbonlu yakıtların yanması sonucunda yanma ürünleri arasında HC gazının görünmesi, yakıtın tam olarak yanmadığını gösterir. Yani HC yanmamış yakıttır. Bazı araştırmacılar [26, 28] kötü atomizasyon ve zengin karışım nedenlerinden dolayı biyodizelin HC emisyonlarını artırdığını ortaya koysa da farklı pek çok araştırmacı [33, 35, 38-41] biyodizelin oksijen içeriğinin yanma verimini iyileştirdiğini ve böylece HC emisyonlarını azalttığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, biyodizel yakıtların egzoz gaz sıcaklıklarının yüksek olması da HC emisyonlarının azalması gerektiğinin bir göstergesidir. En düşük HC emisyonu değerleri P₁₀₀ yakıtı ile elde edilmiş olup, K₁₀₀ yakıtının HC emisyonu değerleri P₁₀₀ yakıtına göre %16.67 daha fazla olsa da Dizele göre ortalama %30.62 daha azdır.



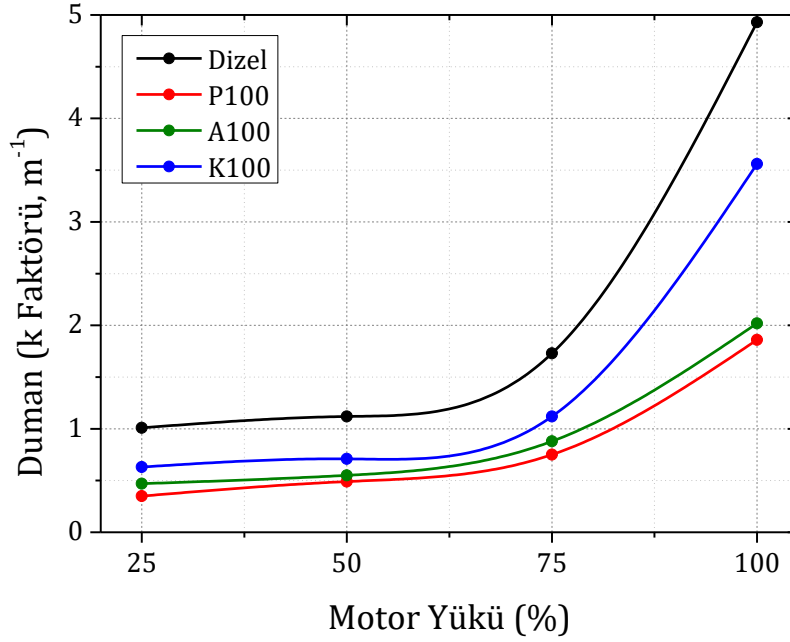
Şekil 8. Farklı motor yüklerindeki HC emisyonu eğrileri

Azot ve oksijen gazları yüksek sıcaklıklarda tepkimeye girerler. Silindir içerisinde yanma sonucu oluşan yüksek sıcaklıkta bu atomların tepkimeye girmesi için yerlidir. Azot ve oksijen atomları tepkimeye girerek NO , NO_2 , NO_3 ve NO_4 gibi bileşimlerin açığa çıkmasına neden olur. Bu formların tamamı NO_x olarak adlandırılmaktadır. Bu formların atmosfere salınması asit yağmurlarının oluşmasına sebep olmaktadır. NO_x emisyonu, sıcaklığın yükselmesi ve ortamdaki oksijenin artması ile daha fazla miktarda oluşmaktadır. Biyodizellerin yanması sonucu Dizele kıyasla ortaya çıkan yüksek sıcaklık ve oksijen içerikleri Şekil 9'da görüldüğü gibi daha yüksek emisyonla sebep olmuştur. Benzer sonuçlarında gösterildiği farklı çalışmalar literatürde mevcuttur [23, 42-43]. Bu çalışmada da, en yüksek NO_x emisyonu, Dizele göre %43.04 oranla daha yüksek olarak K_{100} yakıtı ile elde edilmiştir.

Şekil 9. Farklı motor yüklerindeki NO_x emisyonu eğrileri

Dizel motorlar, fakir karışımla çalışan motorlardır. Ancak özellikle yüksek motor yüklerinde zaman zaman kısmi olarak karışımın zenginleşmesi duman emisyonunun oluşmasına sebep olur. Şekil 10, test yakıtlarındaki duman emisyonlarının değişimini göstermektedir. Biyodizel yakıtları içerisindeki oksijen zengin karışım bölgelerinin oluşmasını nispeten engelleyerek Dizele göre daha düşük duman emisyonlarının oluşmasına sebep olmuştur. Ayrıca Şimşek [43]'e göre, biyodizelin aromatik bileşik içermemesi ve kükürt içeriğinin düşük olması, duman emisyonlarının önemli miktarda azalmasına sebep olmaktadır. En düşük duman emisyonu P_{100} ile elde edilse de, Dizele göre K_{100} yakıtının duman emisyonu değerleri de %31.51 gibi oldukça önemli bir oranda daha düşüktür.

Aksoy ve diğ.[36], Çelik ve diğ. [45] de Ardebili ve diğ. [46] de aynı sebeplerden dolayı duman emisyonunun azaldığını belirtmişlerdir.



Şekil 10. Farklı motor yüklerindeki duman emisyonu eğrileri

4. Sonuç

Biyodizel, motor performans parametrelerini olumsuz olarak etkilese de egzoz emisyonlarında çok önemli iyileşmelere sebep olduğu görülmektedir. Biyodizelin üretim maliyetlerinin hammadde seçimi ile azaltılmasını hedeflediğimiz bu çalışmada, atık kızartma yağından üretilen biyodizelin diğer biyodizel yakıtları ile benzer yakıt özellikleri ve yanma karakteristiklerine sahip olduğu görülmektedir. Özellikle hem pamuk hem de aspire göre daha yüksek motor performans değerleri elde edilmesi atık kızartma yağı biyodizelinin en önemli tercih edilme sebeplerinden birisi olabilir. Bunun yanında, yakıtta bazı katkı maddelerinin ilave edilmesi veya motor işletme parametrelerindeki birkaç basit değişiklik, biyodizelin yakıt olarak kullanılabilirliğini artıracaktır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, biyodizel hammadde olarak yüksek ticari değere sahip yağların yerine atık kızartma yağı gibi hammaddeler tercih edilebilir. Böylece, hem atıkların doğaya daha az zararla bertaraf edilmesi sağlanmış olur hem biyodizelin üretim maliyeti azalmış olur hem de yenilenebilir ve sürdürülebilir yeni bir alternatif yakıt seçeneği ortaya çıkmış olur.

Kaynakça

- [1] Arce, P. F., Guimarães, D. H., de Aguirre, L. R. 2019. Experimental data and prediction of the physical and chemical properties of biodiesel. *Chemical Engineering Communications*, 206(10), 1273-1285.
- [2] Moser, B. R. 2009. Biodiesel production, properties, and feedstocks. *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant*, 45(3), 229-266.
- [3] Ahmia, A. C., Danane, F., Bessah, R., Boumesbah, I. 2014. Raw material for biodiesel production. *Valorization of used edible oil. Revue des Energies Renouvelables*, 17(2), 335-343.
- [4] Efe, Ş., Ceviz, M. A., Temur, H. 2018. Comparative engine characteristics of biodiesels from hazelnut, corn, soybean, canola and sunflower oils on DI diesel engine. *Renewable Energy*, 119, 142-151.
- [5] Can, Ö., Öztürk, E., Yücesu, H. S. 2017. Combustion and exhaust emissions of canola biodiesel blends in a single cylinder DI diesel engine. *Renewable Energy*, 109, 73-82.
- [6] Swaminathan, C., Sarangan, J., Michael, B. S. 2019. Investigation of performance and emission characteristics of IC engine using sunflower oil methyl ester as fuel with oxygenated additive and EGR. *Biofuels*, 10(5), 583-589.
- [7] Ahranjani, P. E., Kazemeini, M., Arpanaei, A. 2019. Green Biodiesel Production from Various Plant Oils Using Nanobiocatalysts Under Different Conditions. *BioEnergy Research*, 1-11.

- [8] Erdoğan, S., Aydın, S., Balki, M. K., Sayin, C. 2020. Operational evaluation of thermal barrier coated diesel engine fueled with biodiesel/diesel blend by using MCDM method base on engine performance, emission and combustion characteristics. *Renewable Energy*, 151, 698-706.
- [9] Máquina, A. D. V., Siteo, B. V., Buiatte, J. E., Santos, D. Q., Neto, W. B. 2019. Quantification and classification of cotton biodiesel content in diesel blends, using mid-infrared spectroscopy and chemometric methods. *Fuel*, 237, 373-379.
- [10] Şanlı, B. G., Uludamar, E., Özcanlı, M. 2019. Evaluation of energetic-exergetic and sustainability parameters of biodiesel fuels produced from palm oil and opium poppy oil as alternative fuels in diesel engines. *Fuel*, 258, 116116.
- [11] Ge, J. C., Kim, H. Y., Yoon, S. K., Choi, N. J. 2020. Optimization of palm oil biodiesel blends and engine operating parameters to improve performance and PM morphology in a common rail direct injection diesel engine. *Fuel*, 260, 116326.
- [12] Eryılmaz, T., Cesur, C., Yeşilyurt, M., Aydın, E. 2014. Fuel Properties of Biodiesel Produced from Balci Variety Oil of Safflower (*Carthamus tinctorious* L.). *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 3(2), 74-78.
- [13] Selvaraj, R., Praveenkumar, R., Moorthy, I. G. 2019. A comprehensive review of biodiesel production methods from various feedstocks. *Biofuels*, 10(3), 325-333.
- [14] Azimov, U., Ngu, D. H. Multiparametric engine optimization with application of biodiesel blends for better performance and lower exhaust gas emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 7(2), 88-98.
- [15] Veinblat, M., Baibikov, V., Katoshevski, D., Wiesman, Z., Tartakovsky, L. 2018. Impact of various blends of linseed oil-derived biodiesel on combustion and particle emissions of a compression ignition engine—A comparison with diesel and soybean fuels. *Energy conversion and management*, 178, 178-189.
- [16] Canakci, M., Sanli, H. 2008. Biodiesel production from various feedstocks and their effects on the fuel properties. *Journal of industrial microbiology & biotechnology*, 35(5), 431-441.
- [17] Şanlı, H. 2019. Influences of biodiesel fuels produced from highly degraded waste animal fats on the injection and emission characteristics of a CRDI diesel engine. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 8(1), 11-21.
- [18] Aksoy, F., Uyumaz, A., Boz, F., Yılmaz, E. 2017. Experimental investigation of neutralized waste cooking oil biodiesel and diesel fuels in a direct injection diesel engine at different engine loads. *International Journal of Automotive Science and Technology*, 1(1), 7-15.
- [19] Sarıkoç, S. 2020. Diesel and Gasoline Engines. Ss 1-16. Viskup, R. Ed 2020. *Fuels of the Diesel-Gasoline Engines and Their Properties*, IntechOpen, United Kingdom, 188s.
- [20] Keskin, A. 2017. Pamuk Yağı Biyodizeli-Eurodizel Karışımlarının Tam Yükte Yanma, Performans ve Emisyonlara Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17(2), 797-809.
- [21] Aydoğan, H. 2015. Performance, emission and combustion characteristics of bioethanol-biodiesel-diesel fuel blends used in a common rail diesel engine. *J. of Thermal Science and Technology*, 35(2), 19-27.
- [22] Özçelik, A. E. 2017. Investigation of the effects of safflower biodiesel blends with Eurodiesel fuel on engine performance and emissions in common-rail diesel engine. *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 54(1), 9-16.
- [23] Aydın, F., Ögüt, H. 2017. Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103, 688-694.
- [24] Çelebi, Y., Aydın, H. 2018. Investigation of the effects of butanol addition on safflower biodiesel usage as fuel in a generator diesel engine. *Fuel*, 222, 385-393.
- [25] Oğuz, H., Ögüt, H., Aydın, F., Ciniviz, M., Eryılmaz, T. 2019. Investigation of engine performance and kit design for the usage of safflower oil as in diesel engine. *Renewable Energy*, 143, 692-702.
- [26] Aydın, S. 2020. Detailed evaluation of combustion, performance and emissions of ethyl proxitol and methyl proxitol-safflower biodiesel blends in a power generator diesel engine. *Fuel*, 270, 117492.

- [27] Keskin, A., Gürü, M., Altıparmak, D., Aydın, K. 2008. Using of cotton oil soapstock biodiesel–diesel fuel blends as an alternative diesel fuel. *Renewable Energy*, 33(4), 553-557.
- [28] Subbarayan, M. R., Kumaar, J. S., Padmanaban, M. A. 2016. Experimental investigation of evaporation rate and exhaust emissions of diesel engine fuelled with cotton seed methyl ester and its blend with petrodiesel. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 48, 369-377.
- [29] Nabi, M. N., Rahman, M. M., Akhter, M. S. 2009. Biodiesel from cotton seed oil and its effect on engine performance and exhaust emissions. *Applied thermal engineering*, 29(11-12), 2265-2270.
- [30] Sundar, K., Udayakumar, R. 2020. Comparative evaluation of the performance of rice bran and cotton seed biodiesel blends in VCR diesel engine. *Energy Reports*, 6, 795-801.
- [31] Uyumaz, A., Boz, F., Baydır, Ş. A. 2018. Direkt enjeksiyonlu bir dizel motorunda atık zeytinyağı biyodizelinin yanma, performans ve emisyon karakteristikleri. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 6(1), 55-66.
- [32] Calam, A. Atık Kızartma Yağı Biyodizeliyle Çalışan Direkt Enjeksiyonlu Bir Dizel Motorun Yanma Performans ve Emisyon Özellikleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(64), 97-106.
- [33] Rounce, P., Tsolakis, A., York, A. P. E. 2012. Speciation of particulate matter and hydrocarbon emissions from biodiesel combustion and its reduction by aftertreatment. *Fuel*, 96, 90-99.
- [34] Su, J., Zhu, H., Bohac, S. V. 2013. Particulate matter emission comparison from conventional and premixed low temperature combustion with diesel, biodiesel and biodiesel–ethanol fuels. *Fuel*, 113, 221-227.
- [35] Lesnik, I., Iljaz, J., Hribernik, A., Kegl, B., 2014. Numerical and experimental study of combustion, performance and emission characteristics of a heavy-duty DI diesel engine running on diesel, biodiesel and their blends. *Energy Conversion and Management*, 81, 534-546.
- [36] Aksoy, F., Akay, F., Baydır, Ş. A., Solmaz, H., Yılmaz, E., Uyumaz, A., Calam, A. 2019. An Experimental Investigation on The Effects of Waste Olive Oil Biodiesel on Combustion, Engine Performance and Exhaust Emissions. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 8(3), 103-116.
- [37] Kegl, B., Kegl, M., Pehan, S. 2008. Optimization of a fuel injection system for diesel and biodiesel usage. *Energy & Fuels*, 22(2), 1046-1054.
- [38] Fattah, I. M. R., Masjuki, H. H., Kalam, M., Wakil, M. A., Ashraful, A. M., Shahir, S. A. 2014. Experimental investigation of performance and regulated emissions of a diesel engine with *Calophyllum inophyllum* biodiesel blends accompanied by oxidation inhibitors. *Energy Conversion and Management*, 83, 232-240.
- [39] Parekh, P. R., Goswami, J. 2012. Emission and performance of diesel engine using waste cooking oil bio diesel blends-review. *Journal of Engineering Research and Studies*, 3(1), 34-39.
- [40] Tan, P., Hu, Z., Lou, D., Li, Z. 2012. Exhaust emissions from a light-duty diesel engine with *Jatropha* biodiesel fuel. *Energy*, 39(1), 356-362.
- [41] Mofijur, M., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Atabani, A. E., Arbab, M. I., Cheng, S. F., Gouk, S. W. 2014. Properties and use of *Moringa oleifera* biodiesel and diesel fuel blends in a multi-cylinder diesel engine. *Energy Conversion and Management*, 82, 169-176.
- [42] Bayındırlı, C., Çelik, M. 2019. Investigation of combustion and emission characteristics of n-hexane and n-hexadecane additives in diesel fuel. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33(4), 1937-1946.
- [43] Dhar, A., Kevin, R., Agarwal, A. K. 2012. Production of biodiesel from high-FFA neem oil and its performance, emission and combustion characterization in a single cylinder DIC engine. *Fuel Processing Technology*, 97, 118-129.
- [44] Simsek, S. 2020. Effects of biodiesel obtained from Canola, sefflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions. *Fuel*, 265, 117026.
- [45] Çelik, M., Bayındırlı, C. 2020. Enhancement performance and exhaust emissions of rapeseed methylester by using n-hexadecane and n-hexane fuel additives. *Fuel*, 202, 117643.
- [46] Ardebili, M., Calam, A., Yılmaz, E., Solmaz, H. 2021. A comparative analysis of the engine performance and exhaust emissions characteristics of a diesel engine fueled with Mono ethylene glycol supported emulsion. *Fuel*, 11

Yüzeyle Zenginleştirilmiş Raman Saçılması (YZRS) ile Ovaryum Kanseri İlaç Direncinin İncelenmesi

Ömer Aydın *1,2,3,4

*¹ Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Biyomedikal Mühendisliği, KAYSERİ

² Erciyes Üniversitesi Klinik Mühendislik Araştırma ve Uygulama Merkezi (ERKAM), KAYSERİ

³ Erciyes Üniversitesi Nanoteknoloji Araştırma Merkezi (ERNAM), KAYSERİ

⁴ NanoThera Lab, Erciyes Üniversitesi İlaç Uygulama ve Araştırma Merkezi (ERFARMA), KAYSERİ

(Alınış / Received: 10.08.2021, Kabul / Accepted: 04.10.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Yüzeyle Zenginleştirilmiş
Raman Saçılması (YZRS),
Ovaryum Kanseri,
Sisplatin,
İlaç direnci,
Altın nanoparçacık,
Temel Bileşen Analizi

Öz: Ovaryum kanseri kadınlar arasında yaygın olarak görünen en ölümcül kanserlerdendir. Ovaryum kanserinde sisplatin antikanser ilacı yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat zamanla hücrelerde sisplatine karşı direnç oluşmaktadır. Gelişen bu ilaç direnci tedaviyi olumsuz etkilemektedir. İlaç direncini erken safhada hızlı bir şekilde tespit edilmesi ovaryum kanserinin hem tedavisini hem de sağ kalım oranlarını olumlu etki oluşturacağı açıktır. Bu çalışmada, sisplatin ilacına karşı gelişen direnci A2780 sisplatin dirençli ovaryum kanser hücreleri (A2780cis) ile sisplatine duyarlı A2780 hücre hatları yüzeyle-zenginleştirilmiş Raman Spektroskopisi tekniği (YZRS) ile incelenmiş ve temel bileşen analizi ile iki hücre hattı arasındaki farklılık makine öğrenmesi tekniği ile incelenmiştir. İki hücre hattının YZRS spektrumları birbirine çok benzer olduğu için göz ile ilaç direncini ayırt etmede zorlanılırken temel bileşen analizi sonucu %84 doğruluk ile sisplatine direnç kazanmış hücreler duyarlı hücrelerden ayırt edilmiştir. Bu yöntemin daha da geliştirilerek ileride klinik düzeyde analizlerde kullanılabilme potansiyeli mevcuttur.

Investigation of Drug Resistance of Ovarium Cancer via Surface-enhanced Raman Spectra (SERS)

Keywords

Surface-enhanced Raman
Spectra (SERS),
Ovarium Cancer,
Cisplatin,
Drug resistance,
Gold nanoparticles,
Principle Component
Analysis (PCA)

Abstract: Ovarian cancer is one of the deadliest cancers commonly seen among women. Cisplatin anticancer drug is widely used in ovarian cancer. However, cells have developed a resistance to cisplatin over time. This developing drug resistance adversely affects the treatment. The rapid detection of drug resistance at an early stage will have a positive effect on both the treatment and survival rates of ovarian cancer. In this study, cisplatin-resistant ovarian cancer cells (A2780cis) and cisplatin-sensitive A2780 cell lines were investigated by surface-enriched Raman Spectroscopy technique (SERS) and analyzed by principal component analysis (PCA). While the SERS spectra of the two cell lines were similar to each other so it is difficult to distinguish by naked eyes, the cells that became resistant to cisplatin with an accuracy of 84% as a result of principal component analysis were distinguished from susceptible cells. This method has the potential to be further developed and used in the clinical analysis in the future.

*İlgili Yazar, e-mail: biomer@umich.edu

1. Giriş

Ovaryum kanseri (OC), tüm kadın üreme kanserleri arasında en ölümcül olanıdır ve kanser ölümlerinin beşinci önde gelen nedenidir. Genellikle sessiz katil olarak bilinen OC, belirsiz semptomları nedeniyle ileri bir aşamaya gelene kadar sıklıkla teşhis edilemez ve tedavi edilmesini zorlaştırır. İleri evre OC olan hastaların tedavisi genellikle sito-indirgeyici cerrahi olarak bilinen sağkalımın artırılmasını sağlamak amacıyla tümör dokusunun mikroskopik boyuta küçültülmesini daha sonrasında cis-diamminedikloro-platin (II) (cis) ve paklitaksel ilaçları ile kombinasyon kemoterapisini içermektedir. Cis yaygın olarak kullanılan inorganik yapıdaki tek antikanser kemoterapi ilacıdır. Tüm kanser hastalarının %10-20' sinin tedavilerinin bir döneminde cis ajanı kullanılmaktadır [1]. Cis, hücrelere taşındığında, klorür iyonları hücresel DNA, RNA ve proteinlere bağlanan ve replikasyonu, transkripsiyonu, translasyonu ve DNA onarımını inhibe eden pozitif yüklü platin iyonundan ayrışır. Ancak kemoterapi tedavisinde zamanla oluşan ilaç direnci cis etkinliğini azaltmaktadır [2].

Öte taraftan, OC, Türkiye'deki kadınlarda en sık görülen 10 kanser türü arasında yer almaktadır ve yaşa göre standardize edilmiş hızı 6.4 iken, tüm yaş gruplarında %3,5 dağılım değerine sahiptir [3]. 5 yıllık ortalama sağkalım oranı yaklaşık %40'tır, ancak ilerlemiş hastalığı olan hastalar (FIGO sınıflandırmasına göre III ve IV evreleri) yalnızca %10-20 gibi önemli ölçüde daha düşük bir sağkalım oranına sahiptir [4]. Bu oranlar OC hastaları arasında yüksek mortalite, geç tanı ve kemoterapinin düşük etkinliğinden kaynaklanmaktadır. Hastalığın evresine bakılmaksızın, kemoterapinin ilk aşaması, cis ve taksanın kombine bir kemoterapi rejiminden oluşur [4]. Kanser kemoterapisinin etkinliği, tümörlerin tedaviye direnme veya direnç geliştirme yeteneği ile sınırlıdır [5]. Düşük kemoterapi etkinliğinin temel nedeni kanser hücrelerinin ilaç direncidir. İlaç direncinin hücresel mekanizmaları çeşitlidir. İlacın hücrelerde daha düşük birikimi, hücrede ilacın lokalizasyonunda değişiklik, ilacın daha yavaş inaktivasyonu, ilaç DNA'sı ve hücresel membranlar tarafından hasarın daha hızlı onarımı ve bu hasarlara tolerans için arttırılmış yetenek ve moleküler hedeflerdeki, gen ifadesinde ve apoptozun düzenlenmesindeki değişiklikler, onları ilaçların eylemlerine duyarsız veya daha az duyarlı hale getirir [4].

Normal Raman spektroskopisi biyolojik numunelerin otoflüoresansından ve düşük Raman saçılmasından olumsuz etkilenmektedir. Fakat bu sorunun üstesinden biyolojik molekülün altın veya gümüş gibi kıvrımlı metal yüzeyler üzerinde molekül ve yüzeyin çok yakın bir şekilde yüzey ile etkileşmesi neticesinde üstesinden gelinebilmektedir [6]. Bu olaya Yüzeyde Zenginleştirilmiş Raman Saçılması (YZRS) denilir ve uzun zamandır biyolojik numunelerin analizinde ve tespitinde yaygın olarak kullanılmaktadır [7]. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde 10^{14} kat yüzeyde zenginleştirilmenin olabildiği gösterilmiştir [8]. Bu yükseltgenme kat sayısı ile tek molekülün, moleküler düzeyde tespit edilebileceği iddia edilse de geliştirilen yüzeyler ve nanoparçacıklar ile genel itibari ile 10^5 - 10^7 arasında sinyal zenginleştirilmesi elde edilebilmektedir [9, 10]. YZRS'nin protein seviyesinden analizlerden, bakteri, antibiyotiğe dirençli bakteri, hücre ve doku farklılaşmasının tespitine kadar çok farklı seviyelerde yaygın olarak kullanılmaktadır [11, 12, 13].

Bu çalışmada, ovaryum kanser hattu (A2780) cis cis dirençli ovaryum kanser hattının (A2780cis) cis karşı ilaç direncinin YZRS ve temel makine öğrenme teknikleri kullanılarak tayin edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Altın (III) klorit trihidrat (Sigma Aldrich, ABD), sodyum sitrat dihidrat (Sigma Aldrich, ABD), Dulbecco's modified Eagle's Medium (DMEM) (Lonza, İsviçre), RPMI (Lonza, İsviçre), Fetal sığır serumu (Fetal Bovine Serum-FBS) (Biological Industries, İsrail), penisilin/streptomisin (Gibco, İskoçya), Tripsin EDTA (Biological Industries, İsrail).

2.1. AuNP sentezi

Altın nanopartiküller (AuNP) Turkevich metodu kullanılarak sentezlendi [14]. Kısaca, 10 mg HAuCl_4 , 100 mL saf su içerisinde çözüldü ve kaynatılmaya kadar manyetik karıştırıcıda ısıtıldı. %1 hazırlanan sodyum sitrat çözeltisinden 700 μL alınarak hızlı bir şekilde kaynayan çözeltiye eklendi. 15 dakika daha kaynatıldı. Oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. AuNP'ların absorpsiyon spektrumu 200-700 nm aralığında Perkin Elmer Lambda UV-Görünür Bölge Spektrometre kullanılarak elde edildi. Nanoparçacıkların zeta potansiyeli ve hidrodinamik çapı Zetasizer Nano ZS (Malvern, UK) kullanılarak belirlendi. Nanoparçacıkların konsantrasyonu ve boyut dağılımı nanopartikül izleme analiz (NTA) cihazı Nanosight NS300 (Malvern, UK) kullanılarak belirlendi. Taramalı-Geçirimli Elektron Mikroskopu (STEM) görüntüleri ZEISS GEMİNİ 500 (ZEISS, Germany) cihazı kullanılarak elde edildi.

2.2. Hücre kültürü

İnsan ovaryum kanseri hücre hattı A2780 ve cis dirençli insan ovaryum kanseri hücre hattı A2780cis, Prof. Dr. Hülya AYAR KAYALI (İzmir Biyotıp ve Genom Merkezi, İBG) tarafından hediye edilmiştir. Bu hücrelerin orijinali European Collection of Authenticated Cell Cultures (ECACC) 'dan temin edilmiştir. Cis ilaç direncinin sağlanması için üretici firmanın tavsiyesi üzerine her 3-4 pasajda bir 1 μM cis besi yerine eklenmektedir. A2780 ve A2780cis hücre hattı RPMI besi yerinde kültürlendi. Hücre kültürü ortamı, %10 fetal sığır serumu (FBS), penisilin (100 U / mL) ve streptomisin (100 U / mL) içermektedir ve hücreler, 37 ° C'de %5 CO₂ ile muhafaza edildi.

2.3. YZRS ölçümü

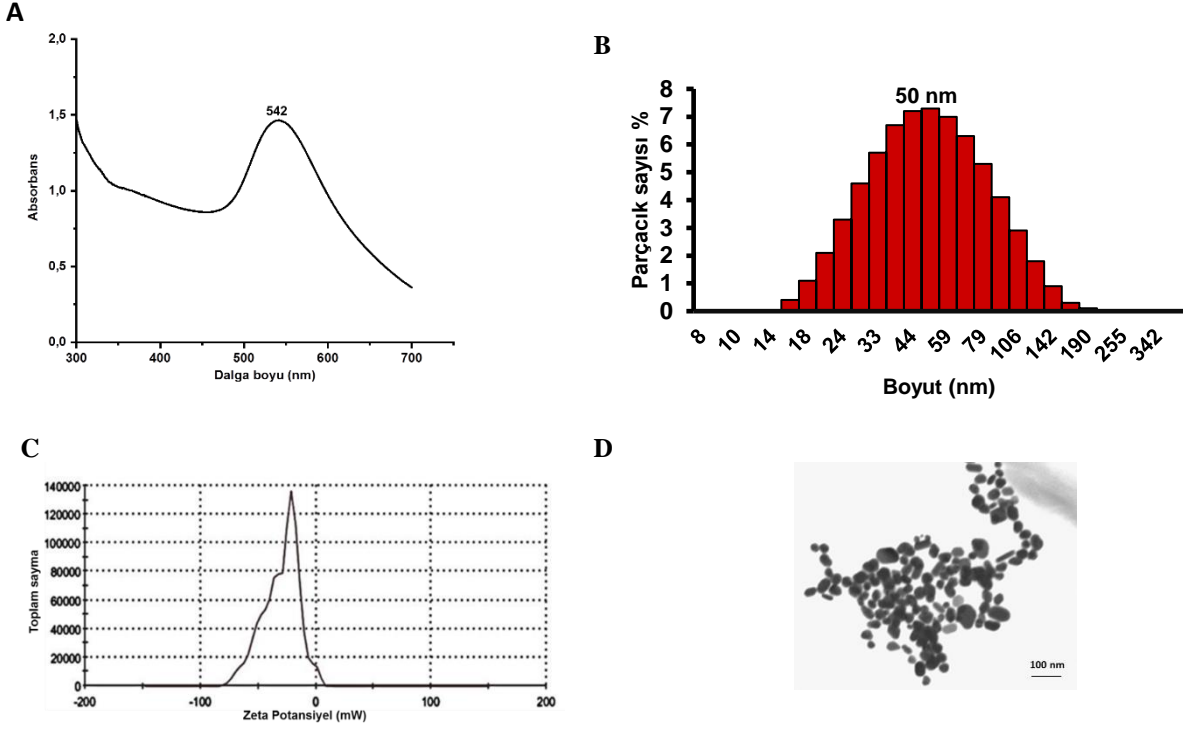
6 kuyucuklu hücre kabının her bir kuyucuğuna 7500 hücre/kuyucuk olacak şekilde hücrelerin ekimleri gerçekleştirildi [2, 3]. Ekimi gerçekleştirilen hücrelere AuNP verilmesi için, kuyucuk içerisindeki besi ortamı uzaklaştırıldı ve bir kez PBS ile yıkama yapıldı. Yıkama sonrası her bir kuyucuğa 750 μL FBS içermeyen besi ortamı ile 250 μL ($1,15 \times 10^{11}$ parçacık/mL) AuNP çözeltisi eklendi. 4 saat hücreler besin açlığına bırakıldı ve 4 saat sonrasında hücrelerine FBS içeren besi ortamı ilave edildi. Hücreler 24 saat AuNP'lar ile inkübe edildi. İnkübasyon sonrası hücrelerden YZRS spektrumları toplayabilmek için kuyucuk içerisindeki besi ortamı uzaklaştırıldı. PBS ile bir kez yıkama yapıldı. Yıkama sonrası kuyucuğa tripsin ilave edilerek hücrelerin kültüre edildikleri kuyucuklardan ayrılması sağlandı. Hücre içeren besi ortamından 20 μL hacminde alınarak CaF₂ üzerine damlatıldı ve YZRS spektrumları elde edildi. Bütün YZRS ölçümleri WITech alpha M+ Raman Mikroskop Sistemi kullanılarak gerçekleştirildi. 50x objektif lens ile hücreler 10 mW lazer gücünde yakın infrared 785 nm diyot lazer kullanılarak uyarıldı. Örnek üzerinde lazerin kalma süresi 2 sn olarak ayarlandı.

2.4. Veri ön işleme ve çok değişkenli analiz

A2780 ve A2780cis hücre hatlarından 400-1700 cm^{-1} aralığında 20 spektrum toplanmıştır. Veri üzerindeki gürültü bileşenlerini ortadan kaldırmak için spektrumlar üzerinde taban hattı çıkarılması (5. Derece polinomiyal) ve Savitzky Golay filtre ile yumuşatma işlemleri (5. derece 11 noktalı) gerçekleştirilmiştir. Bu adımlar WITec Project Plus 5 üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından tüm spektral vektörlerin ortalaması 0, standart sapması 1 yapılarak veri üzerinde standardizasyon işlemi yapılmıştır. Temel bileşen analizi, yüksek boyutlu uzayda yer alan spektral vektörlerin daha düşük boyutlu uzayda gösterilmesini sağlayan istatistiksel bir tekniktir. Bu çalışmada temel bileşen analizi, MATLAB (Mathworks, USA) yazılımı kullanılarak 'pca' fonksiyonu ile gerçekleştirilmiştir.

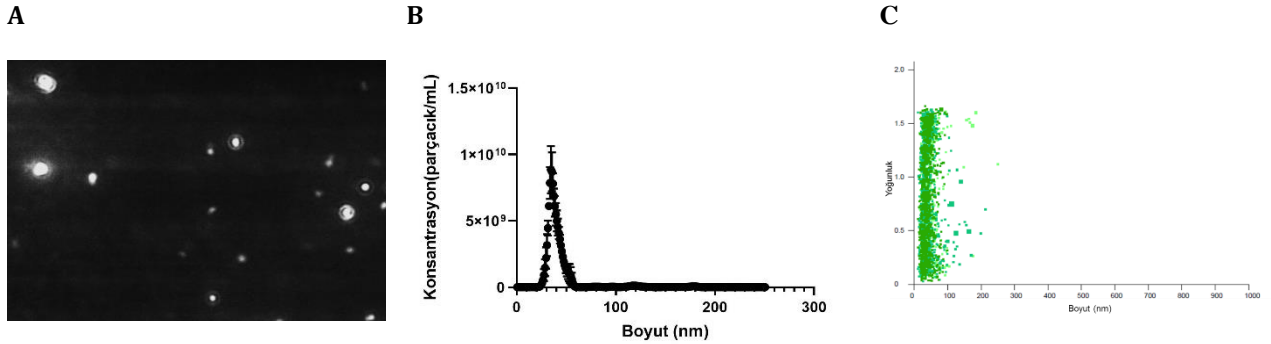
3. Bulgular

YZRS tek hücre analizlerinde, hücresel farklılaşmada ve dokunun fizyolojik değişimlerinde yaygın bir şekilde tercih edilmektedir [12, 13]. Çünkü, YZRS ile tek hücre mertebesinde, yıkıcı ve girişimsel olmadan temassız bir şekilde spektrumlar alınabilmektedir. Özellikle herhangi bir işaretleme yapılmaksızın hücrelerden direkt fizyolojik bilgi edinilebilmesi en önemli avantajıdır. Bunun için hücre içerisinden en etkin bir şekilde Raman sinyali almamızı yarayan 50 nm'lik AuNP'lar sentezlenmiştir. AuNP'ların elde edilmesinde genel kabul görmüş sitrat indirgeme Turkevich yöntemi tercih edilmiştir. Sentezlenen AuNP'lar fotonik, boyut, yük yoğunluğu olarak sırası ile UV-Vis, DLS, zeta-potansiyel, TEM ile karakterize edilmiştir (**Şekil 1**). 50 nm AuNP'ın karakteristik absorplama piki olan 542 nm görülmektedir (**Şekil 1a**). Devamında, sentezlenen AuNP'ların boyut dağılımı 50 nm civarında olduğu DLS ile gösterilmiştir (**Şekil 1b**). AuNP'lar sitrat ile indirgendiği için negatif yüzey yüküne sahip olduğu (-30.3 mV) Zeta potansiyel ile gösterilmiştir (**Şekil 1c**). Daha sonra yapılan TEM analizi ile parçacıkların şeklinin küresel olduğu ve 50 nm civarında olduğu görülmektedir (**Şekil 1d**).



Şekil 1. Sentezlenen AuNP'lerin karakterizasyonu. **(A)** UV/Vis spektrumu, **(B)** DLS boyut dağılım grafiği, **(C)** Zeta potansiyel grafiği, **(D)**TEM görüntüsü (skala çubuğu 100 nm'dir)

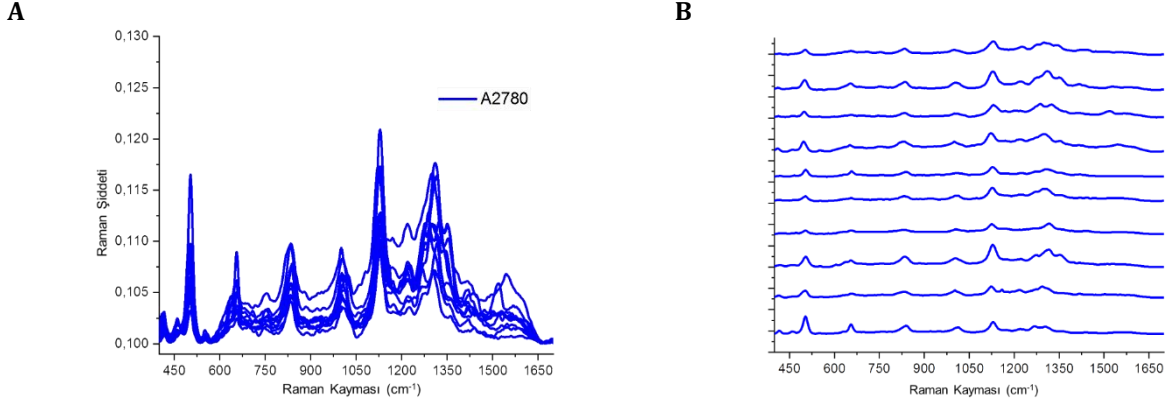
Hüresel YZRS analizlerinde parçacığın boyutu önem ihtiva etmektedir literatürde de belirtildiği üzere tek hücre ve 3B hücre analizlerinde 50 nm boyutundaki AuNP'ler daha fazla YZRS etkinliği göstermektedir [15]. Bundan dolayı parçacık boyutu nanoparçacık izleme analiz (Nanoparticle Tracking Analysis) cihazı ile ayrıca incelenmiştir. **Şekil 2'de** görüldüğü üzere parçacıklar 50 nm civarında dağılım göstermekte DLS ile görülemeyen büyük parçacıkların (100-200 nm aralığında) ihmal edilebilir ölçekte olduğu anlaşılmaktadır. NTA sisteminin boyut analizi her bir parçacığı tek tek hareketini analiz ettiği için DLS'e göre daha doğru sonuçlar verebilmektedir.



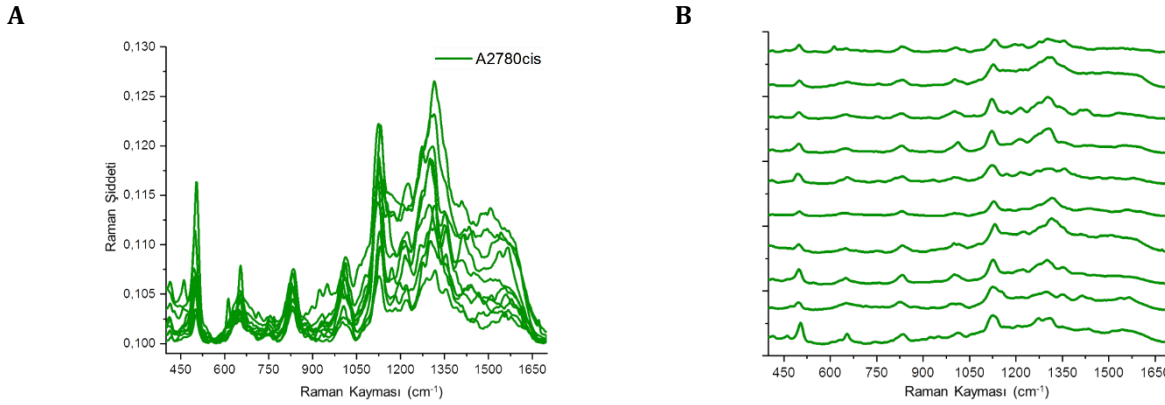
Şekil 2. Parçacığın NTA boyut analizleri, **(A)** NTA video görüntüsünden bir kesit, **(B)** NTA cihazı tarafından üretilen AuNP boyuta bağlı konsantrasyon grafiği, **(C)** NTA cihazı tarafından üretilen tanecikli boyut dağılımı.

Hem A2780 hem de A2780cis hücrelerinden YZRS ile spektrumlar toplamadan evvel hücreler PBS ile yıkanmış ve 4 saat boyunca FBS'siz besi yerinde besin açlığına bırakılarak tüm kültür edilen hücrelerin benzer hüresel döngüde olması sağlanmıştır. Hücreler besin açlığında iken her plakaya eşit sayıda ($1,15 \times 10^{11}$ parçacık/mL) AuNP'lar konulmuştur ve 24 saat boyunca muamele edilmiştir. 24 saatin ardından besi yeri uzaklaştırılıp en az 10 farklı hücreden YZRS ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3 ve Şekil 4'ten de görüldüğü gibi her iki hücre hattından farklı 10 noktadan alınan spektrumlar her hücre hattı içerisinde tekrarlanabilir olarak gelmektedir. Elde edilen bu 10'ar tane spektrumların ortalamasının grafiği çizilerek A2780, A2780cis hücre hatları arasındaki benzerlik ve farklılıklar Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5B'de de spektrum ortalaması siyah çizgi ile çizilirken alınan spektrumların standart ortalaması gri çizgiler ile ifade edilmiştir. Burada bir noktayı vurgulamakta fayda var. A2780cis hücre hattının cis direncini sağlayabilmek için her 3-4 pasajda bir $1 \mu\text{M}$ cis besi yerine eklenmektedir.

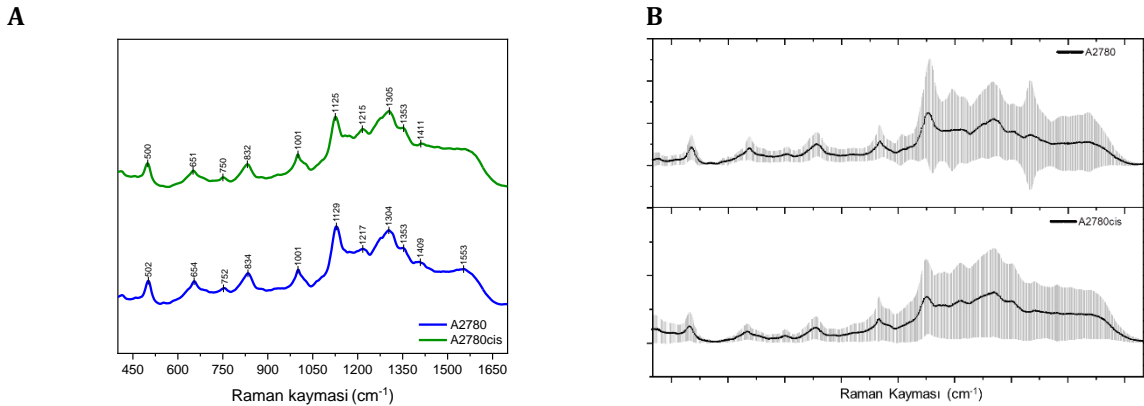
Bu değer A2780 hücre hattının bizim hesapladığımız $12 \mu\text{M}$ IC50 değerinin çok altındadır. Ayrıca cis ilacından bir girişim gözlemlenmemiştir.



Şekil 3. (A) 10 farklı A2780 hüresinden elde edilen tekrarlanabilir YZRS spektrumları, **(B)** A2780 spektrumları arasına off-set değeri konularak daha ayrıntılı bir şekilde 10 ölçüm arasındaki benzerliklerin gösterimi.

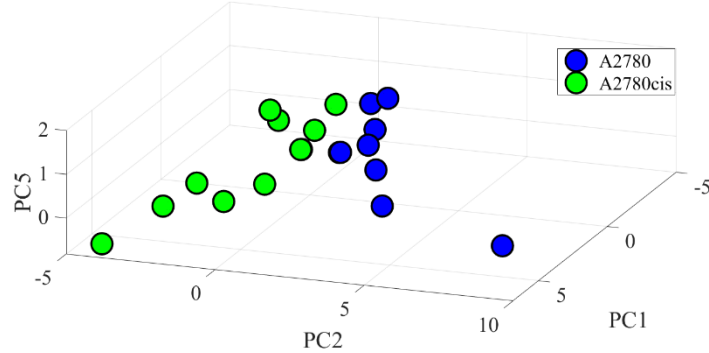


Şekil 4. (A) 10 farklı A2780cis hüresinden elde edilen tekrarlanabilir YZRS spektrumları, **(B)** A2780cis spektrumları arasına off-set değeri konularak daha ayrıntılı bir şekilde 10 ölçüm arasındaki benzerliklerin gösterimi



Şekil 5. (A) A2780 ve A2780 hücre hatlarından elde edilen spektrumların ortalamalarının karşılaştırılması, **(B)** A2780 ve A2780cis hücrelerinden elde edilen YZRS spektrumları. Siyah çizgiler spektrumların ortalamalarını, gri çizgiler standart sapmayı göstermektedir.

İlaça dirençli ve duyarlı hücre hatlarına ait spektrumlar tek tek incelendiğinde YZRS ortalamaları spektrumları gözle ayırt edilemeyecek seviyede birbirine benzemektedirler. Bundan dolayı temel bileşen analizi (PCA) gerçekleştirilmiştir. Analiz neticesinde A2780 ve A2780cis hücre hatları birbirinden başarıyla ayrılabilmiştir **Şekil 6**.



Şekil 6. A2780 ve A2780cis YZRS spektrumlarının PCA analiz grafiği

4. Tartışma ve Sonuç

Ovaryum kanser kadınlar arasında en yaygın görülen kanser olduğu için ve cis gibi kemoterapi ajanları ile tedavi edildikçe zamanla kanser hücreleri cis'e karşı direnç kazanmaktadır. Kazanılan bu ilaç direncinin hızlı ve ucuz bir şekilde tespit edilmesi şüphesiz ki tedaviye önemli katkı sağlayacaktır. YZRS'nin sahip olduğu avantajlar ile hücresel seviyede bu ilaç direncini tespit edebilme potansiyeli mevcuttur. Altın ve gümüş gibi metalik nanoparçacıklar YZRS uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [10, 11, 12, 13, 15]. 50 nm boyutundaki altın nanoparçacıkların etkin bir şekilde hücreye endositoz ile alındığı literatürde vurgulanmıştır [16]. Ayrıca 50-nm altın nanoparçacığın diğer metalik nanoparçacıklar içerisinde en etkin YZRS aktivite gösterdiği yine literatürce gösterilmiştir [15]. Bu sebeplerden dolayı çalışmada 50 nm boyutunda AuNP başarı ile sentezlenmiştir (**Şekil 1 ve Şekil 2**). Boyut analizi hem DLS hem SEM hem de NTA ile gösterilmiştir. Sentezlenen bu AuNP'lar YZRS ile hücre analizleri için uygun boyutlardadır.

Bu çalışmada, ilaca dirençli ve duyarlı hücreler arasındaki spektral farklılıkları ortaya çıkarmak için çok değişkenli analiz tekniği tercih edildi. PCA, maksimum varyans miktarını koruyarak verilerin boyutunu azaltmak için oldukça kullanışlı, denetimsiz bir makine öğrenimi tekniğidir. Karmaşık çok değişkenli verileri, temel bileşenler adı verilen az sayıda yeni değişkene dönüştürür. İlk ana bileşen, veri kümesinde olası en yüksek varyansa sahiptir ve varyans, ilk bileşenden son ana bileşene doğru azalır. Burada PCA, grafiksel temsil sağlamak için veri setini daha düşük boyutlu uzayda görselleştirmek için kullanılmıştır. Üç boyutlu PCA grafiği temel bileşen 1 (PC1), temel bileşen 2 (PC2) ve temel bileşen 5 (PC5) olarak (**Şekil 6'da**) çizilmiştir. 3 boyutlu PCA grafiğinde; PC1, PC2 ve PC5 veri setindeki varyansın %84 ile büyük bir kısmını taşımaktadır. Şekil 6'da görüldüğü gibi A2780 ile A2780cis arasında net bir ayırım vardır.

Tablo 1'de de YZRS spektrumlarındaki piklerin hangi yapılardan geldiği kısaca özetlenmiştir. Tablo detaylı incelendiğinde hem A2780 hem A2780cis hücrelerinden gelen moleküler sinyallerin birbiri ile yüksek düzeyde benzeştiği net bir şekilde görünmektedir. Fakat DNA'nın yapısı ile ilişkili piklerin yer aldığı 600-900 cm^{-1} bölgesindeki piklerin tepe noktasında kayma söz konusudur [17]. Bu piklerin genişliğindeki değişim iki hücre arasında bir farklılığı ortaya koymamaktadır. Fakat A2780 hücre hattından gelen 654, 752 ve 834 cm^{-1} tepe noktalı pikler A2780cis hücre hattında biraz kayarak 651, 750, 832 cm^{-1} 'e noktalarında gelmiştir. Burada DNA piklerinin öncül olarak değerlendirilme nedeni, cis antikanser ilacı, kanser hücrelerinde DNA'nın pürin bazlarına çapraz bağlanarak hücrenin bölünmesini engeller. Böylelikle DNA'da hasara neden olur ve hücre apoptoza gider. Cis'e direnç kazanan hücrelerin DNA yapılarında böyle bir pik kayması olasıdır. Ayrıca 654 cm^{-1} 'deki pik tirozinin C-C bağları arasındaki bükülmeyi, 752 cm^{-1} 'deki pik ise tiriptofandan ve son olarak 834 cm^{-1} 'deki pik ise C-C ve NH_3^+ titreşimlerinden geldiği literatürde gösterilmektedir (**Tablo 1'de** referansları ile bulabilirsiniz) Öte taraftan bu piklerin genişliğinde gözle ayırt edilebilecek bir değişim söz konusu değildir. Çalışmamızda elde edilen pikler literatürdeki hücre YZRS çalışmaları ile yakınlık göstermektedir [18, 19]. Gözle iki hücre hattının moleküler farklılığını YZRS spektrumları üzerinde ayırt edebilmek oldukça güçtür. Bu noktada PCA analizinin önemi açıkça ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak kanser kemoterapi yaklaşımında en önemli sorunlarından olan ilaca karşı gelişen direncin spektroskopik yöntem olan YZRS ile hızlı bir şekilde tayin edilebilme potansiyeli araştırılmıştır. Bu çalışmada cis'e

duyarlı A2780 ve cis'e dirençli A2780cis hücre hatları YZRS ile Raman Spektrumları alınarak PCA analizi gerçekleştirilmiştir. PCA analizine göre bu iki hücre hattını %84 doğruluk oranı ile birbirinden ayırt edilebilmektedir. Daha yüksek doğrulukta cis'e direnç kazanmış kanser hücrelerini tespit edebilmek için hücreye spesifik AuNP'lar sentezlenerek ve farklı derin öğrenme yöntemleri kullanılarak yeni sistemler geliştirilebilir.

Tablo 1: Hücrelerden elde edilen spektrum bilgilerinin moleküler yapı bilgisi.

A2780	A2780cis	Moleküler Yapı
502 cm ⁻¹	500 cm ⁻¹	Polipeptitlerin S-S titreşimi [20]
654 cm ⁻¹	651 cm ⁻¹	C-C bükme (Tirozin) [21]
752 cm ⁻¹	750 cm ⁻¹	Triptofan [22]
834 cm ⁻¹	832 cm ⁻¹	C-C titreşimi, NH ₃ ⁺ titreşimi [20]
1001 cm ⁻¹	1001 cm ⁻¹	Fenilalanin C-C iskeleti [21, 22, 23]
1129 cm ⁻¹	1125 cm ⁻¹	C-N protein gerilmesi; C-C lipid gerilmesi [22]
1217 cm ⁻¹	1215 cm ⁻¹	PO ₂ ⁻ asimetrik titreşimi [20]
1304 cm ⁻¹	1305 cm ⁻¹	Lipidlerin C-H deformasyonu [22]
1353 cm ⁻¹ -1409 cm ⁻¹	1353 cm ⁻¹ -1411 cm ⁻¹	CH ₂ sallanması, C=N titreşimi [20]
1553 cm ⁻¹	1553 cm ⁻¹ (az)	Triptofan [22]

Teşekkür

Bu çalışmada grafiklerin çizimi ve analizinde destek veren öğrencilerim Münevver Akdeniz ile Fatma Uysal Çiloğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Kaynakça

- [1] Dasari, S., Tchounwou, P. B. 2014. Cisplatin in cancer therapy: molecular mechanisms of action. *Eur J Pharmacol*, 5;740:364-78.
- [2] Galluzzi, L., Senovilla, L., Vitale, I., Michels, J., Martins, I., Kepp, O., Castedo, M., Kroemer, G. 2012. Molecular mechanisms of cisplatin resistance. *Oncogene*, 31(15):1869-83.
- [3] Anonim, 2018. Türkiye Kanseri İstatistikleri 2015. https://hsgm.saglik.gov.tr/depo/birimler/kanser-db/istatistik/Trkiye_Kanser_statistikleri_2015.pdf (Erişim Tarihi: 08.08.2021).
- [4] Januchowski, R., Zawierucha, P., Ruciński, M., Nowicki, M., Zabel, M. 2014. Extracellular matrix proteins expression profiling in chemoresistant variants of the A2780 ovarian cancer cell line. *Biomed Res Int*, 2014:365867.
- [5] Herod, J. J. O., Eliopoulos, A. G., Warwick, J., Niedobitek, G., Young, L. S., Kerr, D. J. 1996. The prognostic significance of Bcl-2 and p53 expression in ovarian carcinoma. *Cancer Res*, 56(9):2178-84.
- [6] Kahraman, M., Aydin, O., Culha, M. 2009. Size effect of 3D aggregates assembled from silver nanoparticles on surface-enhanced Raman scattering. *Chemphyschem*, 10(3):537-42.
- [7] Kahraman, M., Mullen, E.R., Korkmaz, A., Wachsmann-Hogiu, S. 2017. Fundamentals and applications of SERS-based bioanalytical sensing. *Nanophotonics*, 6(5), 831-852.
- [8] Nie, S., Emory, S. R. 1997. Probing Single Molecules and Single Nanoparticles by Surface-Enhanced Raman Scattering. *Science*, 275(5303):1102-6.
- [9] Suzuki, M., Niidome, Y., Kuwahara, Y., Terasaki, N., Inoue, K., Yamada, S., 2004. Surface-enhanced nonresonance Raman scattering from size-and morphology-controlled gold nanoparticle films. *The Journal of Physical Chemistry B*, 108(31), 11660-11665.
- [10] Chattopadhyay, S., Lo, H.C., Hsu, C.H., Chen, L. C., Chen, K.H. 2005. Surface-enhanced Raman spectroscopy using self-assembled silver nanoparticles on silicon nanotips. *Chemistry of materials*, 17(3), 553-559.
- [11] Ciloglu, F.U., Saridag, A.M., Kilic, I.H., Tokmakci, M., Kahraman, M., Aydin, O. 2020. Identification of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* bacteria using surface-enhanced Raman spectroscopy and machine learning techniques. *Analyst*, 145(23), 7559-7570.

- [12] Aydın, Ö., Kahraman, M., Kiliç, E., Çulha, M., 2009. Surface-enhanced Raman scattering of rat tissues. *Applied spectroscopy*, 63(6), 662-668.
- [13] Aydın, Ö., Altaş, M., Kahraman, M., Bayrak, Ö. F., Çulha, M. 2009. Differentiation of healthy brain tissue and tumors using surface-enhanced Raman scattering. *Applied spectroscopy*, 63(10), 1095-1100.
- [14] Turkevich, J., Stevenson, P.C., Hillier, J., 1951. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discussions of the Faraday Society*, 11, 55-75.
- [15] Altunbek, M., Kuku, G., Culha, M., 2016. Gold nanoparticles in single-cell analysis for surface enhanced Raman scattering. *Molecules*, 21(12), 1617.
- [16] Chithrani, B.D., Ghazani, A.A., Chan, W.C. 2006. Determining the size and shape dependence of gold nanoparticle uptake into mammalian cells. *Nano letters*, 6(4), 662-668.
- [17] Huang J., Z. M. Mansoureh, Zhao Y., Hubarevich A., Omeis F., Giovannini G., Schütte M., Garoli D., De Angelis F. 2019. SERS discrimination of single DNA bases in single oligonucleotides by electro-plasmonic trapping. *Nature Communications*, 10(1), 1-10.
- [18] Kuku, G., Altunbek, M., Culha, M., 2017. Surface-enhanced Raman scattering for label-free living single cell analysis. *Analytical chemistry*, 89(21), 11160-11166.
- [19] Altunbek, M., Çetin, D., Suludere, Z., Çulha, M. 2019. Surface-enhanced Raman spectroscopy based 3D spheroid culture for drug discovery studies. *Talanta*, 191:390-9.
- [20] Huefner, A., Kuan, W.L., Müller, K.H., Skepper, J.N., Barker, R.A., Mahajan, S. 2016. Characterization and visualization of vesicles in the endo-lysosomal pathway with surface-enhanced Raman spectroscopy and chemometrics. *ACS nano*, 10(1), 307-316.
- [21] Yılmaz, D., Culha, M. 2021. Investigation of the pathway dependent endocytosis of gold nanoparticles by surface-enhanced Raman scattering. *Talanta*, 225, 122071.
- [22] Moradi, H., Ahmad, A., Shepherdson, D., Vuong, N.H., Niedbala, G., Eapen, L., Vanderhyden, B., Nyiri, B., Murugkar, S. 2017. Raman micro-spectroscopy applied to treatment resistant and sensitive human ovarian cancer cells. *Journal of biophotonics*, 10(10), 1327-1334.
- [23] Öztaş, D.Y., Altunbek, M., Uzunoglu, D., Yılmaz, H., Çetin, D., Suludere, Z., Çulha, M. 2019. Tracing size and surface chemistry-dependent endosomal uptake of gold nanoparticles using surface-enhanced Raman scattering. *Langmuir*, 35(11), 4020-4028.

Dielectric Properties of GNP@MgO/CuO@PVDF Composite Films

Safa POLAT *1

*1 Karabuk University, Material Research and Development Centre, KARABUK

(Alınış / Received: 05.08.2021, Kabul / Accepted: 02.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Keywords

MgO/CuO,
Graphene,
Composite film,
Dielectric constant

Abstract: In this study, it is aimed to develop dielectric materials with high dielectric coefficient for flexible capacitors. For this purpose, MgO/CuO nanoparticles were first synthesized by precipitation reactions. Then, these particles were added together with graphene nanoplates (GNPs) into PVDF in different compositions to form a composite mixture. After this process, flexible composite films of 30 µm thickness were formed with doctor blade and phase inversion methods. In the characterization processes, it was determined that MgO/CuO particles were successfully produced with an average size of 282 nm. On the other hand, the highest capacitance and dielectric coefficient values of the composite films were determined in the GNP@MgO/CuO@PVDF sample as 2.8 nF and 42.6 at 100 Hz frequency, respectively. As a result, it was concluded that the dielectric properties were significantly improved with the use of graphene and metal oxides together, and PVDF was very successful in terms of flexibility and binding role.

GNP@MgO/CuO@PVDF Kompozit Filmlerin Hazırlanması ve Dielektrik Özellikleri

Anahtar Kelimeler

MgO/CuO,
Grafen,
Kompozit film,
Dielektrik sabiti

Öz: Bu çalışmada, esnek kapasitörler için dielektrik katsayısı yüksek dielektrik malzemelerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla ilk olarak çöktürme reaksiyonları ile MgO/CuO nanopartikülleri sentezlenmiştir. Daha sonra bu partiküller grafen nanoplakaları (GNPs) ile birlikte PVDF içine farklı kompozisyonlarda eklenerek kompozit karışımı oluşturulmuştur. Bu işlemin ardından doktor blade ve phase inversion yöntemleri ile esnek yapılı 30 µm kalınlığında kompozit filmler oluşturulmuştur. Karakterizasyon işlemlerinde MgO/CuO partiküllerinin ortalama 282 nm boyutunda başarılı bir şekilde üretildiği tespit edilmiştir. Öte yandan kompozit filmlerden en yüksek kapasitans ve dielektrik katsayısı değerleri 100 Hz. frekansta sırasıyla 2,8 nF ve 42,6 olarak GNP@MgO/CuO@PVDF numunesinde tespit edilmiştir. Sonuç olarak grafen ve metal oksitlerin birlikte kullanımı ile dielektrik özellikler önemli ölçüde geliştirildiği ve ayrıca PVDF'in esneklik ve bağlayıcılık rolü bakımından oldukça başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

*Corresponding Author, e-mail: safapolat@karabuk.edu.tr

1. Introduction

The concept of energy has been one of the important research topics in almost all disciplines from past to present. With the increase in the global population and the decrease in natural resources, it has begun to be investigated in a concrete sense. In these studies, importance was given to the use of renewable resources without harming the nature. In this context, energy production studies have been carried out so far by utilizing resources such as wind [1], solar [2], hydrothermal [3], geothermal and biomass [4]. In fact, electrical energies obtained from these sources are widely used in many areas of our daily lives. However, as an alternative to these energy sources, triboelectric nanogenerators (TENGs) have been developed in recent years to provide the energy of electronic

devices such as watches and phones from daily activities [5,6]. TENGs have been developed to generate electricity from residual mechanical movements in our daily lives such as hand-arm movement, walking and running. The working principle of these devices is based on the principle of placing an insulating material on two conductor surfaces and rubbing them with each other [7]. Many studies have been carried out on this method for both application and material development in order to achieve higher output [8]. In these studies, it was stated that the use of materials with high dielectric coefficient increased the polarization and caused more electrification, which resulted in higher voltage outputs [9]. In terms of application, it has been aimed to develop flexible materials due to the human movement of the source [10]. On the other hand, there is no stable power output as sources like TENGs actually convert kinetic energy into electricity through motion in nature [11]. Therefore, it is also very important not only to obtain energy, but also to store it and make it available with appropriate outputs when needed. In this respect, the development of flexible capacitors and supercapacitors has been an intense research topic [12]. From these studies, it was concluded that it is a common requirement for the material to be developed for both cases to be flexible and have a high dielectric constant. Apart from these, it is known that flexible and high dielectric coefficient materials are also needed in biotechnological fields such as biosensor construction.

In this regard, when the studies done so far are examined, it has been observed that polymers such as polyvinylidene fluoride (PVDF), Polyvinylpyrrolidone (PVP), polyimide (PI), polyvinylchloride (PVC), fluorinated ethylene propylene (FEP), and polytetrafluoroethylene (PTFE) are widely used [13–15]. Among these, PVDF is the polymer preferred in new generation piezoelectric material applications due to its easy workability, high temperature resistance, flame retardant feature, resistance to chemicals, abrasion, UV radiation, flexibility, low production cost and non-toxicity [16–21]. In particular, many studies have been carried out that it can be used in power microelectromechanical systems, wireless sensor networks, micro robots and implantable biological devices [22–25]. However, the fact that the piezoelectric charge constant values are not at the desired levels has brought some restrictions to the use of this material [26]. PVDF polymer, as it is commonly known, is a semi-crystalline polymer with five different crystal structures (α , β , γ , δ and ϵ). Among them, the alpha phase is the most common and has the highest thermal stability, while the beta phase is the most important in terms of piezoelectric and pyroelectric properties. Therefore, the conversion of the most concentrated alpha to the beta phase is actually the most necessary issue to increase the dielectric property of the polymer [23,24,27,28]. Various methods such as mechanical stretching, heat treatment application, casting with a solvent mixture have been used in order to achieve this [29–31]. Apart from these, another method especially used to increase the beta phase is to add nanoparticles to the polymer. It is known that various nanoparticles such as graphene [32], graphene oxide [33], carbon nanotube [34] and carbon black [35] have been used in studies carried out so far. In addition to these, it is known that many metal oxide materials have been used as an additive in polymers due to their superior dielectric properties due to their easy polarization [36–38]. In this context, structures such as MgO and CuO have been widely used in different applications [39–43]. However, it is observed that there is a lack in the literature on detailed investigations of these structures that can be obtained from chlorinated compounds of easily obtainable and very low-cost Mg and Cu elements. Therefore, this deficiency can be eliminated by making investigations with low cost 2A group and transition metals

In this study, it is aimed to develop composite films with high dielectric constant that can be used for new generation devices with flexible structure. For this purpose, firstly, MgO/CuO was synthesized from MgCl₂ and CuCl₂ metal oxides. Then, this structure was added to PVDF together with graphene and mixed homogeneously. When the mixture became muddy, it was plastered on a plate with the doctor blade method and then composite films were obtained by phase inversion method. First of all, the synthesized metal oxides and films were characterized by FTIR, XRD and SEM, and then the capacitance and dielectric coefficients were determined with an LCR meter. According to the final result, it was understood that the effect of the MgO/CuO structure alone was quite low, but it showed a high level of performance together with graphene.

2. Material and Method

2.1. Materials

MgCl₂, CuCl₂ salts and NaOH purchased from Aromel Kimya medical A.Ş were used for the synthesis MgO/CuO structure. Polyvinylene fluoride (PVDF) polymer used as binder was purchased in bulk form from Kahvecioğlu plastic and its solvent dimethyl formamide (DMF) was purchased from Aromel Kimya. Graphene was obtained from the company Nanografi. Production, measurements and use of various laboratory equipment such as pure water, beaker, and high temperature furnace were carried out in Karabuk University Materials Research and Development (MARGEM) laboratories.

2.2. Production method of MgO/CuO perovskite structure

For the synthesis of MgO/CuO structure, 13 mg of MgCl₂ and 11 mg of CuCl₂ salts were first dissolved in 50 ml of distilled water. Then, 22 mg of NaOH were added so that both of these salts were precipitated in the hydroxide structure and dissolved in 50 ml of distilled water in another beaker and transferred to the burette. Then the NaOH solution was started to be dripped into the metal chloride solution. The drip rate was set at such a rate that the entire solution would be finished in one hour. The obtained mixture was then filtered on Whatman filter paper, and the residues were thoroughly washed several times with distilled water. It was dried in an oven at 70 °C for about one day, along with the residues on the filter paper. The residues were then transferred to an alumina crucible and calcined in muffle furnace at 700 °C for 2 hours. This last process was carried out to break the O-H bonds and obtain the MgO/CuO structure. After this process, MgO/CuO powder was transferred to a mortar, where they were ground and made ready for use in composites. This production was repeated several times in order to produce enough MgO/CuO for all compositions.

2.3. Production of Composite films

For the production of composite films, first 50 mg of PVDF, 60 mg of active ingredient, 10 mg of graphene nanoplates (GNPs) and 2 ml of DMF were added to a beaker and mixed on a magnetic stirrer at 100 °C. After the PVDF was dissolved in DMF, mixing was continued until it reached a gel consistency. In the meantime, the aluminium foil was taped from the edges on a 15x15 cm glass. The surface of the foil was thoroughly cleaned with ethyl alcohol so that there were no wrinkles on the surface. Then, the mixture, which came to a gel consistency, was poured on the foil, and plastered on the surface with the doctor blade method. After this process, the glass and foil were immersed in a water-filled container and the active substance plastered on the surface was removed as a film on the water surface. With this method, all productions were carried out in the compositions given in Table 1. The intended material was obtained by drying the composite films in an oven at 70 °C for about one hour on the watch glass.

Table 1.

Sample	PVDF	MgO/CuO	GNP
#1	50 mg	-	-
#2	50 mg	30+30 mg	-
#3	50 mg	-	10 mg
#4	50 mg	30+30 mg	10 mg

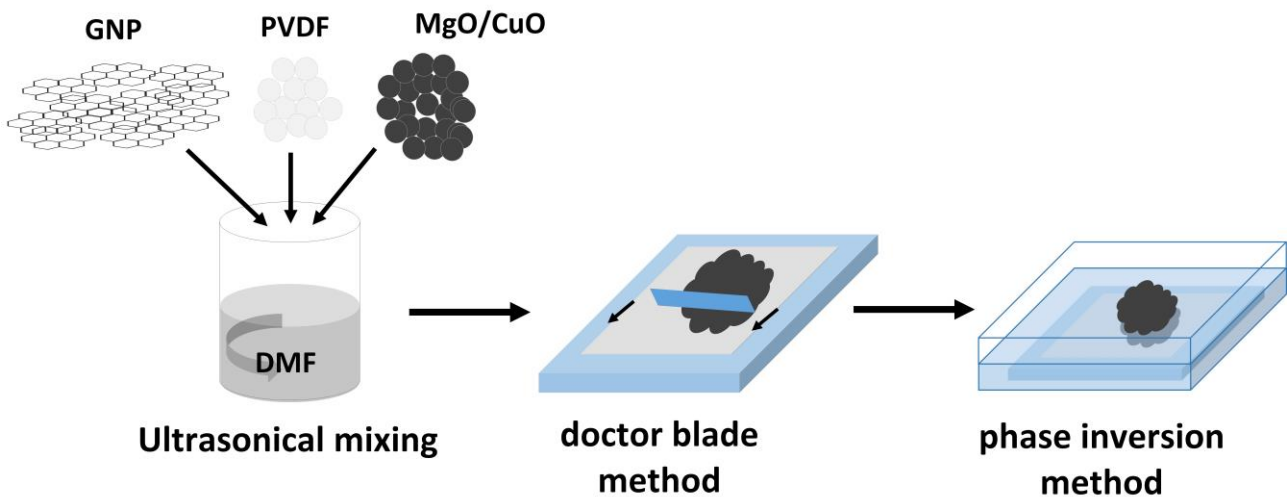


Figure 1. Representation images of experimental methods

2.4. Characterization of Materials

In this part of the study, firstly, the characterization of the MgO/CuO compounds, which was synthesized, was carried out. For this, chemical bond characterizations with FTIR, crystal structure analysis with XRD and particle size analysis with SEM were performed. Afterwards, FTIR, XRD and SEM analysis of the composite films were

performed, and the final composites were characterized in terms of their components and interactions. Apart from these, in order to examine the dielectric properties, the films poured on the aluminium foil were dried there, and a 15x15 mm metal plate was contacted on it. In this process, first the capacitance values (C) of the composite films were measured with the LCR meter, and then the dielectric constants were calculated according to the formula in equation 1 [44].

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r A / t \quad (1)$$

Where ε_0 is the dielectric constant of the free space (8.854×10^{-12} F/m), ε_r is dielectric constant, A is area (m^2), and t is thickness (m) of the composites.

3. Results

XRD analysis was first performed to characterize the products obtained after the productions. In this analysis, MgO+CuO synthesis nanopowder were first analysed and then the composites of these powders combined with GNP and PVDF were analysed. The results obtained are detailed in Fig. 2. According to the results obtained, two sharp and high-intensity peaks were observed at approximately 32° and 39° with the 2θ value. These peaks belong to the (110) and (200) planes of CuO, respectively [45]. Apart from these, the peaks observed with lower intensity at 49° , 53° , 58° , 61° , 66° , 68° , 72° and 75° also indicate CuO (-202), (020), (202), (-113), (022), (-311), (220), (311) and (004) planes. Peaks belonging to MgO were observed at approximately 37° , 43° , 62° , 74° and 79° [46]. These peaks belong to the (111), (200), (220), (311) and (222) planes of MgO [47]. Apart from these, very low-intensity peaks observed also belong to CuO and MgO, but only sharp and intense ones were characterized. According to these results, XRD analysis show that it can be said that the synthesized powders are completely composed of CuO and MgO and no extra crystals are formed. Another analysis made with XRD is the composites of these powders combined with GNPs and PVDF. As a result of this analysis, the presence of GNPs in the composite was tried to be confirmed. According to the result given in a small graph embedded in the graph, it can be said that the peak observed at approximately 29° belongs to the (002) plane of the graphene [48]. However, while this peak should have been observed around 27° , it is thought that a shift of about 2° occurred and this was due to other crystals in the composite.

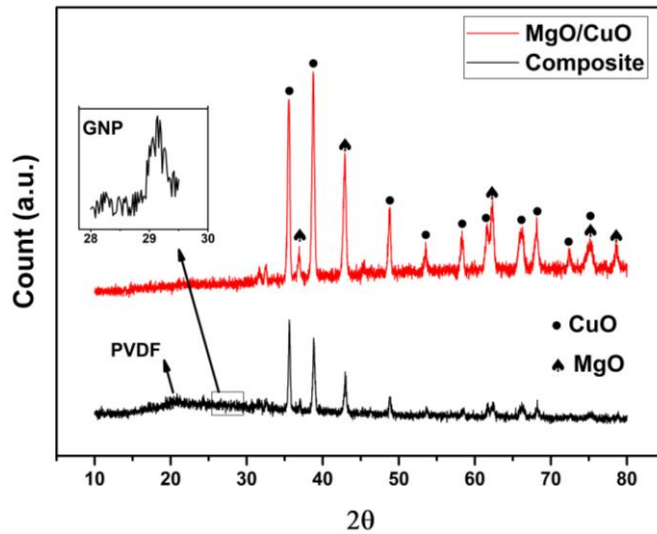


Figure 2. XRD results of composite films and MgO/CuO nanoparticles

FTIR analysis was carried out to confirm the accuracy of the crystal structures by chemical bonding between atoms. The results obtained are given in Fig. 3 in detail. According to these results, the peaks observed at approximately 2980 and 3020 cm^{-1} in wavenumber are due to the symmetrical and asymmetric stretching of $-CH_2$ [49]. Apart from these, more characteristic and sharp peaks of PVDF were also observed. One of them is the peak caused by the asymmetric and symmetrical $-CF_2$ tension observed at 1167 cm^{-1} [50]. On the other hand, it is known that PVDF contains alpha and beta phases. Approximately 1401 , 1230 , 1067 , 875 and 834 cm^{-1} of these peaks indicate the vibration of the beta phase [50]. The low intensity peak observed at 764 cm^{-1} corresponds to the alpha phase [50]. The disappearance of this peak in composites actually means that the alpha phase has undergone transformation. However, the presence of beta phase peaks in composites means that PVDF protects its main skeleton without reacting with externally added components. Slight shifts were observed in the intensity and location of these peaks in the composites, which is thought to be due to the presence of different components. As for the synthesized metal oxide nanopowder, the peaks observed at 471 , 574 and 642 cm^{-1} are due to the vibration of the Cu-O bond [51]. In addition, one of the broad peaks observed around 570 (561 cm^{-1}) is attributed to the

vibration of Mg-O [52]. Based on these results, it can be said that both metal oxides and composites were synthesized and produced for the desired purposes.

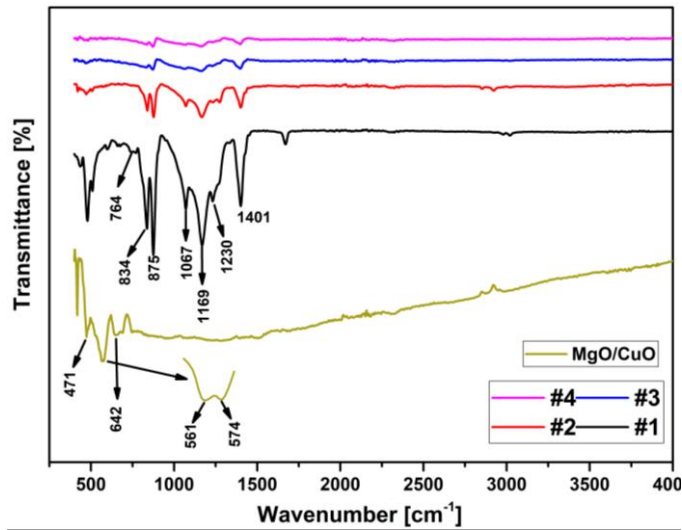


Figure 3. FTIR spectra of composite films and MgO/CuO nanoparticles

Microstructure investigations of the synthesized MgO/CuO nanopowder were carried out by SEM and the results are given in figure 4 in detail. According to these results, the synthesized particles are mostly spherical in shape. However, spherical particles differ in size. All these particles are in contact with each other and show a homogeneous distribution. ImageJ program was used to determine the particle size distribution and average size. According to the results given in Figure 4b, the particle size generally varies between 100 nm and 600 nm, with an average size of 282 nm. About 5% of them are around 100 nm, 20% are 150-250 nm, 25% are 250-300 nm, and most of the rest is 300-450 nm. Apart from these, about 5% of them are around 500-600 nm. Almost all these particles have the same particle shape, indicating that both CuO and MgO occur in similar structures. This is thought to be since it was synthesized in the same environment and under the same conditions. On the other hand, the mapping images in figures 4c and d show a homogeneous distribution of copper and magnesium. This situation shows that both copper and magnesium oxide are synthesized in an intertwined manner. As a result, in this study, it can be said that the synthesis of nanoscale CuO and MgO was successfully synthesized at nanoscale by making a homogeneous attempt.

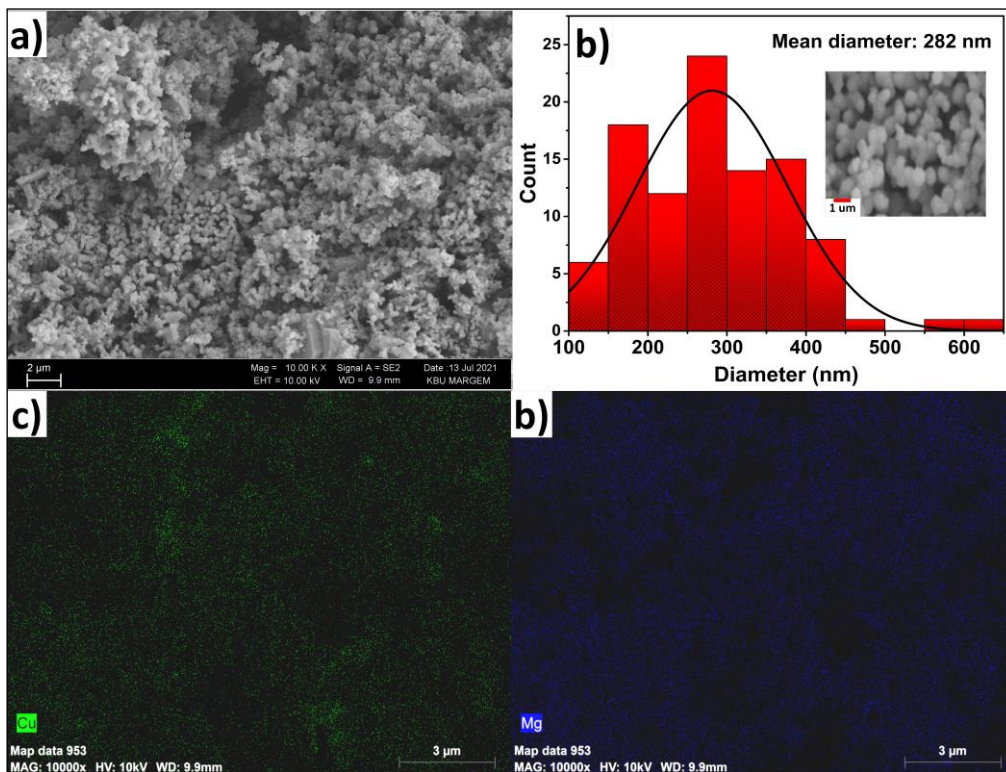


Figure 4. a) SEM images of MgO/CuO, b) histogram graph of particle diameter of MgO/CuO with inset images, c and d) mapping images of MgO/CuO nanoparticles

On the other hand, the digital image and SEM images of the composite film of sample #4 are given in figure 5 as a representation. According to these images, it is understood that the composite film has a very flexible structure. On the other hand, in the SEM image, it is seen that the spherical MgO/CuO particles are homogeneously dispersed in the PVDF. The smaller particles in these images are graphene nanoplates. In these images, there are also interparticle spaces called porosity. These are thought to be due to the increase in viscosity with the addition of particles into PVDF during production. It is also thought that it may be due to shrinkage of PVDF during drying. As a result, it can be said that composite films with flexible structure and homogeneous distribution of particles are successfully produced by the methods used.

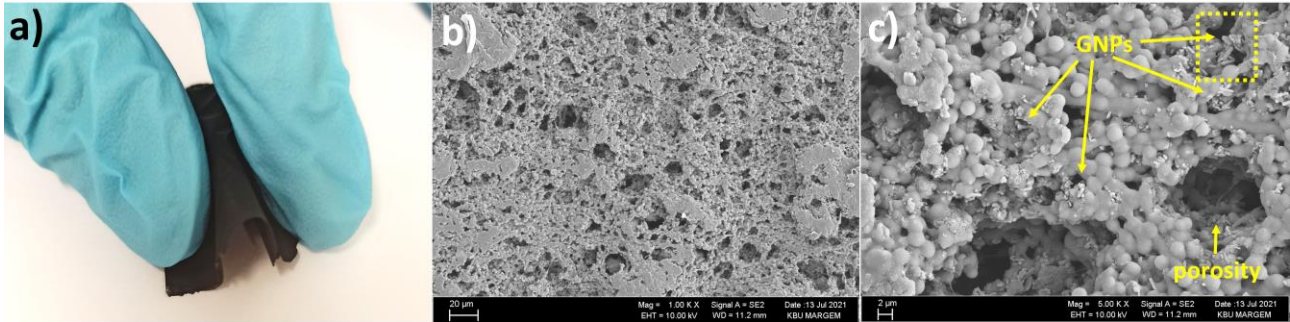


Figure 5. a) Digital images of flexible composite film (#4), b-c) SEM images of composite film (#4) at different magnifications

In order to determine the energy storage capacity of composite films, capacitance measurements were made with LCR meters and dielectric coefficients were determined accordingly. The obtained results were detailed in figure 6. According to these results, the capacitance values of the composite films at 100 Hz frequency were measured as 140 pF for the undoped PVDF film (#1), 203 pF for the MgO/CuO doped film (#2), 1555 pF for the graphene doped film (#3) and 2829 pF for the MgO/CuO and graphene doped film. When the frequency was increased to 1 kHz, the capacitance value was measured as 122 pF in sample #1, 157 pF in sample #2, 778 pF in sample #3 and 1059 pF in sample #4. When the frequency value was increased to 100 kHz, the capacitance values of these samples were measured as 109 pF, 114 pF, 316 pF and 365 pF, respectively.

On the other hand, dielectric coefficient values at 100 Hz were measured as 2.11 for #1 sample, 3.06 for #2 sample, 23.4 for #3 and 42.6 for #4. These results were measured to be 1.84, 2.37, 11.7 and 16 samples #1-#2-#3-#4 when the frequency value was increased to 1 kHz. When the frequency value was increased to 100 kHz, the same samples were measured as 1.64, 1.72, 4.76 and 5.5, respectively. According to these results, it was understood that the samples with the highest dielectric coefficient values were obtained in #3 and #4 samples and at low frequencies. In other words, it has been understood that when the synthesized metal oxides are used alone, the dielectric coefficient of pure PVDF relatively increases, but when it is used together with graphene, it provides a superior increase with a synergistic effect. It is an undeniable fact that graphene made the biggest contribution to this increase. Likewise, this situation has been proven in many articles in the literature. However, the dielectric constant value provided by graphene alone is lower than that provided by the metal oxide combination. Therefore, the composition of the components that make up sample #4 is considerable. Therefore, the energy storage capacity of this sample is higher than the highest values of other samples, even at high frequencies. For example, sample #4's capacitance values at 100 Hz and 1 kHz are about 1.6 nF and 2.8 nF, while sample #3's capacitance is only around 1.6 nF at 100 Hz. Based on these results, it can be said that sample #4 can be used both in triboelectric nanogenerators and in other fields due to its flexible structure and high capacitance value. It can also be said that sample #3 can also be used in this context due to its relatively high capacitance value.

When it comes to the analysis of these results depending on the frequency variable, it is clearly understood that as the frequency increases, the capacitance and the dielectric coefficient values related to it decrease. In this context, it is known that electron jumps occur faster at low frequencies, which causes the polarization to increase rapidly. [53,54]. However, at high frequencies, the relaxation time of the charge carrier is not as fast as the change of the electric field over time, and this causes a decrease in capacitance [53]. Therefore, it can be said that higher capacitance values are achieved at higher frequencies. On the other hand, when it comes to evaluating the amount of supplements, Rozana et al. added 5% MgO to PVDF and measured ϵ_r value of around 5 at 10^4 Hz. [55]. Similarly, Chen et al., determined ϵ_r value around 9 with 4% reinforcement at the same frequency [56]. The results of this study are quite behind when only MgO supplementation is considered compared to the literature data. However, the high amount of additives in this study brought along porosity and agglomeration, which are the most important parameters that negatively affect the dielectric coefficient [57]. On the other hand, Rani et al., measured ϵ_r value as 6.6 at 100 Hz by adding 0.5% GNP and 5% CuO to the PVDF/PEDOT-block-PEG mixture, while adding 2.5% GNP

and 25% CuO, they measured 34 [45]. In addition, in another study, the dielectric coefficient was around 20 when 10% by weight graphene was added to a mixture of polystyrene (PS) and polyvinylidene fluoride (PVDF), but this value reached up to 100 when the graphene amount was increased to 15% [58]. Based on these results, it is seen that if the metal oxide ratio is used at a high rate, it reduces ϵ_r value, but if it is used with graphene at a high rate, it has a synergistic effect and provides a higher increase than expected. The reason for this is understood in the BN-ZnO-GNP study that nano-sized plate-shaped graphene structures provide very high capacitance by forming many serial and parallel nano cells with metal oxide and PVDF dielectrics in the composite [54]. As a result, the obtaining of different types of composites by combining graphene with various metal oxides is very promising in terms of obtaining high dielectric constant materials.

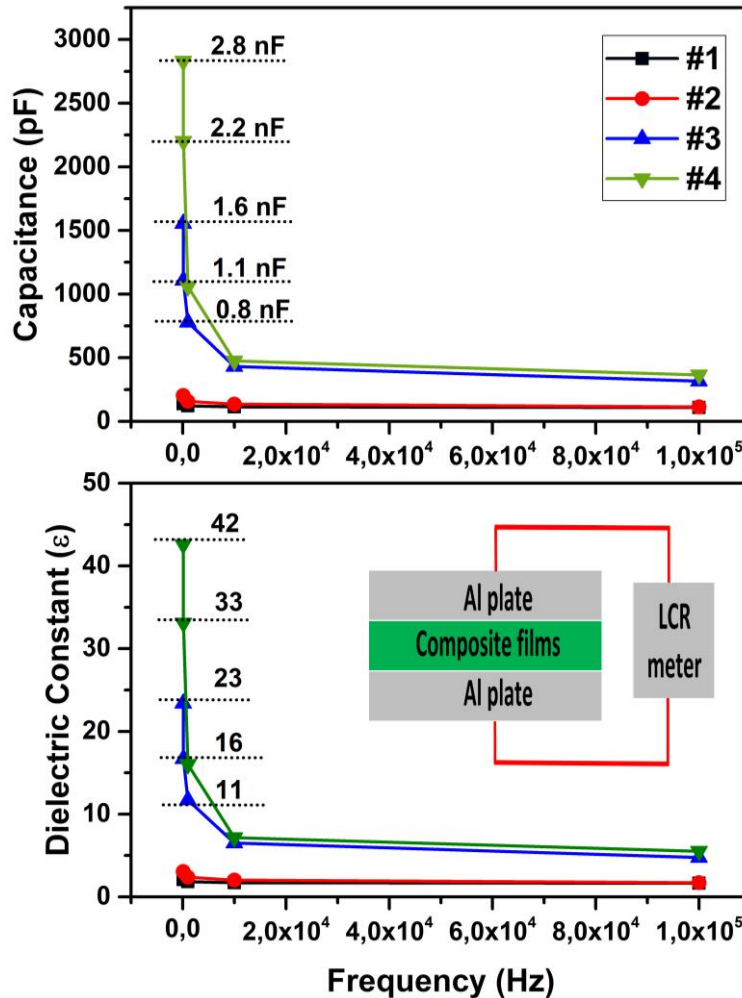


Figure 6. Frequency dependent changes of capacitance and dielectric constant values

4. Discussion and Conclusion

In this study, it is aimed to develop dielectric materials of flexible capacitors in order to increase the energy storage capacity of new generation flexible electronic devices. For this purpose, firstly, MgO/CuO nanoparticles were synthesized by precipitation reactions and calcination process. Then, composite mixture was formed by adding these nanoparticles together with graphene into PVDF in different compositions. Afterwards, composite films were successfully produced with doctor blade and phase inversion methods. In the characterization processes, it was understood that MgO/CuO particles were successfully produced with an average size of 282 nm. PVDF-based flexible composites have been successfully produced by applying the methods together. In the capacitance and dielectric constant measurements, the highest values were determined as 2.8 nF and 42.6 at 100 Hz, respectively. According to these results, it can be said that #4 is promising for new generation electronic devices in terms of both its flexible structure and high capacitance value.

Acknowledgment

This study was supported within the scope of the project numbered "KBÜBAP-21-ABP-047" supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Karabuk University. In addition, Karabuk University MARGEM laboratories were used. We thank both departments for supporting the study.

References

- [1] Sahin AD. Progress and recent trends in wind energy. *Progress in Energy and Combustion Science* 2004;30:501–43.
- [2] López CSP, Frontini F. Energy efficiency and renewable solar energy integration in heritage historic buildings. *Energy Procedia* 2014;48:1493–502.
- [3] Sharma HB, Sarmah AK, Dubey B. Hydrothermal carbonization of renewable waste biomass for solid biofuel production: A discussion on process mechanism, the influence of process parameters, environmental performance and fuel properties of hydrochar. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020;123:109761.
- [4] Apergis N, Tsoumas C. Integration properties of disaggregated solar, geothermal and biomass energy consumption in the US. *Energy Policy* 2011;39:5474–9.
- [5] Wang H, Wu T, Zeng Q, Lee C. A review and perspective for the development of triboelectric nanogenerator (TENG)-Based self-powered neuroprosthetics. *Micromachines* 2020;11:865.
- [6] Ozen A, Ozel F, Kinas Z, Karabiber A, Polat S. Spring assisted triboelectric nanogenerator based on sepiolite doped polyacrylonitrile nanofibers. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 2021;47:101492.
- [7] Kim W-G, Kim D-W, Tcho I-W, Kim J-K, Kim M-S, Choi Y-K. Triboelectric Nanogenerator: Structure, Mechanism, and Applications. *ACS Nano* 2021;15:258–87.
- [8] Song Y, Shi Z, Hu G-H, Xiong C, Isogai A, Yang Q. Recent advances in cellulose-based piezoelectric and triboelectric nanogenerators for energy harvesting: a review. *Journal of Materials Chemistry A* 2021;9:1910–37.
- [9] Zhu G, Peng B, Chen J, Jing Q, Lin Wang Z. Triboelectric nanogenerators as a new energy technology: From fundamentals, devices, to applications. *Nano Energy* 2015;14:126–38. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2014.11.050>.
- [10] Niu Z, Cheng W, Cao M, Wang D, Wang Q, Han J, et al. Recent Advances in Cellulose-Based Flexible Triboelectric Nanogenerators. *Nano Energy* 2021:106175.
- [11] Wang ZL. Triboelectric Nanogenerators as New Energy Technology for Self-Powered Systems and as Active Mechanical and Chemical Sensors. *ACS Nano* 2013;7:9533–57. <https://doi.org/10.1021/nn404614z>.
- [12] Liu M, Wang L, Yu X, Zhang H, Zhang H, Li S, et al. Introducing oxygen vacancies for improving the electrochemical performance of Co₉S₈@ NiCo-LDH nanotube arrays in flexible all-solid battery-capacitor hybrid supercapacitors. *Energy* 2022;238:121767.
- [13] Yang J, Chen J, Yang Y, Zhang H, Yang W, Bai P, et al. Broadband vibrational energy harvesting based on a triboelectric nanogenerator. *Advanced Energy Materials* 2014;4:1301322.
- [14] Zhang C, Zhou T, Tang W, Han C, Zhang L, Wang ZL. Rotating-disk-based direct-current triboelectric nanogenerator. *Advanced Energy Materials* 2014;4:1301798.
- [15] Davies DK. Charge generation on dielectric surfaces. *Journal of Physics D: Applied Physics* 1969;2:1533.

- [16] Laudari A, Barron J, Pickett A, Guha S. Tuning charge transport in PVDF-based organic ferroelectric transistors: Status and outlook. *ACS Applied Materials & Interfaces* 2020;12:26757–75.
- [17] Holmes-Siedle AG, Wilson PD, Verrall AP. PVdF: An electronically-active polymer for industry. *Materials & Design* 1983;4:910–8.
- [18] Foster FS, Harasiewicz KA, Sherar MD. A history of medical and biological imaging with polyvinylidene fluoride (PVDF) transducers. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* 2000;47:1363–71.
- [19] Chen S, Skordos A, Thakur VK. Functional nanocomposites for energy storage: Chemistry and new horizons. *Materials Today Chemistry* 2020;17:100304.
- [20] Sessler GM. Piezoelectricity in polyvinylidene fluoride. *The Journal of the Acoustical Society of America* 1981;70:1596–608.
- [21] Jain A, KJ P, Sharma AK, Jain A, PN R. Dielectric and piezoelectric properties of PVDF/PZT composites: A review. *Polymer Engineering & Science* 2015;55:1589–616.
- [22] Proto A, Fida B, Bernabucci I, Bibbo D, Conforto S, Schmid M, et al. Wearable PVDF transducer for biomechanical energy harvesting and gait cycle detection. 2016 IEEE EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences (IECBES), IEEE; 2016, p. 62–6.
- [23] Zaccaria M, Fabiani D, Zucchelli A, Belcari J, Bocchi O. Vibration energy harvesting using electrospun nanofibrous PVdF-TrFE. 2016 IEEE international conference on dielectrics (ICD), vol. 2, IEEE; 2016, p. 796–9.
- [24] Abolhasani MM, Shirvanimoghaddam K, Naebe M. PVDF/graphene composite nanofibers with enhanced piezoelectric performance for development of robust nanogenerators. *Composites Science and Technology* 2017;138:49–56.
- [25] Liu W, Cheng X, Fu X, Stefanini C, Dario P. Preliminary study on development of PVDF nanofiber based energy harvesting device for an artery microrobot. *Microelectronic Engineering* 2011;88:2251–4. <https://doi.org/10.1016/j.mee.2011.02.098>.
- [26] Cai J, Hu N, Wu L, Liu Y, Li Y, Ning H, et al. Preparing carbon black/graphene/PVDF-HFP hybrid composite films of high piezoelectricity for energy harvesting technology. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2019;121:223–31. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2019.03.031>.
- [27] Liang C-L, Xie Q, Bao R-Y, Yang W, Xie B-H, Yang M-B. Induced formation of polar phases in poly (vinylidene fluoride) by cetyl trimethyl ammonium bromide. *Journal of Materials Science* 2014;49:4171–9.
- [28] Ponnamma D, Erturk A, Parangusan H, Deshmukh K, Ahamed MB, Al Ali Al-Maadeed M. Stretchable quaternary phasic PVDF-HFP nanocomposite films containing graphene-titania-SrTiO₃ for mechanical energy harvesting. *Emergent Mater* 2018;1:55–65. <https://doi.org/10.1007/s42247-018-0007-z>.
- [29] Zhang Z, Cao M, Chen P, Yang B, Wu B, Miao J, et al. Improvement of the thermal/electrical conductivity of PA6/PVDF blends via selective MWCNTs-NH₂ distribution at the interface. *Materials & Design* 2019;177:107835.
- [30] Yun S, Kim J. Mechanical, electrical, piezoelectric and electro-active behavior of aligned multi-walled carbon nanotube/cellulose composites. *Carbon* 2011;49:518–27.
- [31] Martins P, Lopes AC, Lanceros-Mendez S. Electroactive phases of poly (vinylidene fluoride): Determination, processing and applications. *Progress in Polymer Science* 2014;39:683–706.
- [32] Cui L, Lu X, Chao D, Liu H, Li Y, Wang C. Graphene-based composite materials with high dielectric permittivity via an in situ reduction method. *Physica Status Solidi (a)* 2011;208:459–61.

- [33] Sabira K, Saheeda P, Divyasree MC, Jayalekshmi S. Impressive nonlinear optical response exhibited by Poly (vinylidene fluoride)(PVDF)/reduced graphene oxide (RGO) nanocomposite films. *Optics & Laser Technology* 2017;97:77–83.
- [34] Wu C-M, Chou M-H, Zeng W-Y. Piezoelectric response of aligned electrospun polyvinylidene fluoride/carbon nanotube nanofibrous membranes. *Nanomaterials* 2018;8:420.
- [35] Doh C, Jin B, Moon S, Chung Y-D, Jeong D, Bang Y. Physical and Electrical Properties of Carbon Black/PVDF Composite Electrode as Ohmic Joule Heater. *Applied Chemistry for Engineering* 2009;20:692–5.
- [36] Thakur VK, Gupta RK. Recent progress on ferroelectric polymer-based nanocomposites for high energy density capacitors: synthesis, dielectric properties, and future aspects. *Chemical Reviews* 2016;116:4260–317.
- [37] Akinay Y, Kizilcay AO. Computation and modeling of microwave absorbing CuO/graphene nanocomposites. *Polymer Composites* 2020;41:227–32.
- [38] Lunkenheimer P, Krohns S, Riegg S, Ebbinghaus SG, Reller A, Loidl A. Colossal dielectric constants in transition-metal oxides. *The European Physical Journal Special Topics* 2009;180:61–89.
- [39] Jaschin PW, Bhimireddi R, Varma KBR. Enhanced Dielectric Properties of LaNiO₃/BaTiO₃/PVDF: A Three-Phase Percolative Polymer Nanocrystal Composite. *ACS Appl Mater Interfaces* 2018;10:27278–86. <https://doi.org/10.1021/acsami.8b07786>.
- [40] Sarkar S, Jana PK, Chaudhuri BK, Sakata H. Copper (II) oxide as a giant dielectric material. *Applied Physics Letters* 2006;89:212905.
- [41] Oruç Ç, Altındal A. Structural and dielectric properties of CuO nanoparticles. *Ceramics International* 2017;43:10708–14.
- [42] Fang X-S, Ye C-H, Xie T, Wang Z-Y, Zhao J-W, Zhang L-D. Regular MgO nanoflowers and their enhanced dielectric responses. *Applied Physics Letters* 2006;88:013101.
- [43] Lee SY, Tseng T-Y. Electrical and dielectric behavior of MgO doped Ba_{0.7} Sr_{0.3} TiO₃ thin films on Al₂O₃ substrate. *Applied Physics Letters* 2002;80:1797–9.
- [44] Rao JK, Raizada A, Ganguly D, Mankad MM, Satyanarayana SV, Madhu GM. Investigation of structural and electrical properties of novel CuO–PVA nanocomposite films. *J Mater Sci* 2015;50:7064–74. <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9261-0>.
- [45] Rani P, Basheer Ahamed M, Deshmukh K. Dielectric and electromagnetic interference shielding performance of graphene nanoplatelets and copper oxide nanoparticles reinforced polyvinylidene fluoride/poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-block-poly (ethylene glycol) blend nanocomposites. *Synthetic Metals* 2021;282:116923. <https://doi.org/10.1016/j.synthmet.2021.116923>.
- [46] Zhu D, Wang L, Yu W, Xie H. Intriguingly high thermal conductivity increment for CuO nanowires contained nanofluids with low viscosity. *Scientific Reports* 2018;8:1–12.
- [47] Balakrishnan G, Velavan R, Batoor KM, Raslan EH. Microstructure, optical and photocatalytic properties of MgO nanoparticles. *Results in Physics* 2020;16:103013.
- [48] Niftaliyeva A, Pehlivan E, Polat S, Avci A. Chemical synthesis of single-layer graphene by using ball milling compared with NaBH₄ and hydroquinone reductants. *Micro & Nano Letters* 2018;13:1412–6.
- [49] Mohamadi S. Preparation and Characterization of PVDF/PMMA/Graphene Polymer Blend Nanocomposites by Using ATR-FTIR Technique. *IntechOpen*; 2012. <https://doi.org/10.5772/36497>.

- [50] Ji Y, Liu J, Jiang Y, Liu Y. Analysis of Raman and infrared spectra of poly(vinylidene fluoride) irradiated by KrF excimer laser. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy* 2008;70:297–300. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2007.07.061>.
- [51] B. Tanvir N, Yurchenko O, Wilbertz C, Urban G. Investigation of CO₂ reaction with copper oxide nanoparticles for room temperature gas sensing. *Journal of Materials Chemistry A* 2016;4:5294–302. <https://doi.org/10.1039/C5TA09089J>.
- [52] Kandiban M, Vigneshwaran P, Potheher I. SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF MGO NANOPARTICLES FOR PHOTOCATALYTIC APPLICATIONS. 2015.
- [53] Zhang SS. Dual-Carbon Lithium-Ion Capacitors: Principle, Materials, and Technologies. *Batteries & Supercaps* 2020.
- [54] Polat S. Dielectric Properties of BN-ZnO-GNP Doped PU-EG Composites. *International Journal of Engineering Research and Development* 2021;13:635–44. <https://doi.org/10.29137/umagd.896904>.
- [55] Arshad AN, Wahid MHM, Rusop M, Majid WHA, Subban RHY, Rozana MD. Dielectric and Structural Properties of Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) and Poly(vinylidene fluoride-trifluoroethylene) (PVDF-TrFE) Filled with Magnesium Oxide Nanofillers. *Journal of Nanomaterials* 2019;2019:e5961563. <https://doi.org/10.1155/2019/5961563>.
- [56] Chen S, Hu J, Gao L, Zhou Y, Peng S, He J, et al. Enhanced breakdown strength and energy density in PVDF nanocomposites with functionalized MgO nanoparticles. *RSC Adv* 2016;6:33599–605. <https://doi.org/10.1039/C6RA01869F>.
- [57] Chu L, Xue Q, Sun J, Xia F, Xing W, Xia D, et al. Porous graphene sandwich/poly (vinylidene fluoride) composites with high dielectric properties. *Composites Science and Technology* 2013;86:70–5.
- [58] Kumar NA, Ravibabu V, Ashokbabu A, Thomas P. Effect of Graphene Nanoplatelets (GNP) on the Dielectric and Thermal Properties of Polystyrene (PS)/Polyvinylidenedifluoride (PVDF) Blends. 2021 IEEE International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), IEEE; 2021, p. 354–7.

Gerçek Zamanlı Fare Takip ve Analiz Yazılımı Geliştirilmesi

Hüseyin Güneş *

*₁ Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mekatronik Mühendisliği, BALIKESİR

(Alınış / Received: 06.11.2020, Kabul / Accepted: 09.10.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Fare Takip,
Davranış Analizi,
Gerçek Zamanlı,
Görüntü İşleme

Öz: Davranışsal araştırmalarda, önce hayvan davranışlarını kaydedip daha sonra videoları izlemek ve gözlemleri analiz etmek bireysel yorumlama farklılıkları, dikkatsizlik veya yanlışlık gibi nedenlerle analizlerde hata olasılığını arttırmaktadır. Bunu azaltmak için geliştirilen video takip sistemleri ile manuel kayıt almaya kıyasla daha güvenli ve tutarlı sonuçlar elde edilmektedir. Ancak mevcut video takip sistemlerinin de birtakım eksiklikleri/kısıtlılıkları (birden fazla nesneyi takip edememe, anlık takip edememe ya da analiz edememe vb.) bulunmaktadır. Bu nedenle bu çalışmada davranış deneylerinin takip ve analizinde kullanılacak bir yazılım geliştirilmiştir. Yazılım ile deney anında canlı olarak kameradan alınan görüntüler çeşitli görüntü işleme yöntemleri kullanılarak analiz edilmektedir. Analizler sonucunda araştırmacı tarafından belirlenen alanlarda, farenin ne kadar süre geçirdiği, bu alanlara giriş çıkış frekansları, farenin hızı, toplam kat ettiği mesafe vb. birçok veri anlık olarak hesaplanabilmekte ve düzenli olarak kayıt altına alınabilmektedir.

Development of Real-Time Mouse Tracking and Analyzing Software

Keywords

Mouse Tracking,
Behavior Analysis,
Real Time,
Image Processing

Abstract: In behavioral research, recording animal behavior first and then watching and observing the videos increase the probability of errors in the analysis due to reasons such as individual interpretation differences, carelessness or bias. With the video tracking systems developed to reduce this problem, safer and more consistent results are obtained compared to manual recording. However, the existing video surveillance systems also have some deficiencies / limitations (not being able to track more than one object, not following them instantly or analyzing them, etc.). Therefore, in this study, a software that can be used in the follow-up and analysis of behavioral experiments has been developed. With the software, images taken from the camera live during the experiment are analyzed using various image processing methods. As a result of the analysis, how much time the mouse spent in the areas determined by the researcher, the input and output frequencies, the speed of the mouse, the total distance traveled and many similar data can be calculated instantly and recorded regularly.

*İlgili Yazar, e-mail: hgunes@balikesir.edu.tr

1. Giriş

Psikoloji, fizyoloji, farmakoloji, sinirbilim gibi pek çok bilim dalı tarafından davranışın nörobiyolojik temellerinin araştırılması ve öğrenme-bellek, anksiyete, stres ve otizm, depresyon gibi psikiyatrik hastalıkların deney hayvanlarında modellenmesi ile ilgili çalışmalar uzun yıllardır yürütülmektedir. Örneğin, farelerin ve sıçanların davranışlarını değerlendirmek, nöropsikiyatrik hastalıklar hakkındaki anlayışımızı ilerletmek ve yeni ilaç ve aşuların gelişimdeki etkilerini test etmek için kullanılmaktadır [1]. Nöropsikiyatrik hastalıkların hayvan modelleri sosyal davranışlarda bozulma ile karakterizedir. Bu nedenle kemirgenlerde sosyal davranışların değerlendirilmesi bu tür çalışmalarda oldukça önemlidir [2].

Kemirgenler ile ilgili davranışsal araştırmalarda canlıların videolarını kaydetmek ve daha sonra bunları kayıtlı görüntülerden analiz etmek araştırmacılar arasında halen yaygın bir uygulamadır. Ancak bu yaklaşım, bireysel yorumlama farklılıkları, dikkatsizlik veya yanlışlık gibi nedenlerle analizlerde hatalarda neden olabilmektedir [1]. Davranışın farklı boyutlarını değerlendirme olanağı sunan çeşitli deney düzeneklerinin geliştirilmesi ve kullanımının yaygınlaşması, manuel olarak gerçekleştirilen gözlem ve kayıtların yerine otomatize sistemlerin kullanımını daha elverişli hale getirmiştir. Bu amaç için geliştirilen video takip sistemleri, manuel kayıt almaya kıyasla daha güvenli ve tutarlı bir şekilde ve daha uzun zaman dilimlerinde davranışların incelenmesini sağlamaktadır [3].

Davranış analizi ile ilgili olarak halihazırda geliştirilmiş farklı özelliklere sahip akademik ve ticari video takip yazılımları bulunmaktadır. Genel olarak ticari yazılımlar kendi ürettikleri platformlarda takip özelliklerine sahiptir [4]. Bunun yanında videolardan ve kameralardan farklı platformlarda takip işlemi gerçekleştiren ticari yazılımlar da mevcuttur [5] [6]. Ancak bu yazılımlar oldukça yüksek fiyatlı yazılımlardır. Bu alanda geliştirilmiş akademik çalışmalar ele alındığında ise UMA Tracker [7] ve ToxTrac [8] isminde iki çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmaların ikisi de sadece videolar ile çalışabilmektedir. Canlı görüntü üzerinden analiz yapamamaktadır.

Bu çalışmada akademik ve ticari çalışmalardan farklı olarak gerçek zamanlı analiz yapan ve anında çıktığı hızlı bir şekilde üretebilen, herkes tarafından kolayca kullanılacak tek ekranda birkaç tıklama ile bütün işlemlerin yapılabileceği bir deney takip ve analiz yazılımı ortaya çıkarmak hedeflenmiştir.

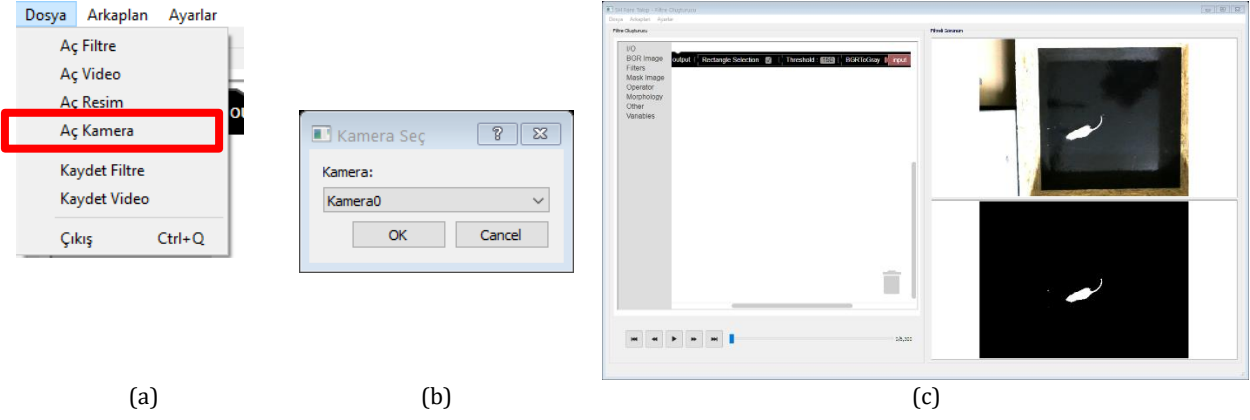
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmanın amacı deneysel davranış çalışmalarında kullanılmak üzere bir video takip sistemi geliştirmektir. Yazılım python programlama dili ile açık kaynak kodlu, daha önce kaydedilen deney videolarını kısıtlı özelliklere göre analiz edebilen UMATracker isimli yazılım temel alınarak geliştirilmiştir [7].

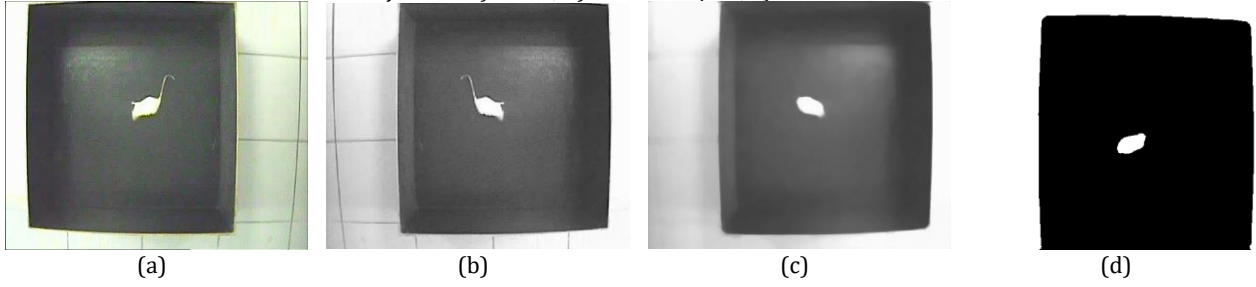
UMATracker deney anında kaydedilmiş videolarda bulunan farelerin doğru bir şekilde algılanabilmesi için bir görüntü filtre oluşturma aracı, videodan fareyi takip eden bir takip aracı ve takibi kullanıcının belirleyeceği alanlara göre yapan bir alan takip aracından oluşmaktadır. Bu araç ile doğrudan kameradan canlı olarak analiz yapılamamaktadır. Ayrıca farenin ortalama hızı, en yüksek hızı, toplam kat ettiği mesafe (metrik olarak), alanlara giriş-çıkış frekansları analiz edilememektedir. Bu çalışmada açık kaynak kodlu bu araç bu özellikleri kapsayacak şekilde geliştirilmiştir. Geliştirilen araçlarla bir deneyin takip süreci şu şekilde ilerlemektedir; bir deney ön çekimi, bu çekim görüntülerinden filtre aracı ile filtre oluşturulması ve ardından takip aracında bu filtrenin kullanılarak gerçek zamanlı deney ve takiplerinin yapılması.

2.1. Filtre aracı

Çalışmada ilk olarak filtre aracı üzerinde geliştirmeler yapılmıştır. Filtre aracı içerisinde çeşitli görüntü işleme seçenekleri bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak eşikleme, gri tonlamaya dönüştürme, ortanca filtre, bulanıklaştırma vb. verilebilir. Bunun yanında literatürde anomali tespitinde kullanılan yöntemlerden [18] faydalanarak arka plan görüntüsünü filtreleyen ve bu şekilde fareyi tespit eden bir filtre de mevcuttur. Kullanıcı bu filtreleri kullanarak fareyi arka planda net bir şekilde ayırır ve takip algoritmaları da bu sayede fareyi başarılı bir şekilde takip edebilmektedir. Bu kadar farklı görüntü işleme seçeneğinin olması farklı ortamlarda farklı ışık değerlerinde de farenin takip edilmesini sağlamaktadır. Şekil 1'de filtre oluşturma süreci ve Şekil 2'de filtrenin görüntü üzerine uygulanma aşamaları sunulmuştur.



Şekil 1. a) Menü; b) kamera seçimi; c) filtre aracı



Şekil 2. a) Deney görüntüsü; b) BGR2Gray (Gri Tonlama) Filtre; c) Median (Ortanca) Filtre; d)Threshold (Eşik) Filtre

Mevcut filtre aracı resim ve videolar ile çalışmaktadır. Çalışma kapsamında bu araçta filtrenin doğrudan kamera görüntüsünden oluşturulabileceği şekilde geliştirme yapılmıştır. İlk olarak filtre oluşturmaya başlamak için kameradan görüntü alınmasını sağlayan menü eklenmiştir (Şekil 1-a), daha sonra bu menüye tıklandığında bilgisayarda o an aktif olarak kullanılan kameraların listelendiği ve kullanıcının bunlardan birini seçebildiği bir pencere eklenmiştir (Şekil 1-b). Son olarak kullanıcının seçtiği kameradan anlık bir kare görüntü alınmakta ve filtre oluşturma ekranına getirilmektedir (Şekil 1-c). Böyle kullanıcı deney düzeneğinin canlı olarak görüntüsünü alarak o görüntüye uygun filtre oluşturabilmektedir.

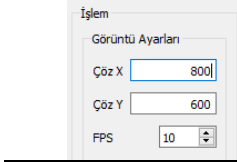
Kameradan görüntü almak için görüntü işleme çalışmalarında en çok kullanılan kütüphane olan OpenCV kullanılmıştır [9]. Kameradan alınan deney düzeneği görüntüsünde farenin filtre yardımı ile net bir şekilde belirlenebilmesinin ardından takip işlemine geçilmiştir.

2.2. Takip Aracı

UMATracker halihazırda sadece video görüntüsünden noktasal olarak fare takibi yapabilmektedir. Canlı olarak bir kameradan takip yapabilme, takip işlemi belirli alanlara göre yapabilme, takip işlemi video olarak kaydetme, takip sürelerini hesaplama ya da belirli bir süreye göre takip yapma özelliklerine ise sahip değildir. Bu çalışma kapsamında bu geliştirmeler yapılmıştır.

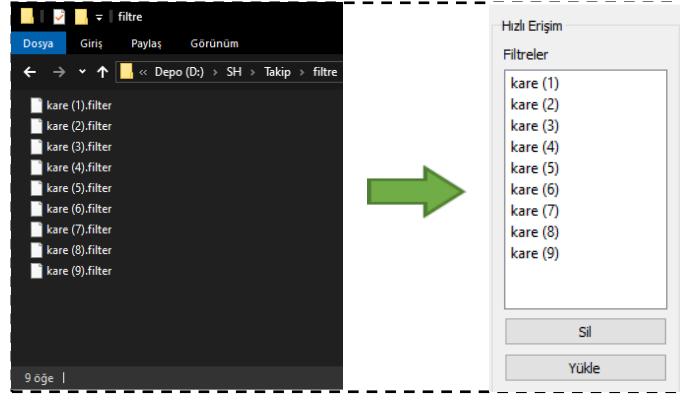
Takip aracında, filtreleme aracındaki kamera ile ilgili geliştirmelerin ardından bu araçta öncelikle kameradan görüntü alması sağlanmıştır. Görüntü alma işlemi filtre aracı ile aynı şekilde yapılmıştır. Kullanıcıyı "Kamerayı Aç" menüsünde ya da arayüzdeki düğmeye tıkladığında kamera seçme seçeneği çıkmakta ve kullanıcı kamerayı seçtikten sonra arayüzde kameradan alınan görüntü canlı olarak kullanıcıya sunulmaktadır.

Kamera görüntüsü alınarak yapılan canlı analizlerde en büyük sorunlardan bir tanesi performans sorunlarıdır. Analiz yapılan bilgisayarın işlem gücünün yetersiz olması durumlarında takip işleminin canlı olarak gerçekleştirilmesi mümkün olmaz. Bu gibi durumlara çözüm olarak farklı işlem gücüne sahip bilgisayarlarda yazılımın sorunsuz şekilde takip işlemi gerçekleştirebilmesi için görüntünün çözünürlüğünün ve fps (frame per second – saniye başına görüntü sayısı) değerinin düşürülmesi gerekir. Bu yüzden geliştirilen araca kameradan alınan görüntünün çözünürlüğünü ve fps değerini belirleyebilme seçenekleri de eklenmiştir. Kameradan görüntü alma, çözünürlüğü belirleme ve fps değerini belirleme kodları ve menüleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kamera çözünürlük ve fps ayarları menüsü ile kodları.

```
self.cap = cv2.VideoCapture(kamera)
self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_WIDTH, cozX)
self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FRAME_HEIGHT, cozY)
self.cap.set(cv2.CAP_PROP_FPS, FPS)
```

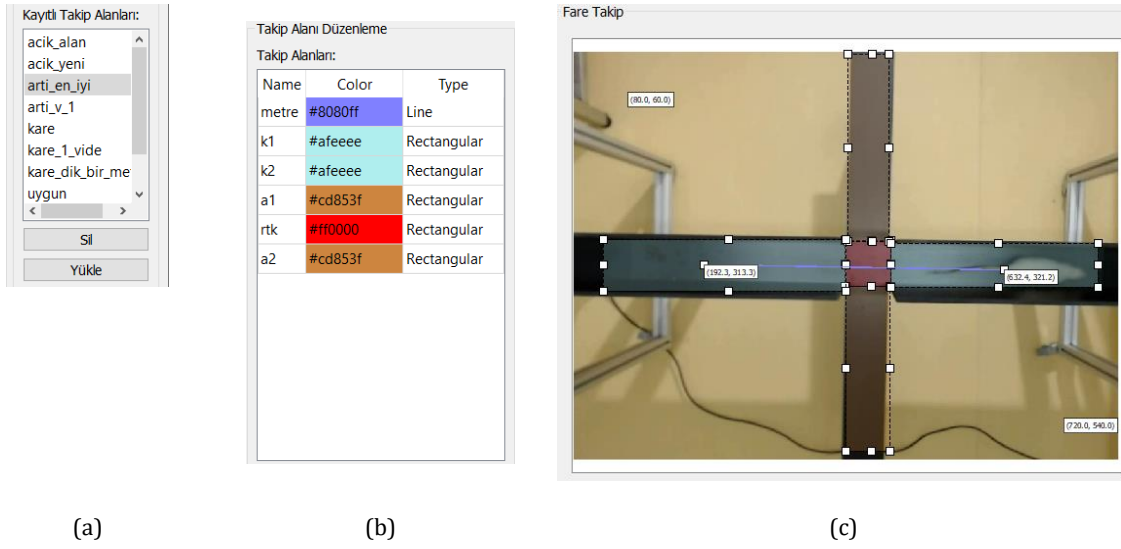
Kamera görüntüsü açıldıktan sonra kullanıcının daha önce hazırlayarak kaydettiği filtre dosyasını açması gerekmektedir. Bunun için araştırmacılara kolaylık olması açısından programın ana klasörü altından bulunan "filtre" klasörünün içinde bulunan kayıtlı filtre dosyaları kullanıcıya liste olarak sunulmaktadır. Şekil 3'te klasördeki filtre dosyaları ve program için liste halinde gösterilmeleri sunulmuştur.

**Şekil 3.** Filtre kayıtları ve listelenmesi

Kullanıcı kamera görüntüsünü açıp filtreyi seçtikten sonra farenin takibi başlamaktadır. Farenin takip edildiği üzerinde yer alan işaret ile gösterilmektedir. Takip aracı ile 4 farklı takip algoritması kullanılabilir. Bunlar: RMOT [10], Optical Flow DualTVL1 [11], K-means [12] ve GroupTracker [13]. Şekil 4'te GroupTracker algoritması ile bir farenin takip edildiği ekran görüntüsü yer almaktadır. Ayrıca aynı anda birden fazla fare de takip edilebilmekte ve görüntü üzerinde gerçek zamanlı olarak numaralandırılabilir.

**Şekil 4.** Kameradan alınan görüntüden anlık olarak farenin takibi ve 0 olarak numaralandırılması

Fare takibinin başarıyla gerçekleştirilmesinden sonra farenin davranışlarının analiz etmek için deney sahası üzerinde takip alanları oluşturulmalıdır. Bunları oluşturabilmek için dikdörtgen ve elips çizme araçları geliştirilmiştir. Yazılımın arayüzü geliştirilirken Qt grafiksel kullanıcı arayüzü geliştirme aracı, takip alanları çizimi içinde Qt aracının QShape bileşeni kullanılmıştır [14]. Kullanıcı arayüzde yer alan "Ekle" düğmesine tıklayarak takip ekranına bir dikdörtgen şekil oluşturmaktadır. Takip alanının üzerinde çıkan ufak beyaz kareler sürüklenip bırakılarak takip alanının boyutu ayarlanabilmektedir. "Takip Alanı Düzenleme" menüsünden takip alanının tipini değiştirerek yuvarlak ya da çizgiye dönüştürebilmektedir. Ayrıca takip alanına bir isim ve renk verebilmektedir. Buna ek olarak çalışma kapsamında deney düzenekleri için hazırlanmış alanları kaydetme seçeneği eklenmiştir. Böylece araştırmacı her deney yaptığında tekrar tekrar bu alanları oluşturmak zorunda kalmamaktadır. Ayrıca bu alanları kolayca seçebilmesi için daha önce kaydedilmiş alanlar kullanıcı arayüzünde liste halinde kullanıcıya sunulmaktadır. Şekil 5a'da kayıtlı takip alanları, Şekil 5b'de takip alanlarının özellikleri ve Şekil 5c'de ise görüntü üzerinde takip alanlarının nasıl görüntülendiği sunulmuştur.



Şekil 5. a) Kayıtlı takip alanları; b) takip alanı düzenleme; c) takip alanlarının görünümü

Araştırmacıların analiz etmek istediği değerler arasında farenin toplam kat ettiği mesafe ve ortalama hızı yer almaktadır. Ancak mevcut araç ile bu yapılamamaktadır. Çalışmada bu analizleri yapabilmek için araştırmacıdan kamera görüntüsü üzerinde gerçek bir metreyi ifade eden çizgi tipinde bir takip alanı oluşturması ve adını da metre yapması istenmektedir. Analiz aşamasında bu çizilen çizginin öncelikle piksel cinsinden uzunluğu hesaplanmakta ve böylece Pisagor bağıntısından 1 pikselin kaç cm uzunluğa karşılık geldiği bulunmaktadır. Aşağıda bu işlemin denklemi (1) ve kaynak kodu yer almaktadır.

mesafeHesapla Bağıntısı:

$$mesafe = \sqrt{|x_2 - x_1|^2 + |y_2 - y_1|^2} \quad (1)$$

x_1, y_1 : çizginin başlangıç koordinatları

x_2, y_2 : çizginin bitiş koordinatları

```
metrePikselMesafe = self.anaPencere.mesafeHesapla(
    float(self.anaPencere.metre[0][0]),
    float(self.anaPencere.metre[0][1]),
    float(self.anaPencere.metre[1][0]),
    float(self.anaPencere.metre[1][1]),
)
```

Bir metrenin piksel cinsinden karşılığı bulunduğundan sonra farenin toplam kat ettiği mesafe hesaplanmaktadır. Bunun için de metre için olduğu gibi farenin bir önceki koordinatı ile bir sonraki koordinatı arasındaki mesafe Pisagor bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Kayıt süresince de bu piksel cinsinden değerler kümülatif olarak toplanmaktadır. Son olarak kayıt sona erdiğinde toplam kat edilen mesafe metrenin piksel cinsinden değerine bölünüp 100 ile çarpılarak farenin toplam olarak kaç cm yol kat ettiği hesaplanmaktadır. Farenin ortalama hızı ise toplam kat edilen mesafenin saniye cinsinden belirlenen kayıt süresine bölünmesi ile bulunmaktadır. Aşağıda bu işlem için kaynak kodu (2) sunulmuştur.

$$hız = toplamMesafe / kayıtSuresi$$

$$toplamKatEdilenMesafe = (toplamPikselMesafe / metrePikselMesafe) * 100 \quad (2)$$

Araştırmacı fare, alanlar ve metrik ölçüm için 1 metrelik çizgiyi belirledikten sonra deney için hazır duruma gelmektedir. Bundan sonra deneye başlamak için arayüzde bir kayıt numarası ve bu kayıt ile ilgili girmek istiyorsa bir açıklama girebilmektedir. Daha sonra deneyin süreceği süreyi saniye cinsinden belirledikten sonra "Kaydı Başlat" tuşuna tıkladığında gerçek zamanlı olarak kayıt ve analiz işlemleri başlamaktadır. Kayıt işlemine başlanıldığında ilk olarak ilk kameradan alınan görüntü çerçevesi resim olarak kaydedilmektedir. Kayıt süresince farenin koordinatları sürekli olarak kayıt altına alınmakta ve anlık olarak her video çerçevesinde kat ettiği mesafe hesaplanmaktadır. Bununla birlikte farenin hangi takip alanı içinde yer aldığı bilgisi de kaydedilmektedir.

Kayıt işlemi tamamlandığında anlık olarak yapılan analizlerin yanında, toplam kat edilen mesafe, ortalama hız değerleri hesaplanmaktadır. Ayrıca farenin takip alanlarında bulunma durumları incelenerek, belirlenen takip

alanlarında ne kadar süre bulunduğu, kaç defa o takip alanlarına girip çıktığı hesaplanmaktadır. Çıktılar ise bir Excel dosyası olarak Şekil 6'da sunulduğu şekilde araştırmacı için kaydedilmektedir.

	A	B	C	D	E
1					
2		Toplam Mesafe	4647,03 px		
3		Metre(Pixel)	418,68 px		
4		Mesafe	1.109,92 cm		
5		Ortalama Hız	3,76 cm/sn		
6					
7		Alan Adı	Geçen Süre	Giriş	Çıkış
8		orta	0,3	1	1
9		thigmo	299,44	1	0

Şekil 6. Excel çıktısı

Tüm bu analizler başta belirlenen kayıt numarası adında açılan klasör içerisinde kayıt.csv isimli bir dosyaya kaydedilmektedir. CSV dosyaları bir araç işareti ile ayrılmış verilerin satır satır saklamak için kullanılan bir metin dosya biçimidir [15]. Tablo 2'de CSV dosyasının içeriği ve alanların açıklamaları sunulmuştur.

Tablo 2. CSV dosyası ve içeriği.

```
x;y;ic;dis;sure;mesafe
422.15833333333336;77.67916666666667;1;0;1.325611
421.9298245614035;79.6774628879892;1;0;1.376595;2.0113189819123045
415.12200137080197;84.33036326250857;1;0;1.427593;8.24596498232285
391.0067491563555;85.8138357705287;1;0;1.478581;24.160837734822366
```

x, y, ic, dis, sure ve mesafe sütun başlıklarını ifade etmektedir. Alttaki noktalı virüglü ile ayrılmış değerler ise her kaydın ilgili sütuna gelen değerini ifade etmektedir. Sütunların karşılıkları ise aşağıdaki gibidir.

x: farenin yatay ekseninde pozisyonu

y: farenin dikey ekseninde pozisyonu

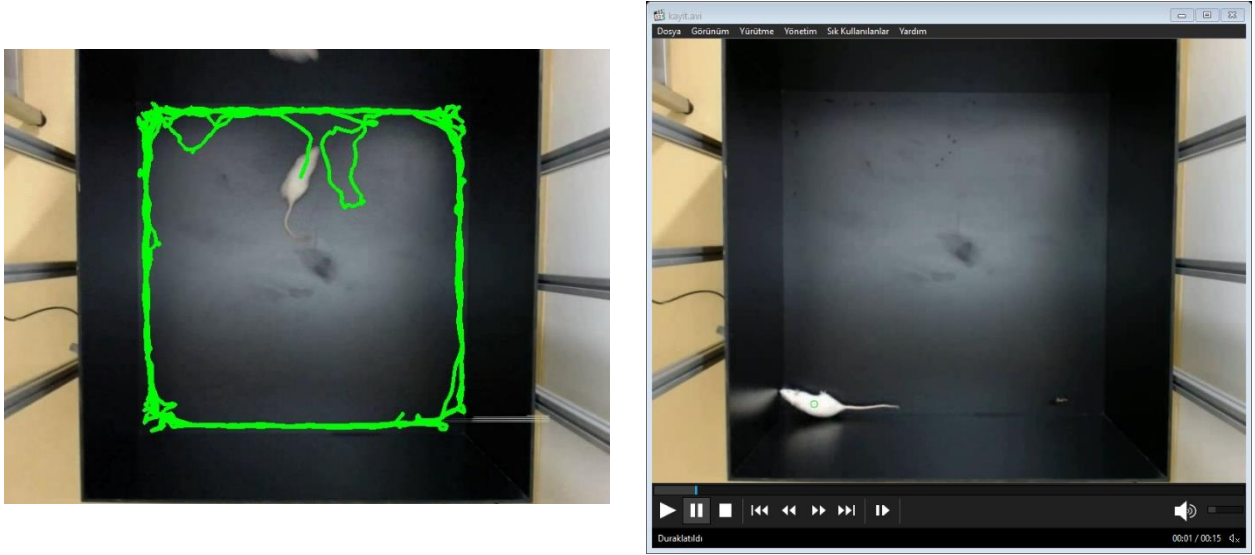
ic: ic isimli takip alanında farenin bulunma durumu

dis: dis isimli takip alanında farenin bulunma durumu

sure: bu veri kaydedildiği anda deneyin başlangıcından itibaren geçen süre

mesafe: farenin bir önceki durumu ile bu durumu arasında kat ettiği mesafe

Son olarak kaydın başlangıcında kaydedilen resim üzerinde farenin geçtiği tüm noktalar OpenCV kütüphanesinin çizgi çizme aracı kullanılarak çizilen çizgiler ile birleştirilerek farenin yol haritası görsel olarak analiz edilmektedir. Görsel analizin sonuçları Şekil 7a'da sunulmuştur. Bunun yanında tüm analiz işlemi video dosyası olarak ta kayıt altına alınmaktadır. Video kaydı da yine OpenCV kullanılarak kullanıcının belirlemiş olduğu çözünürlük ve fps değerlerine göre Xvid biçiminde sıkıştırılmış olarak kameradan alınan anlık görüntülerin üzerine farenin bulunduğu noktaya yeşil bir çember çizilerek yapılmaktadır. Xvid sıkıştırma biçimi kullanılmasının sebebi, açık kaynak kodlu özgür bir biçim olması ve tüm platformlarda kullanılabilmesidir [20]. Ayrıca sıkıştırma oranı ve kalite bakımından çalışma sürecinde yeterli sonuçlar üretmiştir. Video kaydının örnek ekran görüntüsü Şekil 7b'de sunulmuştur.



(a)

(b)

Şekil 7. Farenin geçtiği yolların çizimi

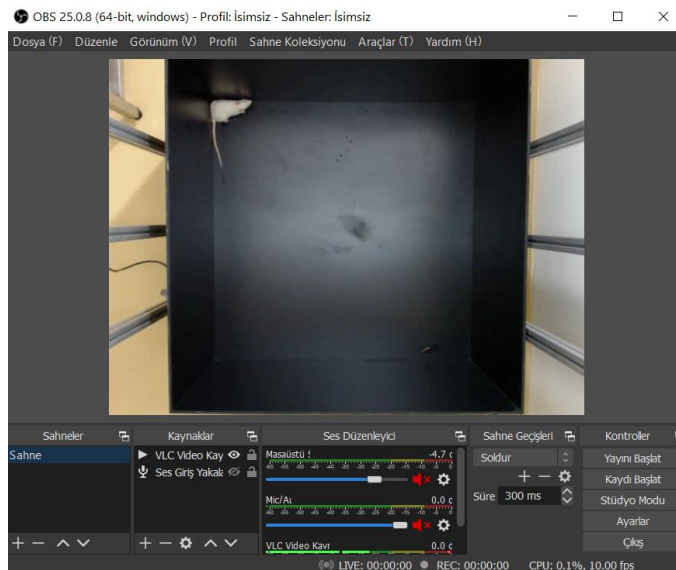
3. Bulgular

Geliştirilen aracın yazılım geliştirme süreci ve sonrasında istenilen işlemleri doğru bir şekilde yaptığının denetlenmesi için hem daha önce analizi yapılmış çalışmalarla karşılaştırması yapılmış hem de gerçek zamanlı uygulamalar yapılmıştır.

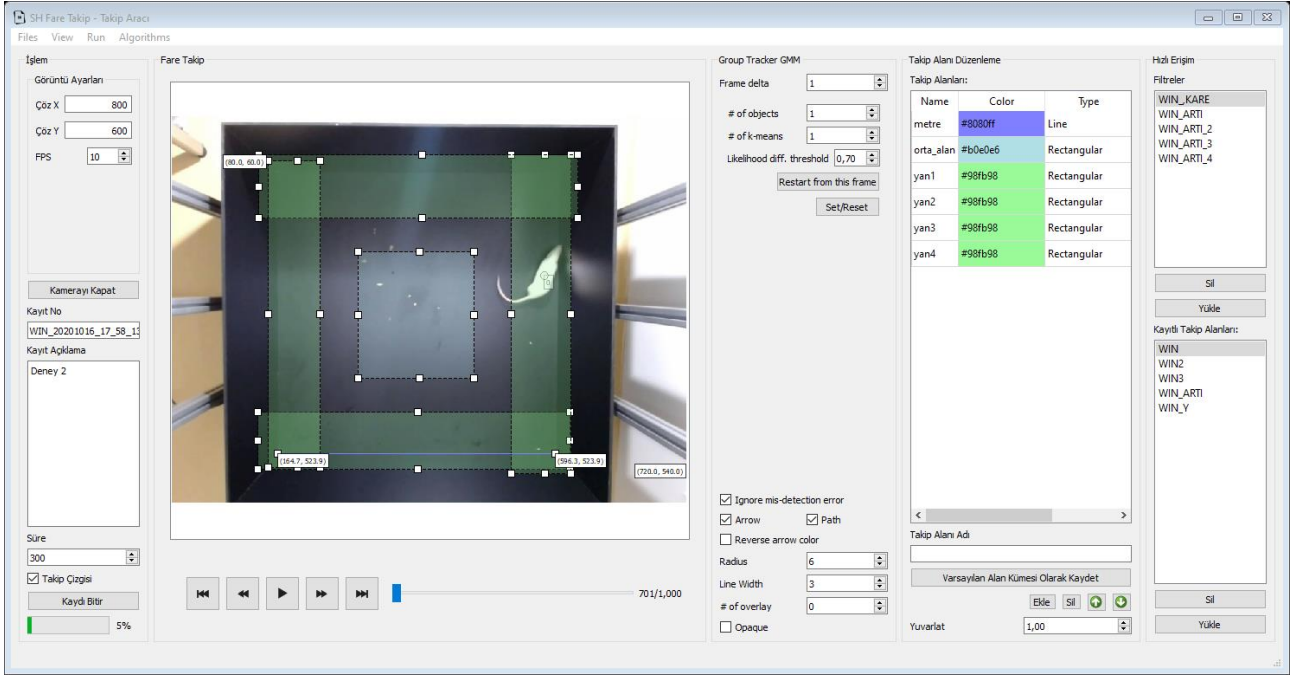
Yazılımın geliştirilmesinin ardından ilk aşamada gerçek zamanlı olarak çalışmak çeşitli sorunlar ortaya çıkarmıştır. Bunların ilki salgın nedeniyle farklı araştırmacıların aynı ortamda uzun süre çalışmasının zorluğudur. İkinci zorluk gerçek bir canlı ile çalışmalar yapılırken sürekli olarak hataların ve eksiklerin tespit edilerek giderilirken ayrıca deney hayvanı ile ilgilenilmesidir. Üçüncü ve en büyük zorluk ise yazılım ile analiz edilen tüm görüntülerin doğruluğunun tespit edilebilmesi için ayrıca gerçek olarak insan gücü ile analiz edilmesidir. Bu vb. sorunlardan dolayı çalışmada ilk olarak daha önce analizi yapılmış görüntüler ile çalışılmasına karar verilmiştir.

Geliştirilen yazılım kayıt edilmiş videolar ile değil de sadece kameradan alınan görüntüler ile çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Ancak sanal kamera yöntemi ile bu kısıt aşılabilmektedir. Bu yöntemde bir video bir sanal kamera yazılımı ile sanki bilgisayara bağlanan bir kameradan görüntü alınıyormuşçasına gösterilebilmektedir.

Sanal kamera oluşturmak için OBS Studio yazılımı ve bu yazılımın VirtualCam eklentisi kullanılmıştır [16] [17]. Araç yardımı ile fare deney videoları kamera görüntüsü olarak sunulmuştur. Şekil 8'de bir videonun OBS yazılımı ile sanal kamera olarak yayınlanmasını ve Şekil 9'da geliştirilen takip yazılımında gösterilmesi sunulmuştur.



Şekil 8. OBS yazılımı ile sanal kamera yayını



Şekil 9. Takip yazılımı

Geliştirilen takip aracı daha önce kare ve artı şeklindeki platformlarda kaydedilmiş fare hareket mesafesi, ortalama hızı ve belirlenen bölgelerde geçirdiği süre analizleri yapılmış 18 tane 5 dakikalık deney videosu ile karşılaştırma yapılarak test edilmiştir. Bu videolar bu alanda kabul görmüş Noldus yazılımı ile analiz edilmişlerdir [21] [22]. Test yapabilmek için öncelikle videolar için filtre aracı ile filtreler oluşturulmuştur. Daha sonra takip aracı ile kare ve artı platformlar için kayıtlara uygun takip alanları çizilmiştir. Son olarak videoların tamamı yazılım ile analiz edilmiştir. Tüm İşlemin akış şeması Şekil 10'da, sonuçların daha önce yapılan analizlerle karşılaştırılması Tablo 3'te sunulmuştur.



Şekil 10. Test süreci adımları

Tablo 3. Referans değerler ile takip çıktılarının karşılaştırılması

Kare Platform						Artı Platform							
Ort. Hız(cm/sn)		Orta Alan(sn)		Thigmo Zone(sn)		Ort. Hız(cm/sn)		Açık Kol.(sn)		Kap. Kol.(sn)		Ortak Alan(sn)	
Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY
5,48	5,47	0,3	0,3	299,44	299,5	2,24	2,22	1,84	1,83	297,52	296,7	1,68	1,67
8,97	8,88	4,88	4,87	281,44	281,3	2,68	2,58	0	0	301,04	300,81	0	0
10,3	10,43	9,84	9,76	270,4	270,42	6,15	6,2	3,36	3,42	275,12	274,85	22,56	22,77
7,786	7,73	2,08	2,15	283,52	283,53	3,68	3,57	0,24	0,23	291,52	292,02	9,28	9,45
8,94	8,74	1,12	1,13	291,6	291,63	3,78	3,85	0	0	284,16	283,96	16,88	17,06
10,1	9,85	0,28	0,29	297,12	297,13	5,37	5,35	0	0	286,16	288,01	14,88	14,85
7,01	7,44	1,6	1,61	293,6	293,52	4,03	4,03	0	0	301,04	300,89	0	0
9,18	8,89	5,76	5,74	285,36	284,32	3,62	3,65	0	0	296,8	296,52	4,24	4,22
4,46	4,66	7,76	7,68	286,32	286,3	3,71	3,59	32,96	33,1	227,92	228,04	40,16	40,25
0,184		0,031		0,156		0,057		0,024		0,49		0,078	

Tablo 3'te Ref. ile ifade edilen alanlar daha önce Noldus yazılımı ile analiz edilmiş değerleri GY (Geliştirilen Yazılım) ise aynı görüntü kayıtlarının geliştirilen takip yazılımı ile yapılmış analiz sonuçlarını göstermektedir. Tablo 3'te sonuçlar incelendiğinde referans analiz değerleri ile analiz sonuçları arasında kare platformda ortalama hızlarda 0,184 cm/sn, orta alan geçirme sürelerinde ortalama 0,031sn ve thigmo zone(kare platformun duvarlarına yakın olan alanlar) sürelerinde ise ortalama 0,156 sn fark ortaya çıkmıştır. Artı platformda ortalama hız değerleri arasında ortalama 0,057 cm/sn, açık kol geçirme sürelerinde ortalama 0,024sn, kapalı kol geçirme sürelerinde ortalama 0,49sn ve ortak alan geçirme sürelerinde ise ortalama 0,078sn fark ortaya çıkmıştır.

Yazılımın, analizi daha önce yapılmış olan videolar ile test edilmesinin ardından gerçek ortamda test işlemi gerçekleştirilmiştir. Test işleminde hem kare hem artı platformda ikiye kere olmak üzere 5 dakikalık analizler yapılmıştır. Şekil 11'de test işleminden görüntüler sunulmuştur.



Şekil 11. Test platformu ve test işlemleri

Bu süreçte alınan görüntüler ayrıca video olarak kaydedilmiş ve Noldus programı ile de analiz edilmiştir. Geliştirilen yazılım ve Noldus yazılımının ürettiği sonuçlar karşılaştırılmış ve Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Referans değerler ile takip çıktılarının karşılaştırılması.

Kare Platform						Artı Platform							
Ort. Hız(cm/sn)		Orta Alan(sn)		Thigmo Zone(sn)		Ort. Hız(cm/sn)		Açık Kol.(sn)		Kap. Kol.(sn)		Ortak Alan(sn)	
Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY	Ref.	GY
6,54	6,48	1,2	1,23	295,12	295,5	1,98	1,96	0	0	298,32	298,72	1,68	1,67
3,97	3,88	3,38	3,33	291,41	292,2	2,47	2,44	3,35	3,39	291,12	291,81	5,21	5,28
0,075		0,04		0,58		0,025		0,02		0,54		0,04	

Tablo 4'te sonuçlar incelendiğinde referans analiz sonuçları ile yazılımın analiz sonuçları arasında kare platformda ortalama hızlarda 0,075 cm/sn, orta alan geçirme sürelerinde ortalama 0,04sn ve thigmo zone(kare platformun duvarlarına yakın olan alanlar) sürelerinde ise ortalama 0,58 sn fark ortaya çıkmıştır. Artı platformda ortalama hız değerleri arasında ortalama 0,025 cm/sn, açık kol geçirme sürelerinde ortalama 0,002sn, kapalı kol geçirme sürelerinde ortalama 0,54sn ve ortak alan geçirme sürelerinde ise ortalama 0,04sn fark ortaya çıkmıştır.

Yazılım hem daha önceden kaydedilmiş ve analiz edilmiş videolar hem de 2 artı platform ve 2 kare platform ile gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Bu testler sonucunda elde edilen değerler yazılımın başarılı bir şekilde deney hayvanını takip edebildiğini ve sonuçları analiz edebildiğini göstermiştir. Sonuçlar incelendiğinde ortalama değerlerde ortaya ufak ta olsa farklılıklar çıkmıştır. Bu farklılıklar farenin takip edilirken orta noktasına göre takip edilmesinden kaynaklanmaktadır. Filtre oluşturulurken yapılacak ufak değer değişiklikleri farenin orta noktasının hesaplanmasında farklılıklara sebep olabilmektedir. Bunun sonucunda da değerlerde ufak farklar meydana gelebilmektedir. Ancak bu ufak farklılıklar analizlerde anlamlı farklılıklar oluşturmamıştır.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışma sonucunda fareler ya da benzeri deney hayvanları ile çeşitli platformlarda davranış analizleri yapılabilecek bir araç geliştirilmiştir. Ortaya çıkarılan araç ile gerçek zamanlı olarak farenin pozisyonu, toplam kat ettiği mesafe, ortalama hızı ve araştırmacı tarafından deney platformu üzerinde belirlenen alanlarda ne kadar süre kaldığı ve bu alanlara giriş-çıkış frekansları analiz edilebilmektedir. Ayrıca farenin hangi rotayı izlediği görsel olarak kaydedilmektedir.

Geliştirilen aracın gerçek zamanlı analiz özelliği sayesinde araştırmacılar önce deney yaparak videoyu kaydetme ve daha sonra videoları tekrar analiz etmek yerine bir kerede tüm analiz işlemini gerçekleştirebilmektedir. Ayrıca filtrelerin ve takip alanlarının kaydedilerek kolay bir şekilde kayıttan yüklenebilmesi sayesinde zaman ve emek kazancı sağlanmaktadır. Son olarak aracın referans bir çizgi ile mesafe hesaplayabilme özelliği herhangi bir yükseklikten çekilen tüm görüntülerde metrik olarak doğru bir hesabı mümkün kılmıştır.

Geliştirilen yazılım üzerine yapılacak gelecek çalışmalarda ip kameralardan görüntü alarak uzaktan davranış analizi, Richardson vd. [18] çalışmalarında kullanılan yöntemle benzer filtre aracına alternatif olarak derin öğrenme yöntemleri ile birden fazla fareyi tanıma, numaralandırma [19] ve takip yöntemi, yazılımı tek bir kişinin bilgisayarda ayar yapmadan kullanabilmesi için sesli komutlarla kontrol özellikleri eklenmesi düşünülmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Balıkesir Üniversitesi tarafından desteklenmiştir, BAP Proje No: 2019/097.

Kaynakça

- [1] Catarinucci, L., Colella, R., Mainetti, L., Patrono, L., Pieretti, S., Secco, A. ve Sergi, I. 2014. An animal tracking system for behavior analysis using radio frequency identification. *Lab Animal*, 43(2014), 321-327, doi:<https://doi.org/10.1038/lablan.547>
- [2] Woehr, D., Arciniega, L. ve Poling, T. 2013. Exploring the Effects of Value Diversity on Team Effectiveness, *Journal of Business and Psychology*, 28(2013), 107-121.
- [3] Spink, A., Tegelenbosch, R., Buma, M. ve Noldus, L. 2001. The EthoVision video tracking system—A tool for behavioral phenotyping of transgenic mice, *Physiology & Behavior*, 73(2001), 731-744, doi:[https://doi.org/10.1016/S0031-9384\(01\)00530-3](https://doi.org/10.1016/S0031-9384(01)00530-3).
- [4] Aguiar, P., Mendonça, L. ve Galhardo, V. 2007. OpenControl: A free opensource software for video tracking and automated control of behavioral mazes, *Journal of Neuroscience Methods*, 166(2007), 66-72.
- [5] EthoVision XT. <https://www.noldus.com/ethovision-xt> (Erişim Tarihi: 14.09.2020).
- [6] VideoMot2. <https://www.tse-systems.com/product-details/videomot/> (Erişim Tarihi: 14.09.2020).
- [7] Yamanaka, O. ve Takeuchi, R. 2018. UMATracker: an intuitive image-based tracking platform, *Journal of Experimental Biology*, 221(2018).
- [8] Rodriguez, A., Zhang, H., Klaminder, J., Brodin, T., Andersson, P., & Andersson, M. 2018. ToxTrac: a fast and robust software for tracking organisms, *Methods in Ecology and Evolution*, 9(2018), 460-464.
- [9] Open Computer Vision: Open CV. <https://opencv.org/> (Erişim Tarihi: 08.09.2020).
- [10] Yoon, J., Yang, M.-H., Lim, J., & Yoon, K.-J. 2015. Bayesian Multi-object Tracking Using Motion Context from Multiple Objects, *IEEE Winter Conference on Applications of Computer Vision*, 6-9 Ocak 2015, Waikoloa, 33-40.
- [11] Zach, C., Pock, T., & Bischof, H. 2007. A Duality Based Approach for Realtime TV-L1 Optical Flow, *Joint Pattern Recognition Symposium*, 12-14 Kasım 2007, Berlin, 214-223.
- [12] Llyod, S. 1982. Least squares quantization in PCM, *IEEE Transactions on Information Theory*, 28(1982), 129-137.
- [13] Fukunaga, T., Kubota, S., Oda, S., & Iwasaki, W. 2015. GroupTracker: Video tracking system for multiple animals under severe occlusion, *Computational Biology and Chemistry*, 57(2015), 39-45.
- [14] Qt | Cross-platform software development for embedded & desktop. <https://www.qt.io/> (Erişim Tarihi: 17.09.2020).
- [15] Y. Shafranovich. 2020. Common Format and MIME Type for Comma-Separated Values (CSV) Files. <https://tools.ietf.org/html/rfc4180> (Erişim Tarihi: 09.09.2020).

- [16] Open Broadcaster Software. <https://obsproject.com/tr> (Erişim Tarihi: 09.09.2020).
- [17] OBS Virtual Cam. <https://github.com/CatxFish/obs-virtual-cam> (Erişim Tarihi: 22.09.2020).
- [18] Peixoto H.M., T. R.-A. 2019. Mice Tracking Using The YOLO Algorithm, PeerJ Preprints, 7(2019).
- [19] Kılıç, E., Öztürk, S. 2020. İnsansız Hava Aracı Görüntülerinde Evrişimli Sinir Ağı Kullanarak Araç Sayımı için Yeni Bir Haritalama Yöntemi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 36(2020), 119-127.
- [20] Xvid. <https://www.xvid.com/> (Erişim Tarihi: 18.09.2021).
- [21] Noldus, L.P.J.J., Spink, A.J. & Tegelenbosch, R.A.J. EthoVision: A versatile video tracking system for automation of behavioral experiments. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers 33, (2001), 398-414. <https://doi.org/10.3758/BF03195394>
- [22] Noldus EthoVision. <https://www.noldus.com/ethovision-xt/> (Erişim Tarihi: 18.09.2021).

Lineer Modellerde Kısıtlama Altında Parametre Tahmini Üzerine Bir Çalışma

Fatma Buğlem YALÇIN^{ID*}, Cemil YAPAR^{ID^z},

*¹ Ordu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, ORDU

^z Ordu Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Matematik Bölümü, ORDU

(Alınış / Received: 19.05.2021, Kabul / Accepted: 29.09.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Alışılmış En Küçük Kareler,
En Çok Olabilirlik,
Kısıtlanmış En Küçük
Kareler,
Lineer Model,
Moore-Penrose
Genelleştirilmiş Ters,
Parametre Tahmini

Öz: İstatistiksel analizlerden biri olan regresyon analizinin temel amacı, tahmin edilen değerler ile gerçek gözlem değerleri arasındaki farkı minimum yapmaktır. Bu nedenle, çeşitli tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Regresyon modeli oluşturulurken genellikle alışılmış en küçük kareler (AEKK) veya en çok olabilirlik (EÇO) yaklaşımlarından biri kullanılır. Bazı durumlarda, parametre vektörü üzerine lineer eşitlik veya lineer eşitsizlik kısıtlamaları konulabilir. Parametre vektörü üzerine lineer eşitlik kısıtlaması konulduğunda parametre, kısıtlanmış en küçük kareler (KEKK) yaklaşımı ile tahmin edilir. Ayrıca kısıtlanmış modeller altında parametre tahmini, matrislerin genelleştirilmiş terslerini (g-terslerini) içerir. Bu çalışmada klasik regresyon modelinde en küçük kareler tahmin edicileri, parametre vektörü üzerine eşitlik kısıtlamaları konularak ve matrislerin Moore-Penrose g-tersleri kullanılarak elde edilmiştir.

A Study on Parameter Estimation under Constraint in the Linear Models

Keywords

Ordinary Least Squares,
Maximum Likelihood,
Constrained Least Squares,
Linear Model,
Moore-Penrose Generalized
Inverse,
Parameter Estimation

Abstract: The main purpose of the regression analysis, which is one of the statistical analyzes, is to minimize the difference between the estimated values and the actual observation values. Therefore, various estimation methods have been developed. Ordinary least squares (OLS) or maximum likelihood (ML) approaches are often used when creating the regression model. In some cases, linear equality or linear inequality constraints can be imposed on the parameter vector. When linear equality constraint is imposed on the parameter vector, the parameter is estimated by the constrained least squares (CLS) approach. Besides, parameter estimation under constrained models includes generalized inverse (g-inverse) of matrices. In this study, least squares estimators in classical regression model were obtained by imposing equality constraints on parameter vector and using Moore-Penrose g-inverses of matrices.

*İlgili Yazar, e-mail: yalcinfatmabuglem@gmail.com

1. Giriş

Çeşitli alanlarda, uygulama vasıtasıyla toplanan veriler incelenir ve bu verileri modelleyen fonksiyon bulunmak istenir. Verilere tam anlamıyla uyan fonksiyonu bulmak her zaman mümkün olmayabilir. Regresyon analizi, bu verilere en iyi şekilde uyan fonksiyonu bulma yöntemidir [1].

Alışılmış en küçük kareler (AEKK) yöntemi, regresyon analizinde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biridir. Ünlü matematikçi C. F. Gauss, AEKK yöntemini 1795'de geliştirmiştir. Bu yöntemi ilk defa 1801'de Cres astroidinin yörüngesini belirlemek için kullanmıştır [2]. Gauss'dan bağımsız olarak A. Legendre 1805'de ve R. Adrain 1808'de yöntemi bulmuşlardır [3].

AEKK yöntemi, pek çok bilim dalında (matematik, sosyoloji, mühendislik, tıp, ziraat gibi) değişkenler arasındaki ilişkileri saptarken kullanılan araçlardan biridir [4].

AEKK yöntemi Gauss-Markov Teoremi'ne göre, optimal yöntemdir. Yani hata kareler toplamını (HKT'yi) minimum yapmayı amaçlayan bir yöntemdir. Veriler için birtakım varsayımlar sağlandığında yöntem, güvenilir tahminler elde edilmesini sağlar [5-6]. Bu yöntemde, değişkenler arasındaki ilişkiyi bulmak için matematiksel model kurulur, daha sonra da kurulan modelin geçerliliği araştırılır [7]. Eğer kurulan model verilere uygun değilse yanıltıcı sonuçlar doğuracaktır [8].

AEKK yöntemi, geçmişten günümüze kadar matematikçilerin ve diğer bilim adamlarının yoğun olarak üzerinde çalıştıkları konu haline gelmiştir [9-15].

Ancak bazı durumlarda AEKK kestirimine lineer kısıtlamalar koymak gerekebilir. Bu durumda lineer modellerde kısıtlama altında elde edilen tahmine, kısıtlanmış en küçük kareler (KEKK) tahmini denir [16-21]. KEKK yöntemi ile elde edilen parametreler bu kısıtları sağlamalıdır. Amaç yine HKT'yi minimum yapmaktır.

Bu çalışmada amacımız, lineer modellerde kısıtlama altında KEKK tahminini, matrislerin genelleştirilmiş tersinin özel bir hali olan Moore-Penrose g-tersi vasıtasıyla bulmaktır. Bunun için önce, AEKK ile KEKK tahminlerini ifade edelim ve Moore-Penrose g-tersinden kısaca bahsedelim.

2. Materyal ve Metot

2.1. Alışılmış en küçük kareler (AEKK) tahmini

Z bilinenlerin t ranklı bir $s \times t$ matrisi, w gözlenebilir bir $s \times 1$ rasgele vektör, γ parametrelerin bir $t \times 1$ vektörü, e , $E(e) = \mathbf{0}$ ortalamalı ve $var(e) = \sigma^2 I$ kovaryanslı bir hata vektörü ve σ^2 pozitif bir parametre olmak üzere aşağıdaki genel lineer modelini göz önüne alınız:

$$w = Z\gamma + e. \quad (1)$$

γ nın AEKK tahmin edicisi, aşağıdaki HKT yi γ ya göre minimumlaştırılarak elde edilir:

$$HKT(\gamma) = e'e = (w - Z\gamma)'(w - Z\gamma) = w'w - 2\gamma'Z'w + \gamma'Z'Z\gamma.$$

HKT(γ) nın minimum olması için gerek şart

$$\frac{\partial HKT(\gamma)}{\partial \gamma'} = 0,$$

$$-2Z'w + 2Z'Z\gamma = \mathbf{0}$$

olmasıdır.

Böylece $\hat{\gamma}$ için, $Z'Z\hat{\gamma} = Z'w$ normal denklemler sistemi elde edilir.

Yukarıdaki normal denklemler sistemi her zaman tutarlıdır. Yani Z nin rankına bağlı değildir. $rank(Z_{s \times t}) = t \leq s$ olması halinde, normal denklemler sistemi için $\hat{\gamma}$ çözümü

$$\hat{\gamma} = (Z'Z)^{-1}Z'w$$

ile verilir [22-26].

$E(\hat{\gamma}) = E[(Z'Z)^{-1}Z'w] = (Z'Z)^{-1}Z'E[w] = \gamma$ dir. Yani $\hat{\gamma}$, γ nın bir yansız tahmin edicisidir. $\hat{\gamma}$ nın kovaryans matrisi ise,

$$\begin{aligned} var(\hat{\gamma}) &= E[((Z'Z)^{-1}Z'w - \gamma)((Z'Z)^{-1}Z'w - \gamma)'] \\ &= E[((Z'Z)^{-1}Z'(Z\gamma + e) - \gamma)((Z'Z)^{-1}Z'(Z\gamma + e) - \gamma)'] \\ &= (Z'Z)^{-1}Z'E(ee')Z(Z'Z)^{-1} = \sigma^2(Z'Z)^{-1} \end{aligned}$$

biçimindedir. $\hat{\sigma}^2 = \frac{(w-Z\hat{\gamma})(w-Z\hat{\gamma})'}{s-rank(Z)}$, σ^2 nin bir yansız tahmin edicisidir.

2.2. Kısıtlanmış en küçük kareler (KEKK) tahmini

\mathbb{R}^t ; $t \times 1$ tipindeki tüm reel matrislerin bir kümesi olmak üzere \mathbb{R}^t nin bir alt uzayı,

$$\Phi = \{\gamma : C\gamma = \delta\}$$

olsun. γ için parametre uzayı Φ alt uzayına kısıtlanmıştır. γ , $C\gamma = \delta$ tutarlı lineer denklemler sistemini sağlamak üzere, beklenen değeri $Z\gamma$ olan w yi gözleriz.

$C_{q \times t}$ matrisinin tam ranklı olduğunda ısrar edeceğiz; aksi halde gereksiz denklemlere sahip olacağız. Denklemlerin tutarlı olmalarını garantilemek için $\delta \in \mathcal{C}(C)$ ($\mathcal{C}(C)$, C nin sütun uzayı) olması yeterlidir [27].

O halde $rank(C_{q \times t}) = q$ ve δ bilinenlerin bir $q \times 1$ vektörü olmak üzere, C sınırlama matrisi için katsayılar üzerine koyulan aşağıdaki q –sayıda lineer kısıtlamasını göz önüne alınız:

$$C\gamma = \delta. \quad (2)$$

$e'e = (w - Z\gamma)'(w - Z\gamma)$ amaç fonksiyonu, (2) kısıtlaması altında minimize edilerek KEKK tahmini elde edilir. α' Lagrange çarpanlarının bir $q \times 1$ vektörü olmak üzere, Lagrange fonksiyonu

$$\mathcal{L} = w'w - 2\gamma'Z'w + \gamma'Z'Z\gamma - \alpha'(\delta - C\gamma)$$

dir. [28]'deki çalışmaya göre M bir matris, m ve n vektörler olmak üzere,

$$\frac{\partial(m'Mm)}{\partial m} = (M + M')m (= 2Mm, \quad M \text{ simetrik olduğunda})$$

ve

$$\frac{\partial(m'n)}{\partial m} = n$$

dir. Bu sonucu kullanarak, Lagrange fonksiyonunu γ ya ve α ya göre diferensiyelleme aşağıdaki şartları verir:

$$-2Z'w + 2Z'Z\gamma + C'\alpha = 0,$$

$$C\gamma - \delta = 0. \quad (3)$$

(3) eşitliğini soldan $C(Z'Z)^{-1}$ ile çarpma

$$-2C(Z'Z)^{-1}Z'w + 2C\gamma + C(Z'Z)^{-1}C'\alpha = 0$$

eşitliğini verir. $C(Z'Z)^{-1}C'$ matrisi pozitif tanımlıdır. Yukarıdaki eşitlikte $\hat{\gamma} = (Z'Z)^{-1}Z'w$ ifadesini kullanarak,

$$\alpha = (C(Z'Z)^{-1}C')^{-1}(2C\hat{\gamma} - 2C\gamma) = -2(C(Z'Z)^{-1}C')^{-1}(\delta - C\hat{\gamma})$$

elde edilir. α nın bu değerini (3) eşitliğinde yerine koyarak, γ nın KEKK tahmin edicisi

$$\hat{\gamma}_c = \hat{\gamma} + (Z'Z)^{-1}C'(C(Z'Z)^{-1}C')^{-1}(\delta - C\hat{\gamma})$$

olarak bulunur [29-32].

$\hat{\gamma}_c$ tahmin edicisi, (2) eşitliğini sağlar. Üstelik $\hat{\gamma}_c$, γ nın bir yansız tahmin edicisidir. $\hat{\gamma}_c$ nin kovaryans matrisine gelecek olursak,

$$var(\hat{\gamma}_c) = E[(\hat{\gamma}_c - \gamma)(\hat{\gamma}_c - \gamma)'] = \mathcal{M}_c(Z'Z)^{-1}Z'E(ee')Z(Z'Z)^{-1}(\mathcal{M}_c)' = \sigma^2 \mathcal{M}_c(Z'Z)^{-1}(\mathcal{M}_c)'$$

olarak bulunur.

Burada $\mathcal{M}_c = [I - (Z'Z)^{-1}C'(C(Z'Z)^{-1}C')^{-1}C]$, idempotent bir matristir ancak simetrik bir matris değildir [27]. Ayrıca $var(\hat{\gamma}_c)$ için, $var(\hat{\gamma}_c) = \sigma^2 \mathcal{M}_c (Z'Z)^{-1}$ denk ifadesi de yazılabilir.

2.3. Matrisler için genelleştirilmiş tersler (g-tersler)

Fredholm ilk kez 1903'de g-ters kavramından integral operatörleri ile ilgili çalışmasında bahsetmiştir. Matrislerin g-ters kavramı ilk olarak E. H. Moore tarafından 1920'de ifade edilmiştir. Daha sonra bu, Penrose tarafından 1955'de geliştirilmiştir. 1900'lü yılların ortasından itibaren lineer programlamanın gelişmesiyle g-terslere ilgi daha da artmıştır [33].

2.3.1. Moore-Penrose g-tersi

Herhangi bir P matrisi için,

$$\begin{aligned} \text{i. } PGP &= P, \text{ iii. } (PG)' = (PG), \\ \text{ii. } GPG &= G, \text{ iv. } (GP)' = (GP) \end{aligned}$$

koşullarını sağlayan tek bir G matrisi vardır. Bu matrise Moore-Penrose g-tersi denir ve P^+ ile gösterilir [34].

3. Bulgular

3.1. Moore-Penrose g-tersi ile KEKK tahmininin elde edilişi

Burada $\hat{\gamma}_c$ yı elde etmek için başka bir yöntemi ortaya koyacağız. Bunun için, $rank(C_{q \times t}) = q \leq t$ şartı ve (2) kısıtlaması altında, C nin $C^+ = C'(CC')^{-1}$ Moore-Penrose g-tersini (C^+ , tektir) kullanarak (2) lineer denklemler sisteminden aşağıdaki γ^* çözümünü elde ederiz:

$$\gamma^* = C^+ \delta + (I - C^+ C) \xi, \quad \xi \in \mathbb{R}^t. \quad (4)$$

$\xi \in \mathbb{R}^t$ optimum vektörünü bulmaya çalışalım ve buna $\hat{\xi}$ diyelim. γ^* değerini (1) modelinde yerine koyarak

$$\underbrace{w - ZC^+ \delta}_{=v} = Z \underbrace{(I - C^+ C) \xi}_{=\varphi} + e$$

modelini elde ederiz. Bu takdirde φ nın $\hat{\varphi}$ tahmin edicisi, $Z'Z\varphi = Z'v$ normal denklemini sağlar. O halde

$$\hat{\varphi} = (I - C^+ C) \hat{\xi} = (Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) = \hat{\gamma} - C^+ \delta$$

olduğu görülür. $\eta \in \mathbb{R}^t$ keyfi bir vektör olmak üzere, yukarıdaki ifadenin $\hat{\xi}$ için çözümünden

$$\begin{aligned} \hat{\xi} &= (I - C^+ C)(Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) + [I - (I - C^+ C)^+ (I - C^+ C)] \eta \\ &= (I - C^+ C)(Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) + [I - (I - C^+ C)] \eta \\ &= (I - C^+ C)(Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) + C^+ C \eta \end{aligned}$$

olur. (4) ifadesinde ξ yerine $\hat{\xi}$ koyarak $\hat{\gamma}_c$ yı elde ederiz. Buna göre,

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_c &= C^+ \delta + (I - C^+ C) \{ (I - C^+ C)(Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) + C^+ C \eta \} \\ &= C^+ \delta + (I - C^+ C)(Z'Z)^{-1} Z' (w - ZC^+ \delta) + (I - C^+ C) \hat{\gamma} \end{aligned} \quad (5)$$

elde edilir.

$(Z'Z)^{-1} C' [C(Z'Z)^{-1} C']^{-1}$ g-tersi, Moore-Penrose g-tersinin üç özelliğini sağlar.

i. $C C^+ C = C$, ii. $C^+ C C^+ = C^+$, iii. $(C C^+)' = C C^+$.

Eğer (5) ifadesinde C^+ yerine $(Z'Z)^{-1} C' [C(Z'Z)^{-1} C']^{-1}$ matrisini kullanırsak,

$$\begin{aligned} \hat{\gamma}_c &= \{(Z'Z)^{-1} C' [C(Z'Z)^{-1} C']^{-1}\} \delta + (I - \{(Z'Z)^{-1} C' [C(Z'Z)^{-1} C']^{-1}\} C) \hat{\gamma} \\ &= \hat{\gamma} + (Z'Z)^{-1} C' (C(Z'Z)^{-1} C')^{-1} (\delta - C \hat{\gamma}) \end{aligned}$$

olduğu görülür. KEKK tahmin edicisinin kovaryans matrisine tekrar dönecek olursak,

$$\text{var}(\hat{\gamma}_c) = \sigma^2(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} + \sigma^2[-(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} + \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}],$$

$$\text{var}(\hat{\gamma}) - \text{var}(\hat{\gamma}_c) = \sigma^2[(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C} + \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}]$$

ifadesini elde ederiz.

Şimdi AEKK tahmin edicisinin varyans matrisi (kovaryans matrisi) ile KEKK tahmin edicisinin varyans matrisinin farkından oluşan matrisi inceleyelim. Bunun için

$$\mathbf{X} = [(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C} + \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}]$$

diyelim. ϕ parametre uzayından $\mathbf{a} \in \mathcal{C}(\mathbf{C}') = \mathcal{N}(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}) = \mathcal{N}(\mathbf{I} - \mathbf{C}'\mathbf{C}^+)$ vektörünü seçelim (burada \mathcal{N} , sıfır uzayı veya çekirdeği gösterir). $\mathbf{a} = \mathbf{C}'\mathbf{b}$ $\mathbf{b} \in \mathbb{R}^q$ ve $\mathbf{a} \in \mathbb{R}^t$ olacaktır. Böylece Moore-Penrose g-ters özelliklerini kullanarak, her $\mathbf{a} \in \mathbb{R}^t$ için

$$\begin{aligned} \mathbf{a}'\mathbf{X}\mathbf{a} &= \mathbf{b}'\mathbf{C}[(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C} + \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1} - \mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}]\mathbf{C}'\mathbf{b} \\ &= \mathbf{b}'[\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}\mathbf{C}' + \mathbf{C}\mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}' - \mathbf{C}\mathbf{C}^+\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}^+\mathbf{C}\mathbf{C}']\mathbf{b} \\ &= \mathbf{b}'[\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}' + \mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}' - \mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}']\mathbf{b} = \mathbf{b}'[\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}']\mathbf{b} \end{aligned}$$

bulunur. Burada $\text{rank}(\mathbf{Z}_{s \times t}) = t$ olduğundan, $(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})$, $(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}$ ve $\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}'$ matrisleri pozitif tanımlıdır. O halde \mathbf{X} de pozitif tanımlıdır.

Böylece, $\hat{\gamma}_c$ tahmin edicisinin varyansı, $\hat{\gamma}$ tahmin edicisinin varyansından bir pozitif tanımlı matris kadar eksiktir [35-36]. Yani, $\text{var}(\hat{\gamma}) \geq \text{var}(\hat{\gamma}_c)$ dir. O halde, $\hat{\gamma}_c$ nin; σ^2 nin biliniyor olması şartı veya kovaryans matrislerinin kriteri ile Loewner sıralaması altında $\hat{\gamma}$ dan daha etkin olduğu ispat edilmiş olur.

Son olarak $\hat{\gamma}_c$ nin tekliğinden bahsedelim. (5) ifadesini soldan $\mathbf{Z}'\mathbf{Z}$ ile çarpalım.

$$\begin{aligned} \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\gamma}_c &= \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\mathbf{C}^+\boldsymbol{\delta} + \mathbf{Z}'\mathbf{Z}(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C})\hat{\gamma} = \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\mathbf{C}^+\boldsymbol{\delta} + \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\phi} = \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\mathbf{C}^+\boldsymbol{\delta} + \mathbf{Z}'\mathbf{v} \\ &= \mathbf{Z}'\mathbf{Z}\mathbf{C}^+\boldsymbol{\delta} + \mathbf{Z}'(\mathbf{w} - \mathbf{Z}\mathbf{C}^+\boldsymbol{\delta}) = \mathbf{Z}'\mathbf{w} \end{aligned}$$

olur. Bu ifadeyi soldan $(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C})$ ile çarparak

$$(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C})(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\gamma}_c - \mathbf{Z}'\mathbf{w}) = \mathbf{0}$$

elde ederiz. Buradan $(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\gamma}_c - \mathbf{Z}'\mathbf{w}) \in \mathcal{N}(\mathbf{I} - \mathbf{C}^+\mathbf{C})$ olduğu yani, $(\mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\gamma}_c - \mathbf{Z}'\mathbf{w}) \in \mathcal{C}(\mathbf{C}')$ veya $\mathbf{Z}'\mathbf{Z}\hat{\gamma}_c = \mathbf{Z}'\mathbf{w} + \mathbf{C}'\boldsymbol{\lambda}$, $\boldsymbol{\lambda} \in \mathbb{R}^q$ olduğu görülür. Bu nedenle $\hat{\gamma}_c$ tektir.

3.2. KEKK tahmininin bir uygulaması

Ordu ilindeki bir fındık fabrikasında, 2013-2017 yılları arasında fındıktan elde edilen gelir aşağıda Tablo 1. de verilmiştir[27].

Tablo 1. 2013-2017 yılları arasında fındıktan elde edilen gelir

Yıllar	Gelir (TL)
2017	1033132,457
2016	1062882,890
2015	1324114,990
2014	824509,375
2013	536710,989

Önce parametre üzerine lineer kısıtlama koyarak parametre tahminini, Moore-Penrose g-tersini kullanarak hesaplayalım. Sonra Tablo 1. deki verilerden yararlanarak en küçük kareler yöntemi vasıtasıyla 2021 yılındaki gelirin kestirimini yapalım.

(1) modeli göz önüne alındığında, AEKK tahmin edicisi $\hat{\boldsymbol{\gamma}} = 283186,7010$ olarak bulunur. Şimdi (2) lineer kısıtlamasını göz önüne alınız. Özel olarak $\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{bmatrix}$ ve $\boldsymbol{\delta} = \begin{bmatrix} 0 \\ 123121,6451 \\ 0 \end{bmatrix}$ seçilirse, $(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}'[\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}']^{-1}$ g-tersi, Moore-Penrose g-tersinin üç özelliğini sağladığından,

$$\begin{aligned} \hat{\boldsymbol{\gamma}}_c &= \hat{\boldsymbol{\gamma}} + (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}'(\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}')^{-1}\boldsymbol{\delta} - (\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}'(\mathbf{C}(\mathbf{Z}'\mathbf{Z})^{-1}\mathbf{C}')^{-1}\mathbf{C}\hat{\boldsymbol{\gamma}} \\ &= 283186,7010 + 123121,6451 - 283186,7010 = 123121,6451 \end{aligned}$$

elde edilir. O halde $\hat{\boldsymbol{\gamma}}_c$, $\hat{\boldsymbol{\gamma}}$ dan daha etkindir.

$\hat{\boldsymbol{e}} = \bar{\boldsymbol{w}} - \hat{\boldsymbol{\gamma}}_c\bar{\mathbf{Z}} = 586905,2049$ dur. Tablo 1. deki verilere göre model, $\boldsymbol{w} = 123121,6451\mathbf{Z} + 586905,2049$ şeklinde bulunur. O halde 2021 yılı için ($\mathbf{Z} = 9$ için), tahmini fındık geliri $\boldsymbol{w} = 1695000,011$ TL olarak hesaplanır.

4. Tartışma ve Sonuç

(1) modeline benzer lineer modeller için parametrelerin tahmini ve birçok hipotezin testi, parametre vektörü üzerine lineer kısıtlamalar koyarak da yapılır. Bu tahmin Lagrange çarpanları yöntemi ile yapıldığı gibi farklı yöntemlerle de yapılabilir. Bu çalışmada, KEKK tahminini matrislerin Moore-Penrose g-tersini kullanarak yaptık. Bu çalışmada tartışılan konular, bu konuda çalışan araştırmacılara biraz da olsa katkıda bulunacaktır.

Kaynakça

- [1] Golayoğlu, A. 2015. En Küçük Kareler Yöntemi. <http://www.kocaelimakine.com/wp-content/uploads/2013/04/en-kucuk-kareler-yontemi-afet-golayoglu.pdf> (Erişim Tarihi: 19.12.2019).
- [2] Jabiyev, F., Tunçsiper, B., Karabulut, K. 2019. Mundell-Fleming Modeli Kapsamındaki Trilemma Hipotezinin Test Edilmesi: Azerbaycan Örneği. Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 23, 2073-2088.
- [3] Reid, F. 2000. The Mathematician on the Banknote: Carl Friedrich Gauss. Parabola, 36(2), 2-9.
- [4] Faraway, J. J. 2014. Linear Models with R. 2nd edition. Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science. 286s.
- [5] Neter, J., Kutner, M., Wasserman, W. 1996. Applied Linear Regression Models. 4th edition. McGraw Hill/Irwin Series: Operations and Decision Sciences. 1408s.
- [6] Fox, J. 2002. Applied Regression Analysis: Linear Models and Related Methods. 1st edition. Sage Publications, Inc. 328s.
- [7] Birkes, D., Dodge, Y. 1993. Alternative Methods of Regression. 1st edition. John Wiley & Sons. 240s.
- [8] Wilcox, R. R. 1997. Introduction to Robust Estimation and Hypothesis Testing. 3rd edition. Academic Press. 608s.
- [9] Graybill, F. A. 1969. Introduction to Matrices with Applications in Statistics. 1st edition. Wadsworth Publishing. 372s.
- [10] Casella, G., Berger, R. L. 2001. Statistical Inference. 2nd edition. Cengage Learning. 660s.
- [11] Larson, R., Farber, B. 2014. Elementary Statistics: Picturing the World. 6th edition. Pearson. 704s.
- [12] Van de Geer, S. A. 2005. Least Squares Estimation. Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science, 2, 1041-1045.
- [13] Miller, S. J. 2006. The Method of Least Squares. Mathematics Department Brown University, Providence: Brown University, 1-7.
- [14] Barratt, S. T., Boyd, S. P. 2020. Least Squares Auto-Tuning. Engineering Optimization, 53(5), 789-810.

- [15] Landreman, M., Zhu, C. 2021. Calculation of Permanent Magnet Arrangements for Stellarators: A Linear Least-Squares Method. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 63 (3), 035001.
- [16] Fan, Q., Jia, C., Liu, J., Luo, Y. 2021. Robust Recovery in 1-bit Compressive Sensing via ℓ_q -Constrained Least Squares. *Signal Processing*, 23, 2073-2088.
- [17] Liu, Q., Chen, C., Zhang, Q. 2021. Perturbation analysis for total least squares problems with linear equality constraint. *Applied Numerical Mathematics*, 161, 69-81.
- [18] Nikazad, T., Karimpour, M. 2021. Column-Oriented Algebraic Iterative Methods for Nonnegative Constrained Least Squares Problems. *Numerical Algorithms*, 86, 1265–1284.
- [19] Zhang, F., Wei, M., Li, Y., Zhao, J. 2020. An efficient real representation method for least squares problem of the quaternion constrained matrix equation $AXB + CYD = E$. *International Journal of Computer Mathematics*, 98(7), 1408-1419.
- [20] Khan, A., Sama, M. 2021. Stability analysis of conically perturbed linearly constrained least-squares problems by optimizing the regularized trajectories. *Optimization Letters*, 15, 2127–2145.
- [21] Zhou, Z., Rui, Y., Cai, X., Lu, J. 2021. Constrained total least squares method using TDOA measurements for jointly estimating acoustic emission source and wave velocity. *Measurement*, 182, 109758.
- [22] Lakshmi, K., Mahaboob, B., Rajaiah, M., Narayana, C. 2021. Ordinary Least Squares Estimation of Parameters of Linear Model. *Journal of Mathematical and Computational Science*, 11(2), 2015-2030.
- [23] Bapat, R. P. 2000. *Linear Algebra and Linear Models*. 2nd edition. Springer. 148s.
- [24] Moore, D., McCabe, G. 1998. *Introduction to the Practice of Statistics*. 3rd edition. W.H. Freeman and Company, 825s.
- [25] Monahan, J. F. 2008. *A Primer on Linear Models*. 1st edition. Chapman and Hall/CRC. 304s.
- [26] Rencher, A. C., Schaalje, G. B. 2008. *Linear Models in Statistics*. 2nd edition. John Wiley & Sons, 688s.
- [27] Yalçın, F. B. 2018. Korelasyon Katsayısının Farklı Geometrik Yorumları, İstatistikte Lineer Modellerin Geometrisi, Lineer Modellerde Lineer Kısıtlamalar Altında Parametre Tahminleri ve Hipotez Testi. Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 195s, Ordu.
- [28] Krottnerus, P. 2016. On New Variance Approximations for Linear Models with Inequality Constraints. *Statica Neerlandica*, 70, 26-46.
- [29] Baksalary, J. K., Pordzik, P. R. 1990. Imposing Observation Varying Equality Constraints Using Generalised Restricted Least Squares. *Linear Algebra and Its Applications*, 127, 371-378.
- [30] Doran, H. E., O'Donnell C. J., Rambaldi, A. N. 2003. A Note on Comparing the Unrestricted and Least Squares Estimators. *ISSN 1446-5523*: 323.
- [31] Mead, J. L. 2010. Least Squares Problems with Inequality Constraints as Quadratic Constraints. *Linear Algebra and Its Applications*, 432, 1936-1949.
- [32] Zhdanov, A. I., Gogoleva, S. Y. 2015. Solving Least Squares Problems with Equality Constraints Based on Augmented Regularized Normal Equations. *Applied Mathematics E-Notes*, 15, 218-224.
- [33] Akdeniz, F., Öztürk, F. 1996. *Lineer Modeller*. 38, A.Ü.F.F. Döner Sermaye İşletmesi Yayınları. 250s.
- [34] Campbell, S. L., Meyer, C. D. 1979. *Generalized Inverses of Linear Transformations*. 1st edition. Pitman, London. 184s.
- [35] Chow, G. C. 1960. Tests of Equality Between Subsets of Coefficients in Two Linear Regressions: An Expository Note. *Econometrica*, 28, 591-605.
- [36] Fisher, F. M. 1970. Tests of Equality Between Sets of Coefficients in Two Linear Regressions: An Expository Note. *Econometrica*, 38(2), 361-366.

Impacts of Syrian Construction Workers on the Turkish AEC Industry

Abdullah Selim Taflı¹, Savaş Bayram²

¹ Graduate School of Natural and Applied Sciences, Gazi University, Ankara, Turkey.

² Dept. of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey.

(Alınış / Received: 27.09.2021, Kabul / Accepted: 16.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Keywords

Syrian revolution,
Refugees,
Kayseri,
AEC industry,
Labor force

Abstract: Since the beginning of the Syrian Revolution, over 600 thousand people killed across Syria. The civil war in Syria caused Turkey to be the largest refugee-hosting country worldwide and approximately 4 million Syrians immigrated to Turkey. The integration and employment of the Syrian refugees in Turkey require further research. The role of the architecture, engineering, & construction (AEC) industry in the Turkish economy is vital. In this context, this study investigates the impact of Syrian workers on the Turkish AEC industry, especially for the province of Kayseri; under three different perspectives as Syrian workers, Turkish workers, and Turkish employers. The topics of the research consist of; (i) causes of migration & future plans, (ii) contributions, (iii) working conditions, and (iv) cheap labor. The findings reveal that on many issues, there are conflicts between Syrian workers and Turkish workers/employers.

Suriyeli İnşaat İşçilerinin Türk İnşaat Sektörüne Etkileri

Anahtar Kelimeler

Suriye devrimi,
Mülteciler,
Kayseri,
İnşaat sektörü,
İşgücü

Öz: Suriye devriminin başlangıcından bu yana, Suriye genelinde 600 binden fazla insan hayatını kaybetmiştir. Suriye'deki iç savaş, Türkiye'nin dünyanın en fazla mülteci barındıran ülkesi olmasına neden olmuş ve yaklaşık 4 milyon Suriyeli Türkiye'ye göç etmiştir. Suriyeli mültecilerin Türkiye'ye entegrasyonu ve istihdamı daha fazla araştırma gerektirmektedir. İnşaat sektörünün Türk ekonomisindeki rolü hayati önem taşımaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma Suriyeli işçilerin Türk inşaat sektörü üzerindeki etkilerini, Kayseri ili özelinde; Suriyeli işçiler, Türk işçiler ve Türk işverenler olmak üzere üç farklı perspektifte incelemektedir. Araştırmanın temel konu başlıkları; (i) göçün nedenleri ve gelecek planları, (ii) katkılar, (iii) çalışma koşulları ve (iv) ucuz işgücü, şeklindedir. Bulgular, birçok konuda Suriyeli işçiler ile Türk işçiler/işverenler arasında görüş ayrılıklarının olduğunu ortaya koymaktadır.

* Corresponding Author, e-mail: sbayram@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Global change is an interaction between countries that have been going on for centuries. The Middle East is the most affected region by this change. There are many reasons for the emergence of the Arab Spring, which started in 2010. The reasons can be listed as historical, social, and psychological, administrative, political, economic, and other [1]. After March 2011 the civil war spread to Syria, according to the data of the 'Syrian Human Rights Observatory' (SOHR), as of June 2021, it is estimated that over 606,000 people killed across Syria since the beginning of the Syrian Revolution, including 495,000 documented [2]. Besides, 92% of the refugees emigrated to Lebanon, Jordan, and Turkey; this is the largest migration movement in recent history. The civil war in Syria caused Turkey to follow an "open door" policy and become the largest refugee-hosting country [3]. Approximately 4

million Syrians have immigrated to Turkey [4]. As of June 2021, the Turkish Directorate General of Migration Management (Göç İdaresi Genel Müdürlüğü, TDGMM) announced that of 3,684,412 persons, 54% were men and 46% were women [5]. It is estimated that this number is even higher when unofficial entrances are considered. As the number of Syrian refugees increased, some precautions were taken by the Turkish authorities to control the arrival of members of certain “dangerous” ethnic, ideological, and religious groups and to limit the number of entries [6]. The provincial breakdown of Syrian refugees in Turkey, according to the data of ‘The Office of the United Nations High Commissioner for Refugees’ (UNHCR) as of May 2021 is presented in Figure 1.

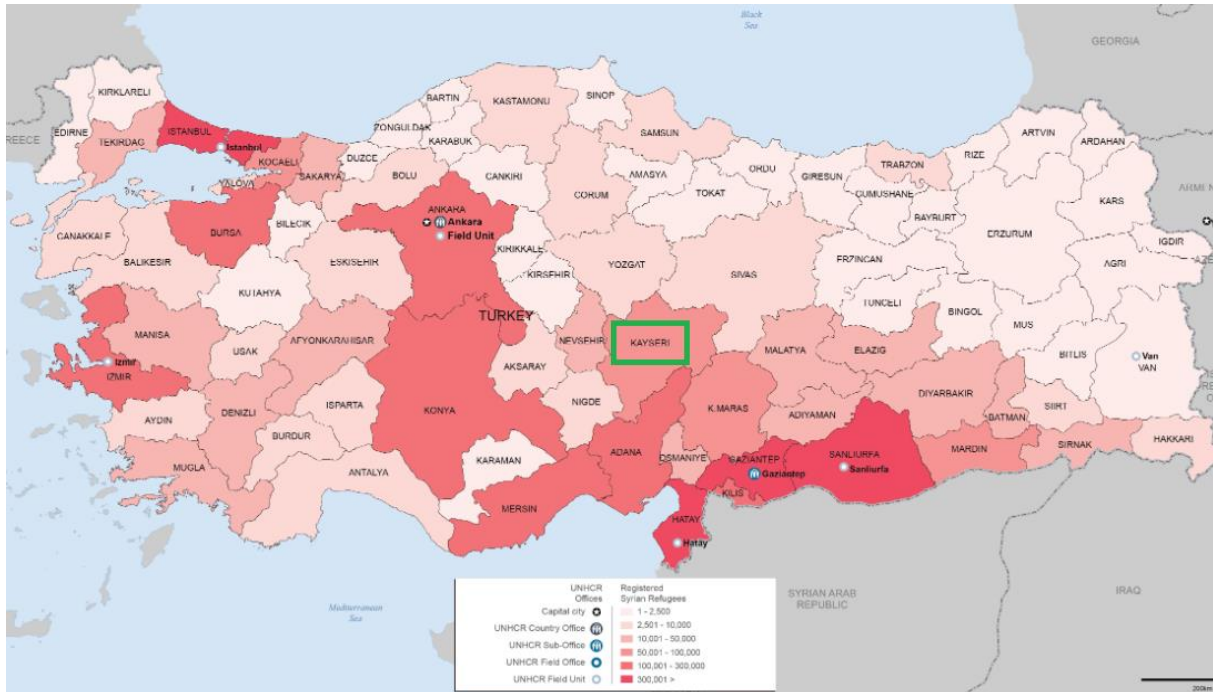


Figure 1. The provincial breakdown of Syrian refugees in Turkey [7]

Following the Syrian refugee influx in Turkey, the aspect of civil society in integration and employment requires further clarification and legislation [8, 9]. In this context, refugees in Turkey have been able to obtain a work permit by applying through their employers since 2016 [10]. Namely, the Ministry of Labor and Social Security (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı) issued “Regulation on Work Permits of Foreigners under Temporary Protection” in January 2016 to further clarify and facilitate the access of Syrians to the job market under certain conditions [8]. Subsequently, a further work permit regulation was passed specifically for international protection applicants and conditional refugee status holders in April 2016 [11].

The population of Kayseri province is 1,421,455 according to the data of 2021, with 5.70% of this population registered as Syrians under temporary protection. In other words, six out of every 100 people living in Kayseri are Syrians [5]. On the other hand, the number of registered Syrians under temporary protection to the Turkish population is 4.39% across the country [5]. Based on the interviews with the provincial immigration administration, primary care providers, non-governmental organizations and Syrian refugees in the sample of Kayseri province, Sarigül et al (2019) concluded that all participants, including Syrian refugees, see the general situation and living conditions of Syrian refugees in Kayseri as good [12]. However, their main problems were determined as; lack of communication, education, financial inadequacies, and adaptation problems.

The architecture, engineering, & construction (AEC) industry in the Turkish economy is defined as the 'locomotive sector' in terms of the numerous sub-sectors and as the 'sponge sector' in terms of employment. According to the data of the International Labour Organization (ILO), 13.2% of the Syrian refugees work in the Turkish AEC industry [10]. However, the Turkish Social Security Institution (Sosyal Güvenlik Kurumu, SGK) indicated that unregistered employment in the Turkish AEC industry reached 37.74% as of 2019. The AEC industry is also vital in Kayseri, which is one of the most significant industrial centres of Central Anatolia, and therefore requires a large labor force. The labor force is partially met with Syrian workers. They provide cheap and unqualified labor, are thought to benefit the economy of Kayseri; however, there is a debate on whether they actually negatively affect the industry. For this reason, although the research was conducted on the scale of Kayseri province, it is thought that the results may represent the Turkish AEC industry since the Syrian population rate in Kayseri is close to the average of Turkey.

Based on the aforementioned theoretical framework, the research question of this study was to determine the contributions of Syrian construction workers to the Turkish AEC industry. The purpose of this study was to investigate the impact of the Syrians on a more specific AEC industry, where unskilled labor is important; rather than general studies on Syrian refugees. The survey research was conducted from three different perspectives as Syrian workers, Turkish workers, and Turkish employers. The main topics of the research consist of; (i) *causes of migration & future plans*, (ii) *contributions*, (iii) *working conditions*, and (iv) *cheap labor*.

Numerous studies discuss various refugee and immigrant problems worldwide and handle Syrian refugees. However, since the majority of the Syrian refugees emigrated to Jordan, Lebanon, and Turkey as mentioned, the literature review of this study was mainly focused on these countries.

Kattaa and Byrne (2018) stated that Syrians may obtain a work permit through the General Federation of Jordanian Trade Unions (GFJTU) to work in the Jordanian AEC industry [13]. However, only 20% of interviewed Syrian workers had work permits covered by social security; and only 8% reported that their working conditions, as well as work permits, were checked during labor inspections. Lenner and Turner (2019) stated that Syrians in Jordan primarily work in construction, wholesale, retail and repair trades, agriculture, and manufacturing [14]. It was emphasized that the rent alone easily can exceed the meagre salary, which is much less than in the AEC industry. It was concluded that the Jordanian economy could not offer Syrians a self-sufficient life.

Kobaissy (2016) stated that the work areas of the Syrians in Lebanon were limited to three sectors like agriculture, cleaning, and construction [15]. However, the growing number of Syrian workers caused the protection of the Lebanese workers. In 2015, the Lebanese government imposed visa requirements on Syrians, which limited the Syrian migration. Corstange (2019) claimed that the study of Syrian public opinion is in its infancy, and presented initial survey evidence from a large sample of displaced Syrians in Lebanon [16]. Betts et al (2020) on the other hand assessed the role of municipal authorities and mayors in Turkey and Lebanon [17].

Syrian refugees living in Turkey have been the subject of research in developed countries. For instance, Akgündüz et al (2015) from the Netherlands analysed the effect of the Syrian refugee influx in Turkey on the employment rates [18]. They concluded that the employment rates of natives in various skill groups are largely unaffected. Del Carpio and Wagner (2015) from the USA stated that the inflow of refugees to Turkey created higher-wage formal jobs, allowing for occupational upgrading of Turkish workers and the wages increased [19]. Baban et al (2017) from Canada stated that Syrian refugees in Turkey are 'neither guests nor refugees' due to identity, social, and legal issues [20]. Tören (2018) from Germany claimed that Syrian refugees in Turkey are in a difficult process due to living conditions, discrimination, bureaucracy, and language barriers [21].

Turkey-originated studies related to Syrian refugees started in 2011, the year immigration started. These studies have generally been carried out in various provinces in four different dimensions as sociological, economic, political, and labor market. Apak (2014) stated that Syrian refugees do not have adaptation problems of living in the Mardin province, however, their expectations are not fully met and their homeland is indispensable for them [22]. Özkarslı (2014) concluded that in the Mardin province, 65% of the Syrian refugees' primary reason to immigrate to Turkey is to work and only 4% stated "trade" purposes [23]. Navruz (2015) emphasized the low level of social acceptance of Syrian refugees in the Konya region by the local people and revealed that social acceptance differs according to demographic and socioeconomic variables [24]. Assida (2016) concluded that refugees in the Samsun province were working below the minimum wage compared to the local population, nevertheless, rental prices have increased, and social peace has deteriorated [25]. Cengiz and Tekgüç (2017) stated that there is no adverse employment or wage effects for native-born Turkish workers overall or for those without a high school degree due to the Syrian influx [26]. Yılmaz (2017) concluded that the possible return of the Syrian refugees had gradually decreased and that the Syrian population increased the economic and societal problems in the southern border provinces of Turkey [27]. Aksu (2017) concluded that Syrian refugees had taken the place of locals and that this is why the unofficial job losses for Turkish workers were increasing [28]. Mıznaşı (2018) found that Syrian refugees negatively affected the gross domestic product (GDP), increased the unemployment rate, and that there is not enough data on the unregistered employment of Syrian refugees [29]. Parlak Biçer et al (2018) pointed out problems faced by Syrian construction workers working in Kayseri province and emphasized that some legal sanctions should be imposed on Syrian workers and Turkish employers [30]. Çınar (2018) concluded that the competition among workers in the construction labor market in Diyarbakır has become higher with Syrian immigration, and the bargaining power of local workers has decreased [31]. Kale and Erdoğan (2019) performed interviews and surveys in Istanbul and purposed emphasizing the critical role of local authorities and municipalities in refugee-hosting situations and integration processes [32]. They concluded that, unlike many Western countries, a comprehensive refugee settlement and integration policy at the state level does not exist in Turkey.

The literature review indicates that the Syrian refugees in Turkey have been investigated in various sectors. However, hosting millions of Syrian refugees, detailed and specific fieldwork in terms of the AEC industry has not yet been performed in Turkey. The Syrian refugee issue is much more important for the AEC industry, which requires an unskilled workforce, and should be deeply investigated. The current study offers a wider perspective, as it is dealt with from the perspective of Syrian workers, Turkish workers, and Turkish employers rather than a single perspective.

2. Material and Method

In this study, in order to examine the social, economic, and welfare levels of Syrian workers working in the Turkish AEC industry in Kayseri province, and to investigate the contributions of these workers to the industry, the "screening model" of qualitative models was used. The screening model is preferred to describe the structure of objects, societies, institutions, and the functioning of events [33]. In order to explain a random phenomenon, information about the phenomenon is required. For this reason, survey research is based on information obtained from a large amount of data [34]. As a data collection tool, different branches of the AEC industry, in which Syrian workers are efficient, were evaluated in terms of their demographic characteristics and the survey has been prepared. Similar survey questions were directed to Turkish civil engineers, architects, subcontractors, and workers working in the AEC industry in Kayseri, and their validity and reliability were analysed by taking expert opinions. The survey study was conducted between February and May 2019. The data has been obtained from the study conducted as a face-to-face interview and has been analysed statistically. According to the result of the analysis, the impacts of Syrian workers working in the AEC industry in Kayseri province were determined and solutions were suggested.

The survey study carried out consists of 3 sections and 55 questions. The first section consists of 11 questions aimed at determining the demographic characteristics of the participants, the second section consists of 23 questions for Syrian workers to respond to, and the third section consists of 21 questions for Turkish workers and employers to respond. While 51% (45 people) of the total 88 construction workers participating in the survey were Turkish citizens, 49% (43 people) were Syrian citizens. All of the 45 employers (100%) participating in the survey were Turkish citizens. No Syrian employer or subcontractor was found. All (100%) of Turkish and Syrian workers participating in the survey were men. No female construction worker was found. However, 96% (43 people) of Turkish employers were men and 4% (2 people) were women. The age distributions of the respondents are presented in Figure 2; in which *TW*: Turkish workers, *SW*: Syrian workers, and *TE*: Turkish employers.



Figure 2. Age distributions of the respondents

Almost half of the Turkish workers (44%), a minority of Syrian workers (12%), and more than half of Turkish employers (53%) are 39 years old and above. 69% of Turkish workers, 89% of Syrian workers, and 87% of Turkish employers are married. Besides, 43% of Turkish workers, 63% of Syrian workers, and 48% of Turkish employers have three or more children. At an educational level; 33% of Turkish workers, 37% of Syrian workers, and 18% of Turkish employers were graduated from primary school. More than half (51%) of Turkish employers are graduated from a higher education; and consist of 13% architects, 24% civil engineers, 33% subcontractors, and 30% other professionals (mechanical engineer, electrical engineer, construction technician, tradesman). The occupational experiences of the participants are presented in Figure 3.

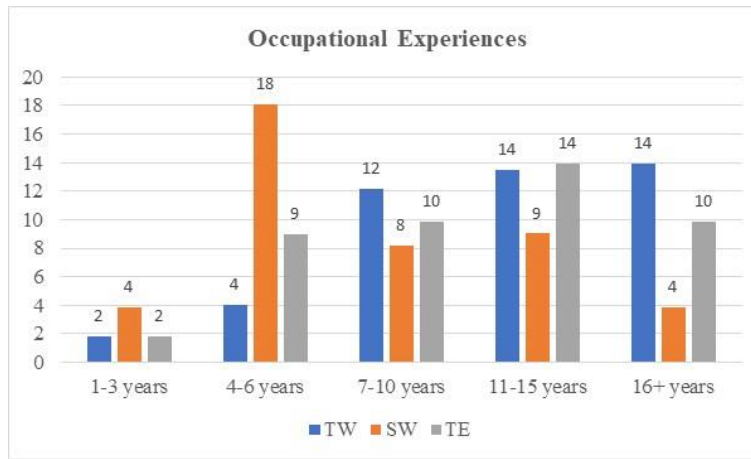


Figure 3. Occupational experiences of the respondents

In terms of experience; 62% of Turkish workers, 30% of Syrian workers, and 53% of Turkish employers have more than 10 years of occupational experience. The Syrians began to migrate to Turkey in the year 2011; up to 6 years of experience with 51% of the total of Syrian workers can be interpreted as they began to work in the AEC industry after they migrated to Turkey. In addition, the monthly income of 40% of Turkish workers, 76% of Syrian workers, and 11% of Turkish employers are at or below the minimum wage. The monthly minimum wage in Turkey was 2,020.00 Turkish Lira (TL) when the survey was conducted (between February and May 2019), which corresponds to approximately 318 euros in the average 2019 year exchange rate. Besides, while 9% of Syrian workers cannot speak or understand Turkish and communicate via translator, 24% stated that they know very little Turkish, 53% know moderate Turkish and 14% stated that they know Turkish well. No Syrian was encountered, who declared that he knew Turkish very well. 54% of the Syrian workers stated that their relatives are in Kayseri as the reason to migrate to Kayseri, 26% said they have job opportunities, 11% came by chance, 7% because the city is conservative, and 2% declared that they came for other reasons.

In the second and third sections of the survey, 23 questions were asked to the Syrian respondents while 21 questions were asked to the Turkish respondents. Fifteen of these questions are common to both sides, while the other questions are independent. The five-point Likert scale was used to reveal the perspectives of the respondents. The commonly used five-point scale measures different response levels in the range of $1 = poor$ and $5 = excellent$. The ranges in this study were categorized as; strongly disagree (1.00-1.80), disagree (1.81-2.60), indecisive (2.61-3.40), agree (3.41-4.20), and strongly agree (4.21-5.00), [35].

Reliability analysis was conducted in order to understand the consistency of the data obtained within the scope of the survey. One of the most common methods of calculating reliability, the Cronbach's alpha (α) constant has a value in the range 0-1, close to 1 indicating a high degree of reliability [36]. The α is calculated as follows;

$$\alpha = \left(\frac{k}{k-1} \right) \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{y_i}^2}{\sigma_x^2} \right) \quad (1)$$

Here; k : number of items (number of questions prepared with Likert scale), $\sigma_{y_i}^2$: variance of the i . item in the total sample, σ_x^2 : the variance of the total test score. The average α value for the fifteen common questions to both sides (second and third sections) of this study was calculated as 0.82. Measurements with α value of 0.70 and above are considered reliable [37]. Therefore, the scale can be defined as reliable. The obtained results of the second and third sections of the survey were combined with the following section to verify the findings and elaborate further.

3. Results

One of the biggest difficulties experienced during the research is that employers of the Syrian workers were reluctant to allow surveys of Syrian workers and when allowed, insisted on asking for the answers given by Syrians during the survey. Another challenge is the timid attitudes of Syrian workers, who think that they will be reported, especially those who are illegal. Another difficulty is the timid attitudes of Turkish employers towards the survey study, fear of being complained about, and being asked to know how many Syrian workers they employ in their organization. Ensuring the participation of Turkish workers in the survey was the easiest link of the study,

however, the necessity of conducting the survey during working hours brought the perception that it was a waste of time. The most debated issues following the immigration of the Syrians to Turkey are divided into four groups; *causes of migration & future plans, contributions, working conditions, and cheap labor.*

3.1. Causes of Migration & Future Plans

Three main causes for Syrians to immigrate to Turkey were civil war, commercial purposes, and unemployment. 95% of Syrian workers, 62% of Turkish workers, and 64% of Turkish employers agree/strongly agree with the civil war. No significant difference was observed between the perspectives of Turkish workers and employers. 40% of Syrian workers, 42% of Turkish workers, and 26% of Turkish employers agree/strongly agree with the commercial purposes. At this point, the perspectives of Syrian and Turkish workers are similar, and Turkish employers tend not to agree with the commercial purposes. 54% of Syrian workers, 33% of Turkish workers, and 38% of Turkish employers agree/strongly agree with unemployment. The Syrian workers associate their reason for migration with unemployment; however, the Turkish workers and employers tend not to agree with the unemployment. As a result, the most significant reason for the migration of Syrian workers to Turkey was seen as the civil war in Syria, from three perspectives. While there can be a consensus on the main reason, Turkish workers' putting the commercial purpose before unemployment can be interpreted as they have job concerns because of the Syrians. According to Özkarslı (2014), Syrians living in Mardin (south-eastern Anatolian region) stated their reasons for migrating as unemployment (65%) and commercial purposes (4%), [23]. This difference shows that the priorities of Syrians may have changed in the past five years.

Apart from the three main questions related to the causes of migration, more than half of the Syrian workers stated that their relatives are in Kayseri as the reason for moving to Kayseri. The other reasons were the availability of job opportunities, being chosen by chance, and the city being conservative. This result shows that sociologically, Syrians have created their own neighbourhoods in Kayseri, do not get homesick, and even start to feel like Kayseri is their hometown. The result obtained is similar to Apak (2014), [22], who concluded that Syrian refugees do not experience adaptation problems related to life in the province of Mardin. However, it contradicts the conclusion that their homeland is indispensable for them. The findings related to the issue of adaptation problems are also contradict with Sarıgül et al (2019), [12].

Regarding Syrian workers' plans to return to Syria from Kayseri; 35% of Syrian workers, 29% of Turkish workers, and 31% of Turkish employers agree/strongly agree. It can be stated that two-thirds of the Syrians do not intend to return to the mainland. Moreover, Turks are more pessimistic about the return of Syrians to the mainland. The result indicates that the level of social acceptance of refugees by Turks is low, as Navruz (2015) [24] indicated for Konya (central Anatolian region). As Yılmaz (2017) [27] stated, Syrians are less likely to return home and in this scenario, social cohesion efforts should begin immediately. Moreover, three-quarters of the Syrians are planning to continue living in Kayseri and do not tend to change cities in Turkey. Although this finding indicates that Syrians do not experience adaptation problems, as of July 2019, efforts to move Syrians from metropolitan cities (such as Istanbul and Ankara) to the cities where they are registered, will create dissatisfaction for both Syrians and Turks. At this point, it may be a more objective approach to refer to provinces where the Syrian settlement rate is less than those with a higher rate by determining a standard rate (e.g. 5% of the population) for all cities.

3.2. Contributions

Whether it is a necessity to work in the AEC industry; 79% of Syrian workers, 65% of Turkish workers, and 60% of Turkish employers stated that they agree/strongly agree with the necessity. There is a general dissatisfaction in the AEC industry and Syrians seem more dissatisfied than the Turks do. Regarding the level of satisfaction with the job opportunity in Kayseri; 77% of Syrian workers, 42% of Turkish workers, and 34% of Turkish employers stated that they agree/strongly agree. Although three-quarters of the Syrian workers are satisfied with the job opportunity in Kayseri, Turkish workers have two extreme opinions on this issue. It is interesting that Turkish employers are more pessimistic than Turkish workers are since only one-third of Turkish employers are satisfied with job opportunities in Kayseri. The findings contradict Akgündüz et al (2015) [18], who claimed that the employment rates of natives are largely unaffected in Turkey. Therefore, what changes from 2015 to 2019? Economic fluctuations started in the second half of 2018 in Turkey and caused higher construction costs, which is thought to be the reason for the finding. Despite the positive attitude of Syrian workers, all three professions stated that they reluctantly work in the AEC industry. The general dissatisfaction at this point can also be attributed to reasons such as the heavy working conditions at construction worksites, absence of worker attrition, and the reflection of economic problems on wages. The inference is similar with Çınar (2018) [31], that the competition among workers in the construction labor market has become higher.

Regarding the contribution of Syrian workers to the AEC industry in Kayseri; 72% of Syrian workers, 32% of Turkish workers, and 37% of Turkish employers stated that they agree/strongly agree. While seven out of every 10 Syrian workers think that they contribute to the AEC industry in Kayseri, Turkish workers and employers are much more pessimistic in terms of the sectoral contribution of Syrians with similar rates. In addition, almost half of the Syrian workers (42%) agree/strongly agree with the self-criticism that they negatively affect the employment of Turkish workers. Turkish workers are more rigid in this regard (78%), while Turkish employers are relatively positive (69%). The authors opined that unregistered Syrian workers have a big share in this difference; the problem is there is not enough data on the unregistered employment of Syrian refugees as Mıznaşı (2018) [29] stated. However, it can be emphasized that Turkish employers intend to work with Syrian workers due to some kind of financial reasons.

More than half of Syrian construction workers (58%) have worked in different jobs in Syria and have learned their current profession in Turkey. In the AEC industry, where experience is of great importance, this situation causes discontent among Turkish employees, who have been in the industry for many years. This is because about half of the Turkish workers and employers opined that Syrian workers do not do quality work, do not work honestly, and are preferred because of cheap labor and their own work capacities are negatively affected. This situation poses a major problem for the Turkish housing sector, which is currently experiencing quality production problems due to the lack of intermediate technical staff. Moreover, almost none of the Syrian workers do their own job and work with an employer, and 93% of them stated that they work for a subcontractor.

3.3. Working Conditions

Construction sites require teamwork. Working together in harmony in the workplace is, therefore, a significant parameter. Regarding the working harmony with each other; 86% of Syrian workers, 42% of Turkish workers, and 49% of Turkish employers agree/strongly agree. Syrians are much more optimistic than Turkish workers are and Turkish employers appear to be more optimistic than Turkish workers are. The Syrians positive attitude of harmonious work is remarkable. However, the roles for 'obligation to work together' are changing. Regarding the obligation of working together; 61% of Syrian workers, 35% of Turkish workers, and 33% of Turkish employers agree/strongly agree. While Syrian workers have a negative and rigid view, Turkish workers and employers have a more positive attitude towards this issue. For this reason, it can be stated that Syrian workers view work-life more professionally than Turkish workers do. Another possibility may be an overly optimistic bias psychologically due to their refugee situation.

Regarding the effective communication issue; 9% of Syrian workers, 49% of Turkish workers, and 62% of Turkish employers agree/strongly agree that Syrian workers often have to use body language to communicate. On the point of effective communication, it can be stated that Turkish workers have more problems than Syrian workers do, while Turkish employers are more affected than Turkish workers are. The findings related to the issue of lack of communication are similar to Sarıgül et al (2019), [12].

On the occupational health and safety (OHS) awareness of Syrian workers; 33% of Syrian workers, 23% of Turkish workers, and 18% of Turkish employers agree/strongly agree that Syrian workers are paying attention to the OHS rules. Both Syrian and Turkish workers stated that generally, the Syrian workers do not abide by OHS rules. It was observed that Turkish employers are more pessimistic than Turkish workers are. Turkey ranks third in the globe following El Salvador and Algeria; first in Europe in terms of occupational accidents [38]. The fact that the AEC industry is ranked first in terms of fatal work accidents in Turkey and contains great risk in terms of the OHS. Therefore, new regulations are urgently required within the scope of OHS, where serious legal improvements have been made recently. The findings are similar to Parlak Biçer et al (2018) [30], emphasizing that some legal sanctions should be imposed on construction workers and employers as soon as possible. On the other hand, the fact that employers are not subject to legal sanctions in the event that workers without social security have an occupational accident is another problem. Four of five Syrian workers do not have social security and they do not need it. For this reason, it is essential to increase and systematize labor inspections in the Turkish AEC industry.

3.4. Cheap Labor

The Turkish employees/workers, who have lost their jobs in recent years, believe that they "lost their jobs due to Syrians". It is thought that there is unfair competition between enterprises employing informal workers and those employing registered workers and this inequality will damage work peace over time. It was stated by the employers that the local people do not want to work in factories, there is a qualified personnel and labor force deficit, and this gap has been closed with the arrival of refugees [39]. The rights of refugees allow them to apply for a work permit in Turkey but the number of refugees who get them is unsatisfactory. Therefore, refugees and immigrants are mostly involved in informal labor markets. The exploitation of labor is at its greatest in this

manner. For example, if a refugee working in a job cannot receive the money he/she earned, it is not possible to make a formal complaint.

As the reason for Syrian workers to move to Kayseri; 21% of Syrian workers, 31% of Turkish workers, and 25% of Turkish employers agree/strongly agree with Kayseri having affordable prices. The fact that the city is cheap, is not the reason for Syrians to live in Kayseri, is the prevailing opinion on both sides. Regarding the fact that Syrian workers generally work in regular paid jobs; 76% of Syrian workers, 34% of Turkish workers, and 43% of Turkish employers agree/strongly agree. There is a difference of opinion between Turkish and Syrian workers on this issue because while Syrian workers point that they work in regular jobs, however, Turkish workers and employers opined that Syrian workers do not work in regular jobs. Regarding the adequacy of their earnings; 49% of Syrian workers, 52% of Turkish workers, and 60% of Turkish employers agree/strongly agree. It can be mentioned that Syrian workers and Turkish workers share similar thoughts, while Turkish employers are more optimistic.

The monthly income of 40% of Turkish workers and 76% of Syrian workers are at or below the minimum wage (2,020 TL, approximately 357 Euros in the average 2019-year exchange rate). Despite this, approximately half of the Syrian and Turkish workers think that their earnings are sufficient. This finding contradicts the studies by Sarigül et al (2019) [12] and Tören (2018) [21], who claim financial inadequacies for Syrian refugees. No Syrian workers earn more than 3,000 TL per month and one of 5 Turkish workers earn over 3,000 TL, it can be interpreted that Syrian workers have reduced the market value of the workforce in the AEC industry and Turkish workers are negatively affected by this situation. These findings also contradict with Cengiz and Tekgüç (2017) [26] as well as Akgündüz et al (2015) [18] and Del Carpio and Wagner (2015) [19], who concluded that no negative impact of Syrian refugees on the native workforce. The main reason for this situation is considered to be unregistered employment. The findings on the other hand are similar to those by Assida (2016) [25], who stated that in Samsun (Black Sea region), local people have experienced decreases in income levels. The findings are also similar to Aksu (2017) [28], who claimed unofficial job losses for Turkish workers.

Nevertheless, it is necessary to emphasize the age and work experience of the sample. Turkish workers, who are 39 years or older, make up 44% of Turkish workers but this rate is only 9% for Syrian workers. Although Turkish workers have higher age and more work experience than Syrian workers do, they share the same satisfaction with younger Syrians in terms of earnings sufficiency. Despite this, the fact that 'Kayseri city is cheap' cannot be the reason for Syrians to live in Kayseri, is the dominant opinion by both sides. In addition, 43% of Turkish workers and 38% of employers opined that the wages of Syrian workers are insufficient in Kayseri conditions. This situation can be associated with the high population of Syrian families; a few members of each family actively work. Therefore, they can sustain their livelihood, even if the money earned individually is small. The social assistance of the Turkish Government is also effective in this hypothesis. Please note that the rate of marriage and the number of children among Syrian workers is much higher than for Turkish workers.

4. Discussion and Conclusion

In this study, the impacts of Syrian construction workers on the Turkish AEC industry were investigated under three different perspectives as Syrian workers, Turkish workers, and Turkish employers. Within the scope of the findings obtained from the study and discussed in the previous section, the following conclusions were reached.

- Due to the possessive attitude of the Turkish Government in providing social assistance, covering health costs, etc., the Syrian construction workers seem satisfied with their lives and wages in Turkey. The Syrian refugees initially lived in container towns close to the border, and later emigrated to the provinces of Turkey. For this reason, Turkish workers and employers criticize Syrians for taking advantage of Turkey's unconditional opening of border crossings. Thus, the view that the Syrian refugees' migration reason is civil war, as it was in the beginning, weakens. This situation also increases tension between the sides. For this reason, plans should be made for Syrians under temporary protection to be sent to conflict-free areas in their home countries because temporary protected status in Turkey is a status that obliges them to return to their homeland when conditions improve.
- Syrian workers create a negative impact on the AEC industry in Kayseri on the point of employment. Turkish workers suffer from insufficient wages/job opportunities dwindled. Especially with the economic recession that began in the second half of 2018, the situation was even more difficult. The future return of Syrians to their countries creates a great expectation in terms of the construction market and employment of workers. However, if Turkey does not make a political decision on the Syrians, they intend to live in Turkey. Syrians working for low wages have started to raise capital and when they start working as employers/subcontractors in the future, there is no concern for creating employment for Turkish citizens. Apart from the fact that Syrians remain permanently, they do not have the idea of being beneficial

to the city or the region, and there is the possibility that it may cause sociological deterioration. As of the end of 2019, approximately 110 thousand Syrians have been accepted as Turkish citizens.

- Although it is thought that Syrian construction workers have contributed positively to the industry on the point of filling gaps and due to cheap labor, it is likely to face negative effects in the long term. It has been observed that Turkish construction workers and employers have serious concerns about the loyalty and ambition of Syrian workers. In this respect, it is wrong for Syrians to be preferred in every sub-sector of the AEC industry for the reason they provide cheap labor. No clear data on the unregistered employment of Syrians on a sectoral basis could be reached.
- The market value of Syrian workers is increasing. Especially, the Turkish workers' refusal to choose heavy work in the AEC industry has caused Syrians to be assigned to such places in order to close these gaps. Syrian youth fill this dynamic labor shortage. As Syrians noticed the difficulty of employing Turkish workers in such heavy jobs, they tend to demand an increase in their salaries and some refuse to work for low wages.
- Syrian workers are more likely to perceive the Turkish language than the Arabic language perception of Turkish workers and employers. Despite this, one out of every three Syrian workers still does not use Turkish, even at a basic level. This causes communication problems at the worksite. However, the effect of two nations having different cultures and occupational ethics in working in harmony with each other, being members of the same religion is too much to underestimate.
- It has been observed that Turkish employers are more positive to employ Syrian workers rather than Turkish workers. The fact that they have to spend much more if they employ the same number of Turkish workers, may have caused employers to approach Syrian workers more positively. Turkish workers with the same status, on the other hand, cannot benefit from social aid, etc. and they clearly stated that they feel inferior to Syrians in their home country. However, they do not give up their hospitality due to the civil war in Syria. Therefore, in the employment of Syrian workers, at least social security, tax, health, etc. should be ensured according to the same conditions as Turkish workers.

Within the scope of this research, five different limitations were encountered. The first is communication with Syrians. Syrians generally have a low perception of the Turkish language. This situation caused trouble in providing information about the study but a translator overcame the problem. The second is that unregistered Syrian workers were not comfortable during the interview. It was expressed that the study carried out scientific purposes and a sincere environment was provided as much as possible. The third is that Syrians experienced differences in their understanding and interpretation of survey questions due to the different education levels. In this context, the survey was organized using simple language as much as possible. The fourth is; in line with the available possibilities (the necessity of conducting the survey face-to-face, and the necessity of different sample groups) the survey study was carried out in the province of Kayseri. The last limitation is the age limit. The sample of the study consisted of workers aged 18 and over.

The civil war in Syria caused Turkey to be the largest refugee-hosting country worldwide. As a novel field study indicating the perspectives of both Syrian workers and Turkish workers/employers, this study can provide guidance for the refugee policy of Turkey. Furthermore, this study will be beneficial for the stakeholders in the AEC industry, which is of great importance in the developing Turkish economy, to have the knowledge and make their plans for the future correctly. The results of this study are open to development and may guide further studies in several countries hosting Syrian refugees.

Abbreviations and Acronyms

AEC	: Architecture, Engineering & Construction
AFAD	: Turkish Disaster and Emergency Management Authority
GDP	: Gross Domestic Product
GFJTU	: General Federation of Jordanian Trade Unions
ILO	: International Labour Organization
OHS	: Occupational Health and Safety
ORSAM	: Center for Middle Eastern Studies
SGK	: Turkish Social Security Institution
SOHR	: Syrian Observatory for Human Rights
TDGMM	: Turkish Directorate General of Migration Management

UNHCR : The Office of the United Nations High Commissioner for Refugees

References

- [47] Taflı, A.S. 2019. Investigation of the contribution of Syrian construction workers to the construction sector in Kayseri. Master thesis, Erciyes University, Kayseri, Turkey.
- [48] SOHR, 2021. Total Death Toll. <https://www.syriaahr.com/en/217360/> (Access date: 08 July 2021).
- [49] Tođral Koca, B. 2016. Syrian Refugees in Turkey: From “Guests” to “Enemies”? New Perspectives on Turkey, 54(2016), 55–75.
- [50] Içduygu, A., Üstübcı, A. 2014. Negotiating Mobility, Debating Borders: Migration Diplomacy in Turkey-EU Relations. In Schwenken H and Russ-Sattar S (ed.) *New Border and Citizenship Politics*. London: Palgrave MacMillan, pp. 44-59.
- [51] TDGMM, 2021. Syrians in Turkey. <https://multeciler.org.tr/turkiyedeki-suriyeli-sayisi/> (Access date: 08 July 2021).
- [52] ORSAM, 2019. Syrian Refugees. http://tesev.org.tr/wp-content/uploads/2015/11/Suriyeli_Siginmacilarin_Turkiyeye_Etkileri.pdf (Access date: 11 November 2019).
- [53] UNHCR, 2021. UNHCR Turkey: Provincial Breakdown Syrian Refugees in Turkey - May 2021. <https://data2.unhcr.org/en/documents/details/86580> (Access date: 08 July 2021).
- [54] Içduygu, A., Diker, E. 2017. Labor Market Integration of Syrian Refugees in Turkey: From Refugees to Settlers. *The Journal of Migration Studies*, 3(2017), 12-35.
- [55] Sunata, U., Tosun, S. 2019. Assessing the Civil Society’s Role in Refugee Integration in Turkey: NGO-R as a New Typology. *Journal of Refugee Studies*, 32(2019), 683-703.
- [56] ILO, 2019. ILO’s Support to Refugees and Host Communities in Turkey. https://www.ilo.org/ankara/projects/WCMS_702144/lang--tr/index.htm (Access date: 08 July 2021).
- [57] UNHCR, 2016. Turkey Operational Update. http://www.unhcr.org/turkey/uploads/root/unhcr_turkey_operational_update_jan-june_2016.pdf (Access date: 06 May 2020).
- [58] Sarıgöl, O., Özdoğan, M., Öner, G. 2019. Family of Refugees in Turkey in Kayseri Samples of the General Status: An Overview. V. International Congress on Education and Social Sciences, 13-15 December, İstanbul, 1644-1655.
- [59] Kattaa, M., Byrne, M. 2018. Quality of Work for Syrian Refugees in Jordan. *Forced Migration Review*, 58(2018), 45-46.
- [60] Lenner, K., Turner, L. 2019. Making Refugees Work? The Politics of Integrating Syrian Refugees into the Labor Market in Jordan. *Middle East Critique*, 28(2019), 65-95.
- [61] Kobaissy, F. 2016. Organizing the Unorganized: Migrant Domestic Workers in Lebanon. *Cairo Papers in Social Science: The American University in Cairo Press*, 112 pp.
- [62] Corstange, D. 2019. The Syrian Conflict and Public Opinion among Syrians in Lebanon. *British Journal of Middle Eastern Studies*, 46(2019), 178-200.
- [63] Betts, A., Memişođlu, F., Ali, A. 2021. What Difference do Mayors Make? The Role of Municipal Authorities in Turkey and Lebanon’s Response to Syrian Refugees. *Journal of Refugee Studies*, 34(2021), 491-519.
- [64] Akgündüz, Y., Van Den Berg, M., Hassink, W. H. J. 2015. The Impact of Refugee Crisis on Host Labor Markets: The Case of the Syrian Refugee Crisis in Turkey. IZA Discussion Paper 8841, 24 pp.
- [65] Del Carpio, X. V., Wagner, M. C. 2015. The Impact of Syrian Refugees on the Turkish Labor Market. World Bank Social Protection and Labor Global Practice Group, Policy Research Working Paper 7402, 32 pp.
- [66] Baban, F., Ilcan, S., Rygiel, K. 2017. Syrian Refugees in Turkey: Pathways to Precarity, Differential Inclusion, and Negotiated Citizenship Right. *Journal of Ethnic and Migration Studies*, 43(2017), 41–57.
- [67] Tören, T. 2018. Documentation Report: Syrian Refugees in the Turkish Labour Market. Kassel: ICDD Working Papers, No. 22, Kassel University press GmbH, 57 pp.

- [68] Apak, H. 2014. Adaptation and future expectations of the Syrian immigrants: A case study of Mardin. Master thesis, Artuklu University, Mardin, Turkey.
- [69] Özkarslı, F. 2014. Migration from Syria to Turkey and informal employment of Syrians: Example of Mardin. Master thesis, Artuklu University, Mardin, Turkey.
- [70] Navruz, M. 2015. Urban refugees between dilemmas of integration and isolation. Master thesis, Selçuk University, Konya, Turkey.
- [71] Assida, O. M. A. 2016. The economic and social impacts of forced migration: A case study of Syrian and Iraqi forced migrants in Samsun. Master thesis, Ondokuz Mayıs University, Samsun, Turkey.
- [72] Cengiz, D., Tekgüç, H. 2017. Is it Merely a Labor Supply Shock? Impacts of Syrian Migrants on Local Economies in Turkey. ASSA 2018 Annual Meeting, 05-07 January, Philadelphia, PA, 1-68.
- [73] Yılmaz, L. Y. 2017. Opinions of local people toward Syrians in Turkey: Case of Kilis, Gaziantep, Şanlıurfa, Hatay and Adana. PhD dissertation, Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey.
- [74] Aksu, E. 2017. The impact of Syrian refugees on the Turkish labor market. Master thesis, Boğaziçi University, İstanbul, Turkey.
- [75] Mıznaşı, A. 2018. Investigating the effect of Syrian refugees on the gross domestic product and unemployment rate in Turkey between 2011-2017. Master thesis, İstanbul Aydın University, İstanbul, Turkey.
- [76] Parlak Bicer, Z. O., Taner, Z. T., Oymakapu, N. 2018. The Analysis of the Effect of Syrian Immigrants' Workforce on Turkish Building Sector: A Case of Construction Sites in Kayseri. 5th International Project and Construction Management Conference (IPCMC 2018), 16-18 November, Kyrenia, 592-601.
- [77] Çınar, S. 2018. New Actors and New Conflicts in the Construction Sector: Syrian Workers from the perspective of Local Workers. *Labour and Society*, 56(2018), 121-138.
- [78] Kale, B., Erdogan, M. 2019. The Impact of GCR on Local Governments and Syrian Refugees in Turkey. *International Migration*, 57(2019), 224-242.
- [79] Cohen, L., Manion, L., Morrison, K. 2007. *Research Methods in Education*. London: Routledge, 638 pp.
- [80] Özdemir, E. 2015. Tarama Yöntemi. In Metin M (ed.): *Kuramdan Uygulamaya Eğitimde Bilimsel Araştırma Yöntemleri*. Ankara: Pegem Academy, pp. 77-97.
- [81] Memnun, D. S., Hart, L. A., Akkaya, R. 2012. A Research on the Mathematical Problem Solving Beliefs of Mathematics, Science and Elementary Pre-Service Teachers in Turkey in Terms of Different Variables. *International Journal of Humanities and Social Science*, 2(2012), 172-184.
- [82] Yockey, R. D. 2016. *SPSS Demystified: A Simple Guide and Reference*. United Kingdom: Taylor & Francis, 276 pp.
- [83] Bernardi, R. A. 1994. Validating Research Results when Cronbach's Alpha is below .70: A Methodological Procedure. *Educational and Psychological Measurement*, 54(1994), 766-775.
- [84] Demir, A., Öz, A. 2018. Investigation of Occupational Accidents from Theological Perspective. *European Journal of Science and Technology*, 14(2018), 189-197.
- [85] AFAD, 2020. Syrian Refugees in Turkey. https://www.afad.gov.tr/upload/Node/2376/files/61-2013123015505-syrian-refugees-in-turkey-2013_print_12_11_2013_eng.pdf (Access date: 05 January 2020).

Parçalı Ters Dönüşüm Yöntemi ile Sürekli Dağılımlardan Tasadüfi Sayı Üretilmesi

Seval Şahin Elhatisarı ^{*1,2}, Fahrettin Özbey ³

^{*1}Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İstatistik Anabilim Dalı, BİTLİS

^{*2}Fırat Üniversitesi Fen Fakültesi İstatistik Bölümü, ELAZIĞ

³Bitlis Eren Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü, BİTLİS

(Alınış / Received: 03.03.2020, Kabul / Accepted: 05.10.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Tasadüfi Sayılar,
Ters Dönüşüm Yöntemi,
En Çok Olabilirlik Yöntemi

Öz: Birçok istatistiksel çalışmada dağılımlardan elde edilen tesadüfi sayılar kullanılır. Bir dağılımdan ters dönüşüm yöntemiyle tesadüfi sayı üretilmesi, dağılım fonksiyonunun tersinin var olduğu durumlarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Bu çalışmada ters dönüşüm yönteminden faydalanılarak parçalı ters dönüşüm yöntemi önerilmiştir. Ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle üretilen sayıların ilgili teorik dağılımla uyumları incelenmiştir. Ayrıca her iki yöntemle üretilen tesadüfi sayıların parametre tahminine etkileri sayısal yaklaşımlarla araştırılmıştır. Üstel ve Pareto dağılımlarından ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle farklı parametre değerleri için farklı büyüklükteki tesadüfi sayılar elde edilmiştir. Elde edilen bu tesadüfi sayılar kullanılarak üstel ve Pareto dağılımlarının en çok olabilirlik tahmin edicilerinin tahmin hatası karşılaştırılmıştır.

Generating Random Number from a Continuous Distribution Using the Piecewise Inverse Transform Method

Keywords

Random Numbers,
Inverse Transform Method,
Maximum Likelihood
Estimation

Abstract: In most of statistical studies, the random numbers obtained by the distribution are used. Generating random numbers from a distribution using the inverse transform method is a method frequently used in cases that includes the inverse of the distribution function. Using the inverse transformation method, the piecewise inverse transform method has been proposed in this study. The compatibility of the random numbers generated by the inverse transform and the piecewise inverse transform method with the relevant theoretical distribution has been examined. Furthermore, numerical approaches were used to explore the effect of random numbers generated by both methods on parameter estimation. The inverse transform and piecewise inverse transform methods from the exponential and Pareto distributions were used to generate random numbers of various sizes for various parameter values. By using these random numbers, the estimation error of the maximum likelihood estimators of the exponential and Pareto distributions have been compared.

*İlgili yazar, e-mail: sevalsahin89@gmail.com

1. Giriş

Birçok istatistiksel yöntem tesadüfi örneklerle dayandığından, uygulamalı istatistikçiler genellikle "tesadüfi sayılar" kaynağına ihtiyaç duyarlar. Daha eski referans kitapları, numunelerin seçilmesinde veya bir deney için tasarım hazırlanmasında kullanılması amaçlanan tesadüfi sayılar tablolarını içerirdi ve istatistiksel uygulamalarda bu tesadüfi sayı tabloları kullanılırdı. Günümüzde tesadüfi sayıların basılmış tablolarının kullanımının yerini neredeyse tamamen bilgisayardan üretilen tesadüfi sayılar almaktadır [1].

Tesadüfi sayı üreteçleri, bilgisayar simülasyonlarında, Monte Carlo yönteminde, çok-boyutlu integral hesaplamalarında, dışbükey olmayan genel optimizasyonlarda, bilimsel hesaplamalarda, elektronik kumar ekipmanlarında (çevrimiçi kumar dahil) ve diğer çeşitli alanlarda kullanılmaktadır [2]. Ayrıca, tesadüfi sayı üreteçleri, şifreleme sistemlerin en önemli yapı taşlarından biridir. Hassas verilerin korunması için öngörülemeyen gizli şifreler üretmek için tesadüfi sayı üreteçleri kullanılır ve tesadüfi sayı üreteçleri, güçlü güvenlik ve gizlilik önlemleri için şifrelemede önemli bir rol oynar [3].

Tesadüfi sayılar anket örnekleme, sayısal analiz, bilgisayar programlama, deneysel fizik ve tesadüfi olayların önemli rol oynadığı birçok uygulama alanında kullanılmaktadır. Belirli bir dağılımdan tesadüfi sayılar dizisini oluşturmanın birçok yolu vardır [4]. Bunlardan bazıları ters dönüşüm yöntemi, kabul-red yöntemi ve ayrışım yöntemleridir. Son yıllarda tesadüfi sayı üretmek için yeni yöntemler geliştirilmiştir. [5-13].

Bir dağılımdan ters dönüşüm yöntemiyle tesadüfi sayı üretilmesi, dağılım fonksiyonun tersinin var olduğu durumlarda sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Ters dönüşüm yönteminde $(0,1)$ aralığından düzgün dağılım ile uyumlu n birimlik bir örneklem seçilmesi hedeflenir ve bu örneklemin dağılım fonksiyonun tersi altındaki görüntü kümesi üretilen tesadüfi sayıları verir. Fakat buradaki temel problem $(0,1)$ aralığından üretilen n tane tesadüfi sayının düzgün dağılım ile uyumlu olup olmamasıdır. Çok nadirde olsa, $(0,1)$ aralığından üretilen örneklemin düzgün dağılım ile uyumsuzluğu olasıdır. $(0,1)$ aralığından üretilen örneklemin düzgün dağılım ile uyumsuzluğu, örneklemin dağılım fonksiyonun tersi altındaki görüntü kümesi ile üretilen tesadüfi sayılarında ilgili dağılıma uyumsuzluğu problemini ortaya çıkaracaktır. Bu problemin meydana gelmemesi için, bu çalışmada parçalı ters dönüşüm yöntemi önerilmiştir.

Bu çalışmada öncelikle literatürde var olan ters dönüşüm yöntemine yer verilmiştir, daha sonra ters dönüşüm yönteminden faydalanılarak parçalı ters dönüşüm yöntemi önerilmiştir. Ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle üretilen tesadüfi sayıların uyum iyilikleri ve parametre tahminine etkileri sayısal yaklaşımlarla analiz edilmiştir. Bu çalışmadaki sayısal hesaplamalar R programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

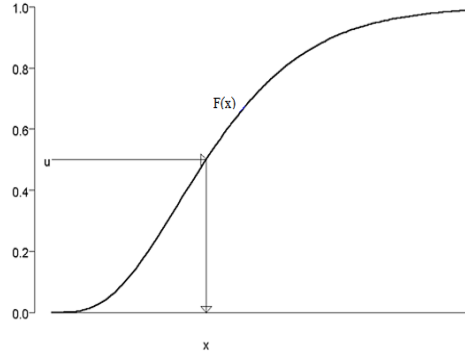
2. Materyal ve Metot

2.1. Ters Dönüşüm Yöntemi

F dağılım fonksiyonuna ait bir X tesadüfi değişkenin dağılımından sayı üretebilmek için en sık kullanılan metotlardan biri, F dağılım fonksiyonunun genelleştirilmiş tersi olan

$$\begin{aligned} F^{-1} : (0,1) &\rightarrow R \\ u &\rightarrow F^{-1}(u) = \inf \{x : F(x) \geq u\} \end{aligned} \quad (1)$$

fonksiyonuna dayalı $X = F^{-1}(U)$ dönüşümünü kullanmaktır. U tesadüfi değişkeni $(0,1)$ aralığı üzerindeki düzgün dağılıma sahiptir. Şekil 1'de görüldüğü gibi $F^{-1}(U)$ tesadüfi değişkeninin dağılım fonksiyonu F olmak üzere $F^{-1}(U)$ dönüşümü ile ortaya çıkan tesadüfi değişken X tesadüfi değişkeninin kendisidir. Böylelikle $X = F^{-1}(U)$ dönüşümü integral dönüşümü olarak bilinmektedir. U $(0,1)$ düzgün dağılımdan üretilen sayılar integral dönüşümü yapılarak X tesadüfi değişkenin dağılımından üretilmiş sayılar olup ve herhangi bir X tesadüfi değişkenin dağılımından sayı üretme işlemi çözülmüş gibi görünmektedir. Fakat buradaki problem bazı dağılımlar için F^{-1} genelleştirilmiş ters fonksiyonunun açık bir şekilde ifade edilememesidir.



Şekil 1. Dağılım Fonksiyonu

X sürekli bir tesadüfi değişken olduğunda dağılımın destek kümesi F artan bir fonksiyon olup yukarıdaki dönüşüm $X = F^{-1}(U)$ biçimini alır. Bu durumda, $X = F^{-1}(U)$ tesadüfi değişkenin dağılım fonksiyonu,

$$\begin{aligned} P(X \leq x) &= P[F^{-1}(U) \leq x] = P[F(F^{-1}(U)) \leq F(x)] \\ &= P[U \leq F(x)] = F(x) \end{aligned} \quad (2)$$

dır. F dağılım fonksiyonunun F^{-1} ters fonksiyonunun değerlerinin hesaplanabilir olması durumunda sürekli bir X tesadüfi değişkeninin dağılımından sayı üretmek için kullanılan algoritma

1. $U(0,1)$ dağılımından U üretilir.
2. $X = F^{-1}(U)$ hesaplanır.

şeklinde ifade edilir [14].

2.2. Parçalı Ters Dönüşüm Yöntemi

Ters dağılım fonksiyonu elde edilebilen herhangi bir sürekli dağılımdan n tane tesadüfi sayı üretmek için aşağıdaki yöntem önerilmiştir.

X sürekli tesadüfi değişkeninin olasılık yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ ve dağılım fonksiyonu $F(x)$ olsun. $U \in (0,1)$ olmak üzere dağılım fonksiyonunun tersi $F^{-1}(u)$ ile gösterilsin.

Ters dönüşüm yönteminde $(0,1)$ aralığından n tane tesadüfi sayı üretilir ve bu sayıların $F^{-1}(u)$ fonksiyonu altındaki görüntü kümesi, üretilen tesadüfi sayıları verir. $(0,1)$ aralığından düzgün dağılım ile uyumlu bir örneklem seçilebilmesi için; $(0,1)$ aralığı k tane eşit aralığa (parçaya) bölündüğünde her aralıktan n/k tane tesadüfi sayı bulunması beklenir [14]. $(0,1)$ aralığı n tane eşit aralığa bölündüğünde ise her aralıktan bir tane tesadüfi sayı seçilmesi beklenir. Bu bakışa açıyla $(0,1)$ aralığından düzgün dağılım ile uyumlu bir örneklem seçilebilmesi için aşağıdaki yöntem önerilmiştir.

Parçalı ters dönüşüm yönteminde $(0,1)$ aralığı n tane ($n \geq 2$) eşit aralığa bölünür. Her aralıktan bir tane tesadüfi sayı seçilir. Dolayısıyla her aralıkta gözlenen frekans ile beklenen frekans sayısı birbirine eşit olur ve $(0,1)$ aralığından düzgün dağılım ile uyumlu bir örneklem seçilebilmesi garanti altına alınmış olur. Ayrıca her aralıktan tesadüfi olarak sayı seçildiğinden seçilen örneklemin tesadüfliliği bozulmaz. Bu örneklemin $F^{-1}(u)$ fonksiyonu altındaki görüntü kümesi, parçalı ters dönüşüm yöntemi ile üretilen tesadüfi sayıları verir.

$h = 1/n$ olacak şekilde aralık genişliği h ($0 < h < 1$) belirlenir. $x_1 = 0$, $x_{n+1} = 1$ ve $x_{i+1} = x_i + h$, olmak üzere n tane eşit aralık

$$D_i = (x_i, x_{i+1}) \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir.

3. Bulgular

Bu bölümde öncelikle Üstel ve Pareto dağılımlarının olasılık yoğunluk fonksiyonlarına, dağılım fonksiyonlarına ve ters dağılım fonksiyonlarına yer verilmiştir, daha sonra ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemleri kullanılarak üretilen tesadüfi sayıların ilgili teorik dağılım ile uyumlu olup olmadığı araştırılmıştır.

Tahmin teorisinde yapılan çalışmalar incelendiğinde; genellikle yeni tahmin metotları geliştirilip bu tahmin edicinin özellikleri incelenir ve diğer tahmin edicilerle karşılaştırılarak yeni tahmin edicinin daha iyi sonuçlar verdiği iddia edilir. Farklı tahmin edicilerin performansları karşılaştırılırken, parametre tahmini için aynı örneklem kullanılır. Esasında aynı örneklemin kullanılması farklı tahmin edicilerin benzer şartlar altında çalışmasını test etmek için gereklidir. Fakat seçilen örneklemin parametre tahmininin nasıl etkilediği göz ardı edilir. Söz konusu bu etki bu bölümde, ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle üretilen tesadüfi sayılar için parametre tahminleri yapılarak araştırılmıştır. Bunun için Üstel ve Pareto dağılımlarından ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle tesadüfi sayılar üretilerek ve bu sayılar en çok olabilirlik yönteminde (Maximum Likelihood Estimation MLE) kullanılarak parametre tahminleri elde edilmiştir. Ayrıca, örneklem seçiminin parametre tahmin hatalarına etkileri 100000 tekrar ile yapılan benzetim (simülasyon) sonuçlarına göre tartışılmıştır.

3.1. Üstel Dağılım

Üstel dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, dağılım fonksiyonu ve ters dağılım fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$f(x) = \frac{1}{\theta} e^{-\frac{x}{\theta}}, \quad x \geq 0, \theta > 0, \quad (4)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\frac{x}{\theta}} \quad (5)$$

$$F^{-1}(u) = -\theta \ln(1-u) \quad (6)$$

Üstel dağılımından elde edilen tesadüfi sayılar (x_1, x_2, \dots, x_n) olmak üzere en çok olabilirlik yöntemiyle elde edilen parametre tahmin edicisi

$$\hat{\theta} = \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (7)$$

şeklindedir [15].

3.2. Pareto Dağılımı

Pareto dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu, dağılım fonksiyonu ve ters dağılım fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki gibidir.

$$f(x) = v\lambda^v x^{-(v+1)}, \quad x \geq \lambda, v > 0 \quad (8)$$

$$F(x) = 1 - \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{-v} \quad (9)$$

$$F^{-1}(u) = \frac{\lambda}{\sqrt[v]{1-u}} \quad (10)$$

Pareto dağılımından elde edilen tesadüfi sayılar (x_1, x_2, \dots, x_n) olmak üzere en çok olasılık yöntemiyle elde edilen parametre tahmin edicileri

$$\hat{v} = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \ln \frac{x_i}{\lambda}} \quad (11)$$

$$\hat{\lambda} = \min(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (12)$$

şeklindedir [16].

3.3. Üstel ve Pareto Dağılımlarından Üretilen Tesadüfi Sayılar için Uyum İyiliği Testi

Uyum iyiliği testleri verilerin teorik bir dağılım ile uyumluluğuna karar verirken kullanılır. Bu alt bölümde ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemleri kullanılarak üretilen tesadüfi sayıların ilgili teorik dağılım ile uyumlu olup olmadığı, Vasicek [17] ve Song [18] tarafından geliştirilen Vasicek-Song uyum iyiliği testi ile araştırılacaktır.

Ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemleri kullanılarak Üstel ve Pareto dağılımlarından n büyüklüğünde tesadüfi sayılar üretilmiştir. Parçalı ters dönüşüm yöntemi için R program kodları ekler bölümünde verilmiştir (Ek A, B). N defa tekrarlar üretilen örneklemelerin Vasicek-Song uyum iyiliği testi sonuçlarının başarı yüzdeleri Tablo 1’de verilmiştir. Parçalı ters dönüşüm yöntemiyle elde edilen tesadüfi sayıların ilgili teorik dağılım ile uyumlu oldukları Tablo 1’de görülebilir. Vasicek-Song uyum iyiliği testi için kullanılan R program kodları ekler bölümünde verilmiştir (Ek C, D).

Tablo 1. N tekrar için Vasicek-Song uyum iyiliği testini başarı ile geçen örneklem yüzdeleri

Tekrar sayısı (N)	Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan yöntem	$\theta=3$ parametre değeri için Üstel dağılımdan elde edilen tesadüfi sayılar					$\lambda=3, v=5$ parametre değerleri için Pareto dağılımdan elde edilen tesadüfi sayılar				
		n					n				
		100	500	1000	5000	10000	100	500	1000	5000	10000
100	TD	%90,00	%90,00	%92,00	%93,00	%95,00	%95,00	%95,00	%96,00	%96,00	%97,00
	PTD	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
500	TD	%91,40	%93,00	%94,00	%95,00	%95,60	%95,20	%96,00	%96,00	%96,60	%97,10
	PTD	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
1000	TD	%92,20	%93,50	%94,40	%95,20	%95,40	%96,00	%96,30	%96,50	%97,00	%97,40
	PTD	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
5000	TD	%92,36	%93,54	%94,88	%95,82	%95,98	%96,44	%96,57	%96,72	%97,09	%97,40
	PTD	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
10000	TD	%92,44	%94,16	%94,97	%95,98	%96,15	%96,50	%96,64	%97,08	%97,18	%97,50
	PTD	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100

TD: Ters Dönüşüm Yöntemi, PTD: Parçalı Ters Dönüşüm Yöntemi.

3.4. Üstel ve Pareto Dağılımları için Tahmin Hataları

Üstel ve Pareto dağılımlardan ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle tesadüfi sayılar üretilerek ve bu sayılar en çok olasılık yönteminde kullanılarak parametre tahminleri elde edilmiştir (Tablo 2-3). Parçalı ters dönüşüm yöntemiyle elde edilen tesadüfi sayılarla yapılan parametre tahmin değerlerinin ilgili parametreye yakın olduğu Tablo 2 ve 3’de görülebilir.

Tahmin hatalarını belirlemek için hata kareler ortalaması (Mean Square Error (MSE)) ve yan (Bias) sıklıkla kullanılan ifadelerdir. Herhangi bir dağılımın parametresi α olsun. Bu dağılımdan elde edilen örneklemle yapılan parametre tahmini $\hat{\alpha}$ olmak üzere bu işlemin N defa tekrarlanmasıyla elde edilen parametre tahminleri $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\alpha}_N)$ olsun. Bu durumda Bias ve MSE değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N (\alpha - \hat{\alpha}_j)^2 \quad (13)$$

$$Bias = \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \hat{\alpha}_j \right) - \alpha \quad (14)$$

Üstel ve Pareto dağılımlarından ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle farklı parametre değerleri için elde edilen farklı büyüklükteki tesadüfi sayılar kullanılarak MLE yöntemiyle elde edilen parametre tahminlerinin tahmin hataları Tablo 4’ de verilmiştir. Tablo 4’ deki MSE ve Bias değerlerinin hesaplanması için $N = 100000$ alınmıştır. Parçalı ters dönüşüm yöntemiyle üretilen tesadüfi sayılarla elde edilen parametre tahmin hatalarının düşük olduğu Tablo 4’ de görülebilir.

Tablo 2. Üstel dağılımından üretilen tesadüfi sayılarla parametre tahmini (MLE)

n	Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan parametreler	Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan yöntem	
		Ters dönüşüm yöntemi	Parçalı ters dönüşüm yöntemi
	θ	$\hat{\theta}$	$\hat{\theta}$
10	0,2	0,135421	0,187969
50		0,153780	0,195997
100		0,175468	0,199157
1000		0,188099	0,200534
10000		0,202628	0,200016
10		5	4,026891
50	4,311213		4,886172
100	4,691717		4,936796
1000	4,786572		5,001553
10000	4,977142		5,000673

Tablo 3. Pareto dağılımından üretilen tesadüfi sayılarla parametre tahmini (MLE)

n	Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan parametreler		Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan yöntem			
	v	λ	Ters dönüşüm yöntemi		Parçalı ters dönüşüm yöntemi	
			\hat{v}	$\hat{\lambda}$	\hat{v}	$\hat{\lambda}$
10	0,2	0,1	0,169195	0,125484	0,215459	0,125338
50			0,178069	0,110815	0,188452	0,103756
100			0,220184	0,106167	0,203468	0,104284
1000			0,201603	0,101256	0,199698	0,100255
10000			0,200666	0,100184	0,199975	0,100044
10			5	3	6,277114	3,055834
50	5,916255	3,063270			5,118619	3,009089
100	5,240104	3,063606			5,079140	3,003876
1000	5,183275	3,002184			4,997209	3,000258
10000	5,021925	3,000006			4,999836	3,000006

Tablo 4. Tahminler için MSE ve Bias değerleri

n	Tesadüfi sayı üretmek için kullanılan yöntem	Üstel Dağılım		Pareto Dağılımı	
		$\theta = 3$	$\theta = 1$	$\nu = 5; \lambda = 3$	$\nu = 3; \lambda = 1$
10	TD	0,88738430 (0,00851277)	0,09943783 (0,00141232)	7,15897400; 0,00769656 (1,25884000; 0,06141827)	2,56851500; 0,00247909 (0,74665030; 0,03466414)
	PTD	0,09637399 (0,00010601)	0,01067126 (0,00004911)	0,39690930; 0,00132542 (0,33242300; 0,03140792)	0,14204690; 0,00041302 (0,19960940; 0,01750820)
30	TD	0,30095120 (0,00027901)	0,03321997 (0,00050562)	1,18906700; 0,00080592 (0,35506610; 0,01999320)	0,42944720; 0,00025874 (0,21436420; 0,01120998)
	PTD	0,01075075 (0,00033482)	0,00120851 (0,00010697)	0,03945450; 0,00013764 (0,09255411; 0,01015159)	0,01425646; 0,00004248 (0,05525725; 0,00562991)
50	TD	0,18068500 (0,00123703)	0,01995932 (0,00009666)	0,61937820; 0,00029299 (0,20900980; 0,01206964)	0,22388990; 0,00009080 (0,12636250; 0,00672942)
	PTD	0,00390774 (0,00009044)	0,00043450 (0,00002874)	0,01423956; 0,00004860 (0,05257971; 0,00602788)	0,00505620; 0,00001505 (0,03156033; 0,00335457)
100	TD	0,08995953 (0,00027665)	0,01004041 (0,00019313)	0,27810180; 0,00007211 (0,10452800; 0,00600257)	0,10081600; 0,00002247 (0,06154215; 0,00334814)
	PTD	0,00097471 (0,00000820)	0,00010793 (0,00001915)	0,00356202; 0,00001210 (0,02565159; 0,00300882)	0,00127007; 0,00000374 (0,01550005; 0,00167395)
1000	TD	0,00901250 (0,00007130)	0,00100522 (0,00008257)	0,02531483; 0,00000070 (0,00971054; 0,00059545)	0,00914023; 0,00000022 (0,00557434; 0,00033314)
	PTD	0,00000978 (0,00000548)	0,00000108 (0,00000074)	0,00003550; 0,00000012 (0,00248776; 0,00030022)	0,00001270; 0,00000003 (0,00150268; 0,00016657)
10000	TD	0,00089463 (0,00003750)	0,00009997 (0,00000645)	0,00250247; 0,00000001 (0,00102305; 0,00005982)	0,00090781; 0,00000001 (0,00041938; 0,00003342)
	PTD	0,00000009 (0,00000113)	0,00000001 (0,00000044)	0,00000034; 0,00000001 (0,00025028; 0,00003008)	0,00000012; 0,00000001 (0,00015068; 0,00001666)

TD: Ters Dönüşüm Yöntemi, PTD: Parçalı Ters Dönüşüm Yöntemi, (): Bias değerleri parantez içine yazıldı.

4. Tartışma ve Sonuç

Parçalı ters dönüşüm yönteminde (0,1) aralığından düzgün dağılım ile uyumlu bir örneklem seçilebilmesi garanti altına alınmış olduğundan dolayı bu örneklemin dağılım fonksiyonunun tersi altındaki görüntü kümesi ile üretilen tesadüfi sayıların ilgili teorik dağılımla uyumlu olması garanti altına alınmıştır.

Sürekli dağılımların parametrelerine bazı değerler atanarak ters dönüşüm ve parçalı ters dönüşüm yöntemiyle tesadüfi sayılar oluşturulmuştur ve bu tesadüfi sayılar kullanılarak en çok olabirlik tahmin edicileri elde edilmiştir. Parçalı ters dönüşüm yöntemi ile oluşturulan örneklemelerin parametre tahminlerinin MSE ve Bias değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. MLE yönteminde parçalı ters dönüşüm yöntemiyle elde edilen örneklemin kullanılması tahmin hatalarını azaltmaktadır.

Önerilen yöntemle benzer yaklaşımla; dağılım fonksiyonunun tersi elde edilemeyen sürekli dağılımlarda, olasılık yoğunluk fonksiyonunun tanım kümesi eşit yoğunluklu ardışık n tane parçaya bölünüp ve bu parçaların sınırları belirlendikten sonra her bir parçadan birer tesadüfi sayı seçilerek ilgili teorik dağılımla uyumlu tesadüfi sayılar üretilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, birinci yazarın ikinci yazar danışmanlığında hazırladığı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada, araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynakça

- [1] Gentle, J. E. 2003. Random Number Generation and Monte Carlo Methods. Second Edition, USA.
- [2] Tanackov, I., Sinani, F., Stankovic, M., Bogdanovic, V., Stevic, Z., Vidic, M., Martinov, J.M. 2019. Natural Test for Random Numbers Generator Based on Exponential Distribution Mathematics. 7(920), 1-14.
- [3] Dodge, Y. 1996. A natural Random Number Generator. International Statistical Review, 64(3), 329-344.
- [4] Erbay, C., Ergün, S. 2018. Random Number Generator Based on Fuel Cells. New Generation of CAS (NGCAS), Valletta, 98-101.
- [5] Kaya, D., Tuncer, S. A. 2019. Generating random numbers from biological signals in labview environment and statistical analysis. Traitement du Signal, 36(4), 303-310.
- [6] Hu, G., Peng J. Kou, W. 2019. A Novel Algorithm for Generating Pseudo-random Number. International Journal of Computational Intelligence Systems, 12(2), 643-64.
- [7] Zang, S., Hu, H., Zhong, J., Luo, D., Fang, Y. 2018. Generating Random Numbers by means of Nonlinear Dynamic Systems. Physics Education, 53(4).
- [8] Ma, S., Liu, J., Yang Z., Hu, J. 2018. A Method of Generating High Speed and Long Period Pseudo-random Sequence Based on Residue Number System and Permutation Polynomial. Journal of Electronics and Information Technology, 40(1), 42-49.
- [9] Yan, N. S. 2017. Three steps Iteration Method of Generating Function of Sum N Random Numbers. Journal of Beijing Institute of Clothing Technology (Natural Science Edition), 37(4), 89-94.
- [10] Boiroju, N. K., Venkaiah, K. 2016. A New Algorithm for Generating Gaussian random Numbers. International Journal of Agricultural and Statistical Science, 12(2), 307-310.
- [11] Dong, L. H., Yao, G. L. 2016. Method for Generating Pseudo-random Numbers Based on Cellular Neural Network. Journal on Communications, 37, 85-91.
- [12] Tuncer, N. S., Genç, Y. 2019. İnsan Hareketleri Tabanlı Gerçek Rasgele Sayı Üretimi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 8(1), 261-269.
- [13] Şahin, S. 2017. Pareto dağılımında örnek seçiminin tahmin ediciye etkisi. Bitlis Eren Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bitlis.
- [14] Öztürk, F., Özbek, L. 2004. Matematiksel Modelleme ve Simülasyon. Gazi Kitabevi, Ankara.
- [15] Sağlam, V., Sağır, M., Yücesoy, E. 2016. Olasılığa Giriş. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [16] Prakash, G. 2009. Some Estimators for the Pareto Distribution. Journal of Scientific Research, 1(2), 236-247.
- [17] Vasicek, O. 1976. A test for normality based on sample entropy. Journal of the Royal Statistical Society Series B Methodological, 38(1), 54-59.
- [18] Song, K. S. 2002. Goodness-of-fit tests based on Kullback-Leibler discrimination information. IEEE Transactions on Information Theory, 48(5), 1103-1117.
- [19] Lequesne, J., Regnault, P. 2020. Package vsgoftest: goodness-of-fit tests based on Kullback-Leibler divergence. https://cran.r-project.org/web/packages/vsgoftest/vignettes/vsgoftest_tutorial.pdf (Erişim Tarihi: 08.09.2021).

Ekler

Ek A. Parçalı ters dönüşüm yöntemi ile Üstel dağılımdan n tane tesadüfi sayı üretimi için R kodları

```
teta <- 3           # parametre
n <- 1000          # örneklem büyüklüğü
h <- 1/n           # aralığın genişliği
U <- n+1
sindeg <- seq(from = 0, to =1, length.out =U)
orn <- c()
for(i in 1:n)
{k <- sindeg[i]
m <- sindeg[i]+h
orn <- c(orn, runif(1, k, m))}
usteltesadufisayi <-(- (teta) * ( log(1-orn) ) )
```

Ek B. Parçalı ters dönüşüm yöntemi ile Pareto dağılımdan n tane tesadüfi sayı üretilmesi için R kodları

```

lmd <- 3           # skaler parametre
v <- 5            # şekil parametresi
h <- 1/n          # aralığın boyu
U <- n+1
sindeg <- seq(from = 0, to =1, length.out =U)
orn <- c()
for(i in 1:n)
{k <- sindeg[i]
m <- sindeg[i]+h
orn <- c(orn, runif(1, k, m))}
paretotesadufisayı <- ((lmd)/((1-orn)^(1/v)))

```

Ek C. Üstel dağılım için Vasicek-Song uyum iyiliği testi

```

usteltesadufisayı           #Uyum iyiliği test edilecek örneklem
install.packages('vsgofstest') #Zorunlu paket [19].
library('vsgofstest')
install.packages('devtools')
devtools::install_github('pregnault/vsgofstest')
vs.test(usteltesadufisayı, densfun = 'dexp')

```

Ek D. Pareto dağılımı için Vasicek-Song uyum iyiliği testi

```

paretotesadufisayı           #Uyum iyiliği test edilecek örneklem
install.packages('vsgofstest') #Zorunlu paket [19].
library('vsgofstest')
install.packages('devtools')
devtools::install_github('pregnault/vsgofstest')
vs.test(paretotesadufisayı, densfun = 'dpareto')

```

Factors for Generalized Matrix Summability

Bağdagül Kartal *

*₁ Department of Mathematics, Faculty of Science, Erciyes University, KAYSERİ

(Alınış / Received: 02.02.2021, Kabul / Accepted: 14.11.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Keywords

Summability factors,
Absolute matrix summability
Infinite series,
Hölder's inequality,
Minkowski's inequality

Abstract: In [1], Sulaiman has proved a theorem dealing with $|A|_k$ summability of the series $\sum a_n \lambda_n X_n$. In the present paper, generalized absolute matrix summability has been studied. The known theorem on $|A|_k$ summability has been generalized to the $\varphi - |A; \delta|_k$ summability method under some suitable conditions.

Genelleştirilmiş Matris Toplanabilme için Çarpanlar

Anahtar Kelimeler

Toplanabilme çarpanları,
Mutlak matris toplanabilme,
Sonsuz seriler,
Hölder eşitsizliği,
Minkowski eşitsizliği

Öz: Sulaiman [1], $\sum a_n \lambda_n X_n$ serisinin $|A|_k$ toplanabilmesi ile ilgili bir teorem ispatlamıştır. Bu makalede genelleştirilmiş mutlak matris toplanabilme çalışılmıştır. $|A|_k$ toplanabilme üzerine bilinen teorem uygun bazı şartlar altında $\varphi - |A; \delta|_k$ toplanabilme metoduna genelleştirilmiştir.

*İlgili Yazar, e-mail: bagdagulkartal@erciyes.edu.tr

1. Introduction

Let $\sum a_n$ be an infinite series with its partial sums (s_n) . Let $A = (a_{nv})$ be a normal matrix, i.e., a lower triangular matrix of non-zero diagonal entries. Then A defines the sequence-to-sequence transformation, mapping the sequence $s = (s_n)$ to $As = (A_n(s))$, where

$$A_n(s) = \sum_{v=0}^n a_{nv} s_v, \quad n=0,1,\dots$$

Let (φ_n) be any sequence of positive real numbers. The series $\sum a_n$ is said to be summable $\varphi - |A; \delta|_k$, $k \geq 1$ and $\delta \geq 0$, if

$$\sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n^{\delta k + k - 1} |A_n(s) - A_{n-1}(s)|^k < \infty \quad (\text{see [2]}).$$

If we take $\delta = 0$ and $\varphi_n = n$, then $\varphi - |A; \delta|_k$ summability reduces to $|A|_k$ summability [3].

Given any normal matrix $A = (a_{nv})$, two lower semimatrices $\bar{A} = (\bar{a}_{nv})$ and $\hat{A} = (\hat{a}_{nv})$ are defined as follows:

$$\bar{a}_{nv} = \sum_{i=v}^n a_{ni}, \quad n, v = 0, 1, \dots \quad (1)$$

$$\hat{a}_{00} = \bar{a}_{00} = a_{00}, \hat{a}_{nv} = \bar{a}_{nv} - \bar{a}_{n-1,v}, n=1,2,\dots \quad (2)$$

$$A_n(s) = \sum_{\nu=0}^n a_{n\nu} s_\nu = \sum_{\nu=0}^n \bar{a}_{n\nu} a_\nu \quad \text{and} \quad \bar{\Delta} A_n(s) = \sum_{\nu=0}^n \hat{a}_{n\nu} a_\nu. \quad (3)$$

2. Material and Method

Absolute summability of an infinite series is an attractive topic in the field of summability. Many different studies on this topic have been done by researchers, see ([1, 4-29]). In 2013, Sulaiman [1] proved the following lemmas and theorem.

Lemma 1: If $\sum n^{-1} \lambda_n$ is convergent, then (λ_n) is non-negative and decreasing, $\lambda_n \log_n = O(1)$, and $n \Delta \lambda_n = O(1/(\log n)^2)$.

Lemma 2: If $\sum n^{-1} \lambda_n X_n$ is convergent, and the conditions

$$n \Delta \lambda_n = O(\lambda_n) \text{ as } n \rightarrow \infty, \quad (4)$$

$$\sum_{\nu=1}^n \lambda_\nu = O(n \lambda_n) \text{ as } n \rightarrow \infty \quad (5)$$

are satisfied, then

$$n \lambda_n \Delta X_n = O(1), \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^m \lambda_n \Delta X_n = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty, \quad (7)$$

$$\sum_{n=1}^m n \lambda_n \Delta^2 X_n = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty. \quad (8)$$

Theorem 1: Let $(\lambda_n), (X_n)$ be two sequences such that $\sum n^{-1} \lambda_n X_n$ is convergent, and the conditions (4) and (5) are satisfied. Let $A = (a_{n\nu})$ be a normal matrix with non-negative entries satisfying

$$\bar{a}_{n0} = 1, n=0,1,\dots, \quad (9)$$

$$a_{n-1,\nu} \geq a_{n\nu} \text{ for } n \geq \nu + 1, \quad (10)$$

$$n a_{nn} = O(1), 1 = O(n a_{nn}), \quad (11)$$

$$\sum_{\nu=1}^{n-1} a_{\nu\nu} \hat{a}_{n\nu} = O(a_{nn}). \quad (12)$$

If $t_\nu^k = O(1) (C,1)$, where $t_\nu = \frac{1}{\nu+1} \sum_{r=1}^\nu r a_r$, then the series $\sum a_n \lambda_n X_n$ is summable $|A|_k$, $k \geq 1$.

3. Results

The aim of this paper is to generalize Theorem 1 for $\varphi - |A; \delta|_k$ summability method under some suitable conditions.

Theorem 2: Let $(\lambda_n), (X_n)$ be two sequences such that $\sum n^{-1} \lambda_n X_n$ is convergent, and the conditions (4), (5), (9)-(12) are satisfied. Let (φ_n) be any sequence such that

$$\varphi_n a_{nn} = O(1), 1 = O(\varphi_n a_{nn}), \quad (13)$$

$$\sum_{n=\nu+1}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| = O(\varphi_\nu^{\delta k-1}) \text{ as } m \rightarrow \infty, \tag{14}$$

$$\sum_{n=\nu+1}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} \hat{a}_{n\nu+1} = O(\varphi_\nu^{\delta k}) \text{ as } m \rightarrow \infty, \tag{15}$$

$$\sum_{\nu=1}^{n-1} a_{\nu\nu} \hat{a}_{n\nu+1} = O(a_{nn}). \tag{16}$$

If $\varphi_\nu^{\delta k} t_\nu^k = O(1) (C, 1)$, i.e. $\sum_{\nu=1}^n \varphi_\nu^{\delta k} t_\nu^k = O(n)$, where (t_ν) as in Theorem 1, then the series $\sum a_n \lambda_n X_n$ is summable $\varphi - |A; \delta|_k$, $k \geq 1$ and $0 \leq \delta < 1/k$.

3.1. Proof of Theorem 2

Let $\theta_n = \lambda_n X_n$ and (M_n) be the A -transform of the series $\sum a_n \theta_n$. By (3), we get $\bar{\Delta} M_n = \sum_{\nu=1}^n \frac{\hat{a}_{n\nu} \theta_\nu}{\nu} \nu a_\nu$.

Here, by Abel's transformation, we get

$$\begin{aligned} \bar{\Delta} M_n &= \sum_{\nu=1}^{n-1} \Delta_\nu \left(\frac{\hat{a}_{n\nu} \theta_\nu}{\nu} \right) \sum_{r=1}^{\nu} r a_r + \frac{\hat{a}_{nn} \theta_n}{n} \sum_{\nu=1}^n \nu a_\nu \\ &= \sum_{\nu=1}^{n-1} \left(\frac{\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu}) \theta_\nu}{\nu+1} + \frac{\hat{a}_{n\nu+1} \Delta \theta_\nu}{\nu+1} + \frac{\hat{a}_{n\nu} \theta_\nu}{\nu(\nu+1)} \right) (\nu+1) t_\nu + \frac{n+1}{n} a_{nn} \theta_n t_n \\ &= \frac{n+1}{n} a_{nn} \theta_n t_n + \sum_{\nu=1}^{n-1} \Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu}) \theta_\nu t_\nu + \sum_{\nu=1}^{n-1} \hat{a}_{n\nu+1} \Delta \theta_\nu t_\nu + \sum_{\nu=1}^{n-1} \frac{\hat{a}_{n\nu} \theta_\nu t_\nu}{\nu} = M_{n,1} + M_{n,2} + M_{n,3} + M_{n,4}. \end{aligned}$$

First, by using the facts that $\varphi_n a_{nn} = O(1)$ and $na_{nn} = O(1)$, we have

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,1}|^k &= \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} \left| \frac{n+1}{n} a_{nn} \theta_n t_n \right|^k \\ &= O(1) \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} a_{nn}^k \theta_n^k t_n^k \\ &= O(1) \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k} (\varphi_n a_{nn})^{k-1} a_{nn} \theta_n^k t_n^k \\ &= O(1) \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k} a_{nn} \theta_n^k t_n^k \\ &= O(1) \sum_{n=1}^m \frac{\varphi_n^{\delta k} \theta_n \theta_n^{k-1} t_n^k}{n}. \end{aligned}$$

Here $\theta_n^{k-1} = O(1)$, then we get

$$\sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,1}|^k = O(1) \sum_{n=1}^m \frac{\varphi_n^{\delta k} \theta_n t_n^k}{n}.$$

Applying Abel's transformation, we have

$$\sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,1}|^k = O(1) \sum_{n=1}^{m-1} \left(\sum_{r=1}^n \varphi_r^{\delta k} t_r^k \right) \Delta \left(\frac{\theta_n}{n} \right) + O(1) \left(\sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k} t_n^k \right) \frac{\theta_m}{m}.$$

Here

$$\Delta \left(\frac{\theta_n}{n} \right) = \frac{\theta_n}{n} - \frac{\theta_{n+1}}{n+1} = \frac{n\Delta\theta_n + \theta_n}{n(n+1)} < \frac{\Delta\theta_n}{n+1} + \frac{\theta_n}{n^2}.$$

Then, we have

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^m \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,1}|^k &= O(1) \sum_{n=1}^{m-1} n \left(\frac{\Delta \theta_n}{n+1} + \frac{\theta_n}{n^2} \right) + O(1) \theta_m \\ &= O(1) \sum_{n=1}^{m-1} \Delta \theta_n + O(1) \sum_{n=1}^{m-1} \frac{\lambda_n X_n}{n} + O(1) \lambda_m X_m = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

by using the hypotheses of Theorem 2 and Lemma 2.

Now, using Hölder's inequality with indices k and k' , where $k > 1$ and $\frac{1}{k} + \frac{1}{k'} = 1$, we have

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,2}|^k &= \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \left| \sum_{\nu=1}^{n-1} \Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu}) \theta_\nu t_\nu \right|^k \\ &\leq \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \sum_{\nu=1}^{n-1} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| \theta_\nu^k t_\nu^k \left\{ \sum_{\nu=1}^{n-1} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| \right\}^{k-1}. \end{aligned}$$

By using (2), (1), (10) and (9), it follows that

$$\sum_{\nu=1}^{n-1} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| = \sum_{\nu=1}^{n-1} (a_{n-1,\nu} - a_{n\nu}) = \sum_{\nu=0}^{n-1} a_{n-1,\nu} - a_{n-1,0} - \sum_{\nu=0}^n a_{n\nu} + a_{n0} + a_{nn} = \bar{a}_{n-1,0} - a_{n-1,0} - \bar{a}_{n0} + a_{n0} + a_{nn} \leq a_{nn}.$$

Thus,

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,2}|^k &\leq \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} (\varphi_n a_{nn})^{k-1} \sum_{\nu=1}^{n-1} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| \theta_\nu^k t_\nu^k \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \theta_\nu^k t_\nu^k \sum_{n=\nu+1}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} |\Delta_\nu(\hat{a}_{n\nu})| \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} a_{\nu\nu} \theta_\nu^k t_\nu^k = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty, \end{aligned}$$

as in $M_{n,1}$.

Again using Hölder's inequality, and using the conditions (16), (13), (15) and (11), it follows that

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,3}|^k &= \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \left| \sum_{\nu=1}^{n-1} \hat{a}_{n,\nu+1} \Delta \theta_\nu t_\nu \right|^k \\ &\leq \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \sum_{\nu=1}^{n-1} \hat{a}_{n,\nu+1} (\Delta \theta_\nu)^k t_\nu^k a_{\nu\nu}^{1-k} \left\{ \sum_{\nu=1}^{n-1} a_{\nu\nu} \hat{a}_{n,\nu+1} \right\}^{k-1} \\ &= O(1) \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} (\varphi_n a_{nn})^{k-1} \sum_{\nu=1}^{n-1} \hat{a}_{n,\nu+1} (\Delta \theta_\nu)^k t_\nu^k a_{\nu\nu}^{1-k} \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m (\Delta \theta_\nu)^k t_\nu^k a_{\nu\nu}^{1-k} \sum_{n=\nu+1}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} \hat{a}_{n,\nu+1} \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} (\Delta \theta_\nu)^k t_\nu^k \nu^{k-1}. \end{aligned}$$

Since $(\nu \Delta \theta_\nu)^{k-1} = O(1)$, we obtain

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,3}|^k &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} (\Delta \theta_\nu)^k t_\nu^k \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} t_\nu^k (\Delta \lambda_\nu X_\nu + \lambda_{\nu+1} \Delta X_\nu) \\ &= O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} t_\nu^k \Delta \lambda_\nu X_\nu + O(1) \sum_{\nu=1}^m \varphi_\nu^{\delta k} t_\nu^k \lambda_{\nu+1} \Delta X_\nu. \end{aligned}$$

For the first part, using the condition (4), and using Abel's transformation, it follows that

$$\sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} t_v^k \Delta \lambda_v X_v = O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \left(\sum_{r=1}^v \varphi_r^{\delta k} t_r^k \right) \Delta \left(\frac{\lambda_v X_v}{v} \right) + O(1) \left(\sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} t_v^k \right) \frac{\lambda_m X_m}{m}.$$

Then, by using the hypotheses of Theorem 2 and Lemma 2, we obtain

$$\begin{aligned} \sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} t_v^k \Delta \lambda_v X_v &= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} v \left(\frac{\lambda_v X_v}{v^2} + \frac{\Delta \lambda_v X_v}{v} + \frac{\lambda_{v+1} \Delta X_v}{v} \right) + O(1) \lambda_m X_m \\ &= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \frac{\lambda_v X_v}{v} + O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \Delta \lambda_v X_v + O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \lambda_{v+1} \Delta X_v + O(1) \lambda_m X_m \\ &= O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Also, for the second part, again using Abel's transformation, and the conditions (4), (7), (8), (6), we get

$$\begin{aligned} \sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} t_v^k \lambda_v \Delta X_v &= \sum_{v=1}^{m-1} \left(\sum_{r=1}^v \varphi_r^{\delta k} t_r^k \right) \Delta (\lambda_v \Delta X_v) + \left(\sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} t_v^k \right) \lambda_m \Delta X_m \\ &= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} v (\Delta \lambda_v \Delta X_v + \lambda_{v+1} \Delta^2 X_v) + O(1) m \lambda_m \Delta X_m \\ &= O(1) \sum_{v=1}^{m-1} \lambda_v \Delta X_v + \sum_{v=1}^{m-1} v \lambda_{v+1} \Delta^2 X_v + O(1) m \lambda_m \Delta X_m \\ &= O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty. \end{aligned}$$

Therefore, we get $\sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,3}|^k = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty$.

Finally, using (12), (11), (13) and (15), we have

$$\begin{aligned} \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,4}|^k &= \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \left| \sum_{v=1}^{n-1} \frac{\hat{a}_{nv} \theta_v t_v}{v} \right|^k \\ &\leq \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} \sum_{v=1}^{n-1} \left(\frac{1}{v} \right)^k \hat{a}_{nv} \theta_v^k t_v^k a_{vv}^{1-k} \left\{ \sum_{v=1}^{n-1} a_{vv} \hat{a}_{nv} \right\}^{k-1} \\ &= O(1) \sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} (\varphi_n a_{nn})^{k-1} \sum_{v=1}^{n-1} \hat{a}_{nv} \theta_v^k t_v^k a_{vv} \\ &= O(1) \sum_{v=1}^m \theta_v^k t_v^k a_{vv} \sum_{n=v+1}^{m+1} \varphi_n^{\delta k} \hat{a}_{nv} \\ &= O(1) \sum_{v=1}^m \varphi_v^{\delta k} a_{vv} \theta_v^k t_v^k. \end{aligned}$$

Then, as in $M_{n,1}$, we obtain

$$\sum_{n=2}^{m+1} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,4}|^k = O(1) \text{ as } m \rightarrow \infty.$$

Thus, we obtain $\sum_{n=1}^{\infty} \varphi_n^{\delta k+k-1} |M_{n,r}|^k < \infty$ for $r = 1, 2, 3$ and $r = 4$, which complete the proof of Theorem 2.

4. Discussion and Conclusion

In this paper, a general theorem on $\varphi - |A; \delta|_k$ summability factors of an infinite series has been obtained and it reduces to Theorem 1 in case of $\delta = 0$ and $\varphi_n = n$. Therefore, the conditions (13)-(16) are automatically satisfied.

Acknowledgment

The author wish to thank Prof. Dr. Hikmet Özarşlan for her valuable support, comments, suggestions and corrections.

References

- [1] Sulaiman, W. T. 2013. Some new factor theorem for absolute summability. *Demonstratio Math.*, 46 (1), 149-156.
- [2] Özarşlan, H. S. 2018. A new study on generalised absolute matrix summability methods. *Maejo Int. J. Sci. Technol.*, 12 (3), 199-205
- [3] Tanović-Miller, N. 1979. On strong summability. *Glasnik Mat. Ser. III*, 14 (34), 87-97.
- [4] Bor, H. 1993. On absolute summability factors. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 118 (1), 71-75.
- [5] Bor, H. 1996. On $|\overline{N}, p_n|_k$ summability factors. *Kuwait J. Sci. Eng.*, 23 (1), 1-5.
- [6] Mazhar, S. M. 1997. A note on absolute summability factors. *Bull. Inst. Math. Acad. Sinica*, 25 (3), 233-242.
- [7] Mazhar, S. M. 1999. Absolute summability factors of infinite series. *Kyungpook Math. J.*, 39 (1), 67-73.
- [8] Bor, H. 2000. An application of almost increasing and δ -quasi-monotone sequences. *JIPAM. J. Inequal. Pure Appl. Math.*, 1 (2) Article 18, 6pp.
- [9] Bor, H. 2001. On absolute Riesz summability factors. *Adv. Stud. Contemp. Math. (Pusan)*, 3 (2), 23-29.
- [10] Bor, H. 2007. A note on absolute Riesz summability factors. *Math. Inequal. Appl.*, 10 (3), 619-625.
- [11] Özarşlan, H. S., Öğdük, H. N. 2007. On absolute matrix summability methods. *Math. Commun.*, 12 (2), 213-220.
- [12] Özarşlan, H. S. 2010. A note on $|A, p_n|_k$ summability factors. *Antarct. J. Math.*, 7, 23-30.
- [13] Özarşlan, H. S. 2013. A new application of almost increasing sequences. *Miskolc Math. Notes*, 14 (1), 201-208.
- [14] Özarşlan, H. S., Keten, A. 2013. On a new application of almost increasing sequence. *J. Inequal. Appl.*, 13, 1-7.
- [15] Özarşlan, H. S., Yavuz, E. 2013. A new note on absolute matrix summability. *J. Inequal. Appl.*, 474, 1-7.
- [16] Özarşlan, H. S. 2014. A note on generalized absolute Riesz summability. *An. Ştiinţ. Univ. Al. I. Cuza Iaşi. Mat. (N.S.)*, 60 (1), 51-56.
- [17] Özarşlan, H. S., Yavuz, E. 2014. New theorems for absolute matrix summability factors. *Gen. Math. Notes*, 23(2), 63-70.

- [18] Özarslan, H. S. 2015. A new application of absolute matrix summability. *C. R. Acad. Bulgare Sci.*, 68 (8), 967-972.
- [19] Özarslan, H. S., Şakar, M. Ö. 2015. A new application of absolute matrix summability. *Math. Sci. Appl. E-Notes*, 3 (1), 36-43.
- [20] Özarslan, H. S. 2016. On generalized absolute matrix summability methods. *Int. J. Anal. Appl.*, 12 (1), 66-70.
- [21] Kartal, B. 2017. On generalized absolute Riesz summability method. *Commun. Math. Appl.*, 8 (3), 359-364.
- [22] Özarslan, H. S., Karakaş, A. 2017. A new result on the almost increasing sequences. *J. Comp. Anal. Appl.*, 22 (6), 989-998.
- [23] Özarslan, H. S., Kartal, B. 2017. A generalization of a theorem of Bor. *J. Inequal. Appl.*, 179, 1-8.
- [24] Karakaş, A. 2018. On absolute matrix summability factors of infinite series. *J. Class. Anal.*, 13 (2), 133-139.
- [25] Karakaş, A. 2018. N note on absolute summability method involving almost increasing and δ -quasi-monotone sequences. *Int. J. Math. Comput. Sci.*, 13 (1), 73-81.
- [26] Kartal, B. 2019. New results for almost increasing sequences. *Ann. Univ. Paedagog. Crac. Stud. Math.*, 18, 85-91.
- [27] Özarslan, H. S. 2019. A new factor theorem for absolute matrix summability. *Quaest. Math.*, 42 (6), 803-809.
- [28] Özarslan, H. S. 2019. An application of absolute matrix summability using almost increasing and δ -quasi-monotone sequences. *Kyungpook Math. J.*, 59 (2), 233-240.
- [29] Özarslan, H. S., Kartal, B. 2020. Absolute matrix summability via almost increasing sequence. *Quaest. Math.*, 43 (10), 1477-1485.

Mikroyapının Stronsiyum Bizmut Tantalat İnce Filmlerin Ferroelektrik ve Elektriksel Özelliklerine Etkisi

Nurvet KIRKGEÇİT^{ID*}1, Mehmet S. BOZGEYİK^{ID}1,2

*1 Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği
Anabilim dalı, Kahramanmaraş

² Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Kahramanmaraş

(Alınış / Received: 29.03.2018, Kabul / Accepted: 29.09.2021, Online Yayınlanma/ Published Online: 30.12.2021)

Anahtar Kelimeler

Akıllı malzemeler,
Ferroelektrik ince film,
Elektriksel
karakterizasyon,
Mikroyapı,
Sol-jel spin kaplama

Özet: Bu çalışmada sol-jel spin kaplama tekniğiyle hazırlanmış stronsiyum bizmut tantalat ($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT)) ince filmin elektriksel özellikleri ve mikroyapı özellikleri arasındaki ilişki detaylı olarak araştırılmıştır. SBT ince filmin yüzey mikroyapı özellikleri atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile incelenmiştir. Yüzey morfolojisi incelemesinden değişik şekilli homojen olmayan bir zerre boyutu dağılımı gözlenmiştir. Kristal yapı analizi x-ışını kırınımı metodu (XRD) ile karakterize edilmiştir. XRD kırınım deseninden ince filmin (115) yönünde baskın polikristal şeklinde zayıf kristallendiği belirlenmiştir. Kapasitans özellikleri kapasitans-gerilim (C-V) ölçümü ile yapılarak değerlendirilmiş; ve yaklaşık simetrik bir kelebek tipi histerise eğrisi gözlenmiştir. Ferroelektrik özellikleri kutuplanma (polarizasyon, P)-gerilim (V) ölçülerek analiz edilmiştir. Bu bağlamda P-V histerise eğrisindeki zayıf ferroelektrik özellikler zayıf kristallenmeye, zerre boyutundaki farklılıklara, gözenekliliğe ve yüksek kaçak akıma atfedilmiştir. Kaçak akım davranışı akım yoğunluğu-elektrik alan (J-E) ölçümüyle araştırılmıştır. Burada düşük alanlarda kaçak akımdaki ani artışın farklı boyut ve şekillerdeki zerrelerden dolayı oluşan yüzey pürüzlülüğü ve fazla miktardaki gözeneklerle ilişkilendirilmiştir. Elde edilen bulgular bağlamında SBT ince filmin zayıf elektriksel davranışı zayıf kristallenmeye, küçük zerre boyutuna, zerre sınırları arasındaki amorf fazın varlığına, yüksek kusur yoğunluklarına, gözenek yoğunluğuna, film/elektrot ara yüzeyinin zayıf kalitesine ve ince filmin yüzey pürüzlülüğüne bağlanmıştır. SBT ince filmin mikroyapı oluşumu ve özelliklerinin ferroelektrik ve elektriksel özellikler üzerinde kritik bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır.

Impact of Microstructure on the Ferroelectric and Electrical Properties of Strontium Bismuth Tantalate Thin Film

Keywords

Smart materials,
Ferroelectric thin film,
Electrical Characterization,
Microstructure,
Sol-gel spin coating

Abstract: In the current study, it was investigated the relationship between the electrical properties and microstructural properties of strontium bismuth tantalate ($\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ (SBT)) thin film prepared by sol-gel spin coating technique in detail. Surface microstructure properties of SBT thin film was investigated by a tomic force microscope (AFM). Based on the analysis of the surface morphology it was observed non-homogenous grain size distribution. Crystal structure analysis was characterized by x-ray diffraction (XRD) method. From the XRD diffraction pattern, it was determined that the thin film was weakly crystallized in a dominant (115) direction. Capacitive properties were probed by capacitance-voltage (C-V) measurement and a nearly symmetric butterfly type hysteresis loop was observed. Ferroelectric properties were analyzed by means of polarization-voltage (P-V) measurements. Accordingly, weak ferroelectric properties were attributed to the weak crystallinity, difference of grain size, porosity and high leakage current.

Leakage current behavior was studied via current density-electric field (J-E) measurements. Here, abrupt increase in the leakage current in low field was correlated with the surface roughness due to the difference in grain size and form and the plenty of porosity. In the context of the findings, the poor electrical behavior of the SBT thin film was ascribed to weak crystallinity, small particle size, presence of the amorphous phase between the particle boundaries, high defect densities, pore density, the poor quality of the film / electrode interface, and the surface roughness of the thin film. It is emphasized that microstructure formation and properties of SBT thin film have a critical effect on ferroelectric and electrical properties.

*İlgili Yazar, e-mail: nurvetkrkgct@gmail.com

1. Giriş

Baş döndürücü bir hızla hem işlevsellik ve hem de çeşitlilik açısından gelişen elektronik teknolojisinde akıllı malzemeler genellikle kristal şeklinde elektronik aygıtlarda ince film veya nanoyapılar şeklinde kullanılmaktadırlar. İnce nano/mikro filmlerde kristallerin oluşumu ve mikroyapısı üretim teknolojisi ve şartlarına kritik bir şekilde bağlıdır. Böylece üretilecek olan elektronik aygıtların belirgin özellikleri de dolayısıyla değişik fiziksel ve kimyasal depolama yöntemleri ve şartları sonucu oluşan ince filmin mikroyapı kalitesine dayalıdır. Özellikle bilişim teknolojisindeki muazzam gelişmelerden dolayı mevcut elektronik ürünlerin fonksiyonel özelliklerinin iyileştirilmesinde daha işlevsel malzemelerin araştırılması zorunlu olmuştur. Kendiliğinden elektriksel kutuplanma ve bunun dış elektriksel alanla çevrilmesi, piezoelektriklik ve piroelektriklik davranış gibi zengin fiziksel özellikleri sayesinde ferroelektrik malzemeler nanoteknolojik, elektronik ve spintronik cihazların tasarımında ve işlevselliğinin artırılmasında ciddi katkı sağlama potansiyellerine sahiptir [1]. Ferroelektrik malzemelerin farklı fonksiyonel özellikleri arasında en cazip olanı kayıtlı bilginin elektriksel alan kesintiye uğrasa veya olmasa bile bilginin uçmadığı (kaybolmadığı) Ferroelektrik Rastgele Erişim Bellekleridir (FeRAM veya NV-FeRAM). FeRAMler dijital belleklerde olduğu gibi bilgi okuma/yazma işlemleri ikili sayı sisteminde '1' ve '0' olarak kodlandığı iki kalıcı elektriksel kutuplanmanın (+P_r, -P_r) uygulanan dış elektrik alan altında histerise bir şekilde döndürülebilmesi (anahtarlanması veya çevrilmesi) ile çalışır [2].

Kristal yapı açısından bakıldığında bizmut tabaka yapılı ferroelektrikler (Bi₂O₂)²⁺(A_{m-1}B_mO_{3m+1})²⁻ genel kimyasal formülü ile Aurivillius fazlı olarak adlandırılan bileşiklerin çok katmanlı ailesine aittir. SBT in tabakalı yapısı psedü-tetragonal c-ekseni boyunca (Bi₂O₂)²⁺ tabakalar arasına yerleştirilen (SrTa₂O₇)²⁻ iki perovskit benzeri tabaka blokların istiflenmesiyle oluşur [3]. BO₆ oktahedral kendiliğinden kutuplanma sergiler ve (Bi₂O₂)²⁺ tabakalar paraelektrik yalıtkan tabakalar olarak davranırlar ve elektronik özellikleri kontrol ederler [4]. Bizmut tabakalı perovskit benzeri bir ferroelektrik olan stronsiyum bizmut tantalat (SrBi₂Ta₂O₉ (SBT)) FeRAM uygulamaları için en popüler malzemelerden biridir [5]. Çünkü bu alanda çok kullanılan PZT (Kurşun Zirkonyum Titanat) ile kıyaslandığında SBT ihmal edilebilir yorulma, yüksek anahtarlanma hızı, düşük anahtarlanma voltajı ve metal elektrotlarla bile düşük kaçak akım yoğunluğu gibi üstün özelliklerinden dolayı daha çekici hala gelmiştir [6]. Fakat çeşitli mühendislik uygulamaları için SBT ferroelektrik ince filmler düşük kalıcı kutuplanma değeri, yüksek kristallenme sıcaklığı (>750 °C) ve düşük Curie sıcaklığı gibi bazı dezavantajlara sahiptirler [7]. Bundan dolayı yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda çeşitli metal oksitlerle aşılınmış stokimetric olmayan fazda iletken metal-oksit elektrotlar üzerinde SBT ince filmleri büyütülerek bu önemli olumsuzlukların giderilmesi amaçlanmıştır [8]. Sol jel yöntemiyle Pt/Ti altlık üzerinde 47 nm ve 98 nm aralığında hazırlanan Eu-SBT ince filmlerin kalıcı kutuplanma değerinin ince filmin kalınlığına göre değişiklik gösterdiği bildirilmiş [9]. Bunlara ek olarak son yıllarda geleneksel kapasitör tipli yerine transistör tipli (1T-tipli, FeFET) FeRAMlerde ferroelektrik ince filmlerin diğer ilgili elektronik cihazlarda olduğu gibi asıl işlevi yöneten ferroelektrik ince film malzemelerin kimyasal bileşimleri, mikroyapıları, kapasitör ve transistör içindeki bütünleşme süreçleri incelenmektedir. FeFET tipli FeRAMler saklama süresinin kısa olması nedeniyle henüz ticari bir ürüne dönüştürülememiştir. Bozgeyik tarafından bir FeFET transistör tipi ferroelektrik rastgele erişimli bellek uygulaması için, Ba ve Zr birlikte modifiye edildiği SBT ince filmlerin ferroelektrik ve elektriksel özellikleri ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve uygun aday olabileceği vurgulanmıştır [10].

Yakın zamanda Takahashi ve Sakaistronsiyum bizmut tantalat FeFET üretimi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu çalışmada başarılı bir şekilde üretilen SBT-FeFETlerin, 10^5 saniyede ölçülen 10^9 çevrimle bilgiyi uzun süre tutma özelliğine sahip olduğunu bildirmişlerdir [11]. Ayrıca elektriksel özelliklerini inceleyerek malzeme ve dolayısıyla uygulama özelliklerini geliştirmeye ve iyileştirmeye yönelik araştırmalar devam etmektedir.

Elektriksel dipolmoment doğası gereği yük miktarı ve ayrışma uzaklığına bağlı olduğundan dolayı kristal yapı göz önüne alındığında ferroelektrik ince filmlerin fiziksel ve elektriksel özellikleri kristal kusurları, safsızlıklar, zerre boyutu, biçimi, dağılımı ve gözeneklilik seviyesinin dedahil olduğu mikroyapı bileşenlerine, ince filmin yüzey/arayüzey ve kimyasal kompozisyon gibi bir çok yapısal değişkene oldukça duyarlıdır. Bu değişkenleri kontrol etmek ve elektriksel özelliklere etkisini anlamak, bu malzemelerden üretilen teknolojik cihazların etkin kalite kontrolünü sağlamak, malzeme özelliklerini doğru yorumlamak ve fonksiyonel özelliklerini geliştirmek oldukça hayati öneme sahiptir.

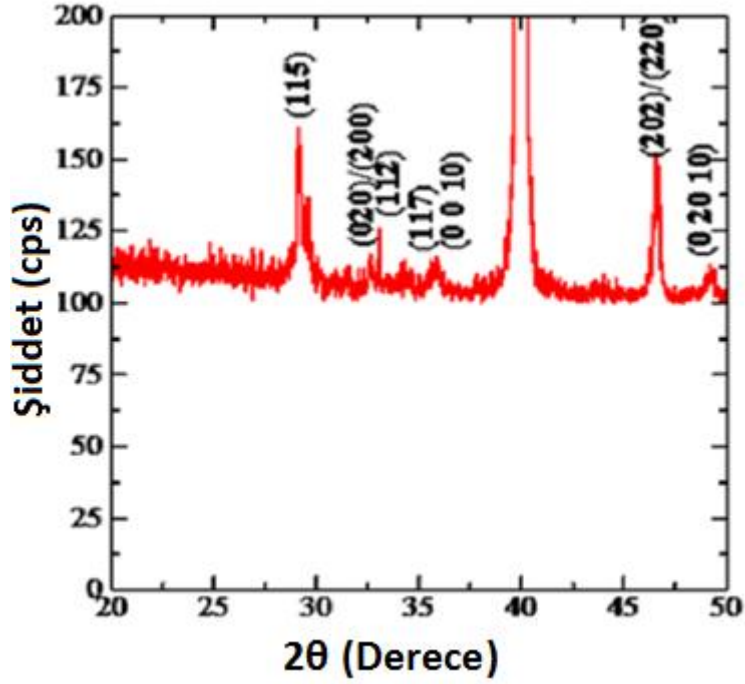
Sunulan çalışma sol-jel spin kaplama yöntemiyle üretilmiş SBT ferroelektrik ince filmin kutuplanma, kaçak akım ve kapasitans gibi elektriksel özelliklerinin zayıf kristal yapıya bağlı olarak nasıl değişim gösterdiği üzerine yapılmış bir araştırmadır. Sol-jel spin kaplama tekniği ile Pt/TiO₂/SiO₂/Si alttaş üzerine tabaka tabaka kaplanıp 750 °Cde tavlama ile üretilen SBT ince filmin elektriksel karakterizasyonukutuplanma-gerilim (P-V), akım yoğunluğu-gerilim (J-V) ve kapasitans-gerilim (C-V) gibi ölçümlerine dayalı analizler yapılmıştır. İnce filmin kristal yapısı XRD ve yüzey analizi AFM ile çalışılmıştır. Kaçak akım (akım yoğunluğu (J-V)) ölçümünü diğer kapasitans ve ferroelektrik ölçümler olan C-V ve P-V ile birlikte değerlendirilmiştir. Serbest yük taşıyıcılarının hareketinin ve yapısal kusurlar, yüzey pürüzlülüğü, safsızlıklar, zerre (sınırları, boyutu, biçimi, dağılımı) ve elektrot ara yüzeyleri gibi diğer etkiler ile nasıl bir etkileşim içerisinde olduğu kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir.

2. Materyal ve Metot

SBT prekürsör çözeltisi spin kaplama metoduyla 1 cm²Pt/Ti/SiO₂/Si (100) alt taş üzerine 2500 rpm dönme hızında 30 saniyede kaplanmıştır. Organik bileşiklerin uçması için ıslak film önce 155°C de 2 dk. sonra 240 °C 3 dk. ve daha sonra 400 °C 2 dk. olmak üzere sıcak tabla üzerinde kurutulmuştur. Sonrasında hızlı termal tavlama (RTA) fırınında 750 °Cde 1 dk. oksijen atmosferinde tavlanaştır. Bu süreç 5 defa tekrarlanır pen sonunda RTA fırınında 750 °C oksijen atmosferinde 30 dk. kristallenme yapılmıştır. Platin (Pt) üst elektrotla elektron demeti biriktirme metodu ile $3,14 \times 10^{-4}$ cm²lik yuvarlakelektrotlar şeklinde maske kullanılarak oluşturulmuştur. Kristal yapı x-ışını kırınım metoduyla (XRD) X Pert-Pro MPD, Philips le analiz edilmiştir. İnce film yüzey morfolojisi bir atomik kuvvet mikroskopu (AFM) NanoScope III DigitalInstrument le çalışılmıştır. Uygulanan gerilime karşın kaçak akım yoğunluğu değişimi (J-V) HP4156C yarıiletken parametre analizörü (semiconductor parameter analyzer) ile ölçülmüştür. Ayrıca kapasitansın uygulanan gerilime karşı değişimi (C-V) 1 MHz frekans değerinde bir LCR metre ile yapılmıştır. Ferroelektrik özellikler ferroelektrik test sistemi (ToyoCorp., FCE-1A/Fop-100V) kullanılarak oda sıcaklığında 10 kHz frekansta ölçülmüştür.

3. Bulgular

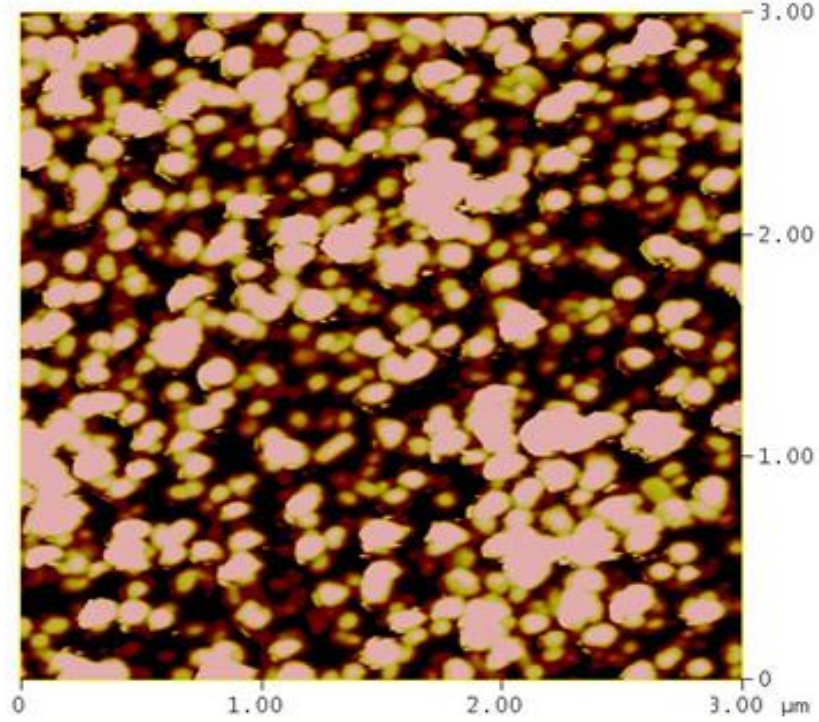
SBT ince filmin kristallenme özelliği x-ışını kırınım metodu (XRD) ile ölçülmüştür (Şekil 1). XRD ölçümünde pikler dışındaki temel sinyal şiddetlerine nazaran belirgin yüksek şiddet ve keskin dar pikler gözükmemektedir. XRD kırınım deseninde yaklaşık 39° de Pt alttaştan kaynaklanan geniş ve oldukça yüksek şiddette pik dışında SBT in karakteristik (115) ve (202) pikleri daha düşük şiddette gözükmemektedir. Ayrıca bu piklere nazaran çok daha düşük şiddetli (117), (020)/(200) ve (0010) pikleride bulunmaktadır. Buradan numunenin değişik kristal düzlemlerinde kristallendiği ve böylece çok kristal (polikristal) şekilde olduğu anlaşılmıştır. Diğer taraftan bu düşük şiddetli ve dar pikler SBT ince filmin çok zayıf kristallenme gösterdiğinin belirtisidir.



Şekil 1. SBT ince filmin XRD kristal kırınım deseni.

XRD deseninden numunenin çok düşük şiddet ve geniş pikler göstermesinin nedeni tavlama sürecinden kaynaklanan zerre boyutlarının etkisidir. Dolayısıyla çok ufak zerre boyutları ve homojen olmayan zerre boyut dağılımı zayıf kristallenme ve buna bağlı olarak gelişen örgüde kusurlara yol açabilmektedir [12]. Burada bilinmeyen zayıf pikler yüksek sıcaklıklarda bizmut bileşiğinin kolay uçuculuğu ve platin alt elektrot ile kolay difüzyonu sonucu meydana gelebilen ikincil fazlar olabilir [13]. Ayrıca ferroelektrik özellikler zerre boyutlarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Özellikle nanoboyutta kristal boyutlarında ferroelektrik özellikler zayıflamakta ve hatta yok olmaktadır. Örneğin 80 nm zerre boyutunda mikroyapı zayıf kristallenme ve buna bağlı olarak zayıf ferroelektrik ve elektriksel özellikler sergiler [14]. Ferroelektrik malzemelerin özellikleri ve kalıcı polarizasyon değeri sentezleme ve tavlama sürecine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Dolayısıyla zerre boyutu küçüldükçe kalıcı polarizasyon değeri de azalmaktadır. Böylece zayıf kristallenmenin neden olduğu mikroyapı çok düşük polarizasyona ve zerreler arası sınırların neden olduğu yüksek kaçak akıma neden olacaktır. Ayrıca tavlama sürecine bağlı olarak film yüzeyinde oluşabilecek mikrokırıklarda kaçak akım kanalları oluşturmasından dolayı ferroelektrik ve elektriksel özelliklerin zayıflamasında etkin mikroyapı olumsuzluklarıdır.

Kullanılan ısıtma işlemlerinin yöntemi ve süreci, depolanan malzeme, üretim teknikleri, kimyasal bileşimdeki farklılıklar vb. değişkenlerin, zerre boyutu ve şekli, ince filmin kristallenme kalitesi, gözeneklilik, yüzey pürüzlülüğü ve amorf veya olası ikincil fazlar gibi ince filmlerin mikroyapısal özellikleri etkilediği bilinmektedir. Bu yüzden ince filmin mikroyapısını karakterize etmek cihazın çalışma performansı için son derece önemlidir. Şekil 2 de SBT ince filminin atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile taranan yüzey morfolojisinin mikroyapı görüntüsü gösterilmektedir.

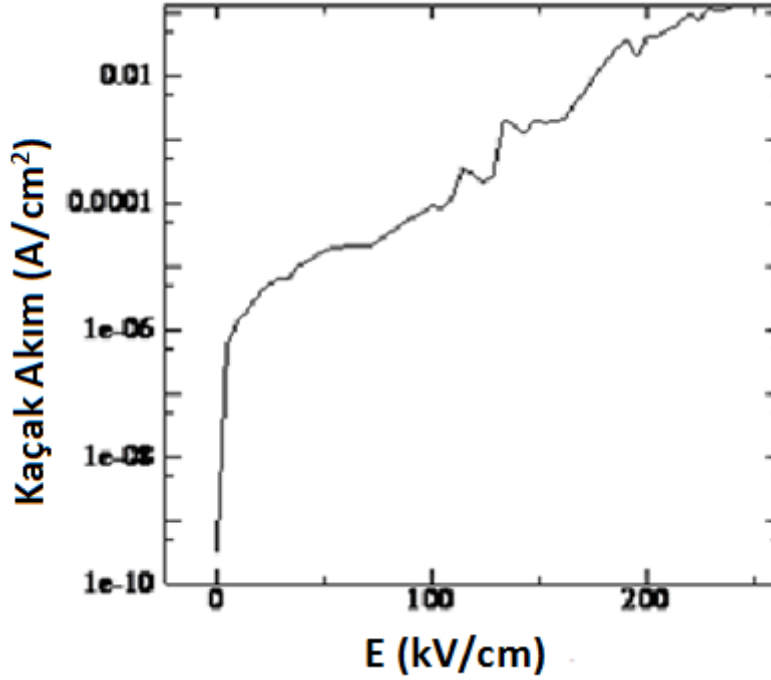


Şekil 2. Pt/TiO₂/SiO₂/Si yüzeyler üzerinde 750 °C de tavlanan SBT ince filmin AFM görüntüsü.

AFM görüntüsünden zerre sınırları ve gözenekler ile birbirinden ayrılan çoğunlukla küresel şekilli büyük ve küçük zerrelili, homojen olmayan bir mikroyapı dağılımı görülmektedir. İrili ufaklı zerrelilerin boyutları 70 nm ve 120 nm arasında bir değişim göstermektedir. Ferroelektrik ince filmlerin kalitesini belirlemede mikroyapı bileşenleri (zerrelilerin boyutu, biçimi, zerrelere arası sınırlar, yüzey morfolojisi, gözenek yoğunluğu, ikincil veya olası amorf fazlar) ferroelektrik ve elektriksel özellikler üzerinde kritik etkiye sahiptirler. Zerrelilerin boyutu, şekli ve dağılımı film pürüzlülüğü üzerinde etkin bir rol oynar. SBT ince filmin yüzey pürüzlülüğü yaklaşık olarak 12 nm'dir. İnce filmlerin üretimi esnasında kullanılan sentez ve tavlama sürecine ilişkin parametreler (kullanılan yöntem, kimyasal kompozisyon, kurutma ve termal işlemlere ait süreler, tavlama gaz atmosferi v.b.) yüzey pürüzlülüğüne etkileyici faktörlerdir. Genel anlamda bunlar zerre büyümesine yol açarak, zerrelilerin boyutlarında ve biçimlerinde farklılıklar meydana getirebilmektedir. SBT ince filmde meydana gelen yüzey pürüzlülüğü değişik boyutlarda ve şekillerde oluşan zerrelilerin varlığına ve boşluklara atfedilebilir. AFM'deki koyu bölgeler derinlerdeki zerrelere, gözenekliliği veya farklı boyutlardaki ikincil fazların varlığını gösterebilir. Gözeneklerin, boşlukların, kusurların ve ikincil fazların varlığı mikroyapı dâhilindeki kusurlara yol açar. Meydana gelen ikincil fazlar ince filmi kristallendirmek için kullanılan ısı işlemleri boyunca zerre yüzeylerini kaplar ve zerre sınırlarında yüzey yüklerine yol açar. Çünkü zerre sınırları kusurlar ve safsızlıklar için düşük potansiyel enerji bölgeleri sağlayabilir [15]. Sol-jel spin kaplama üretim tekniğinin olağan süreçleri olan sıcak tablada kurutma ve 750°C'de kristallenme için tavlama sonrası SBT ince filmlerin yüzey morfolojisinin pürüzlülüğünden dolayı düşük gerilim altında bile film profil kalınlığının belirgin farklılık göstermesiyle üst ve alt elektrotlar arası mesafenin ciddi bir şekilde azalmasına bağlı olarak yüksek elektrik alanından dolayı elektriksel karakterizasyon sürecinde geri dönüşümsüz elektriksel (dielektrik) bozunmaya (yanmaya) yol açacaktır.

İnce filmin mikroyapısındaki bu tür olumsuzluklar P-V, J-E, C-V gibi elektriksel özellikleri olumsuz şekilde etkileyebilmektedir. J-E karakteristiğine bağlı olarak kaçak akım yoğunluğunun belirli elektriksel alan altındaki değerinin tespit edilmesinin ferroelektrik kaygıt teknolojisinde cihazların performansı ve mühendislik açısından güvenilirliğinin tespiti açısından oldukça önemli bir gereksinimdir. Temelde yüksek kaçak akımının ferroelektrik özellikleri ve ayrıca bilgi saklama potansiyelini yok ettiği için minimize edilmesi gerekli olan bir olumsuzluktur. Ayrıca cihazların kullanımı esnasında aşırı güç kaybı ve ısınma gibi performansında birtakım olumsuzluklara yol açtığı için mevcut uygulamalarda kaçak akımın mümkün olduğu kadar az olması arzu edilen bir durumdur [16]. Bunun yanı sıra dijital belleklerde elektriksel yükler şeklinde depolanan bilgiler kaçak akımın çok büyük olması halinde bilgilerin silinmesine ve yok olmasına neden olmaktadır. Elektriksel kutuplanmayla kodlanan bilginin mümkün olduğunca uzun süre saklanabilmesi için ferroelektrik kapasitör veya tek transistörlü (Ferroelektrik Alan Etkili Transistör (FeFET) 1T-tipli) FeRAM'lerde kullanılan ferroelektrik ince filmin yalıtkanlık özelliği oldukça yüksek olmalıdır. Başka bir ifade ile kaçak akımın minimize edilmesi gereklidir. Ferroelektrik ince filmlerde kaçak akım kaynağı olarak oksijen boşlukları difüzyonu, boşluk yükü sınırlı

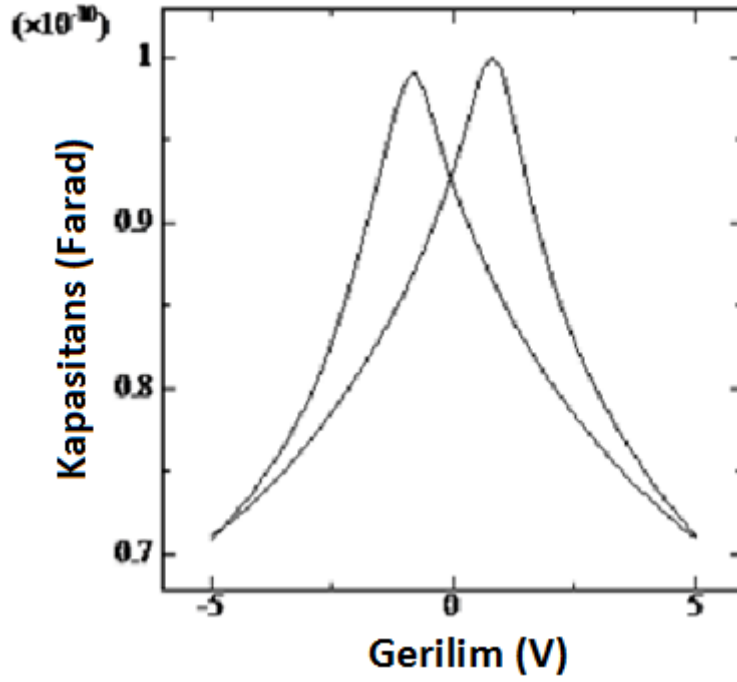
emiyon, Poole-Frenkel emiyonu, Schottky emiyonu, tünelleme gibi iletim mekanizmalarına ilaveten elektrotların türü, ince filmin kompozisyon bütünlüğü ve mikroyapının da dahil olduğu değişik mekanizmalar önerilmiştir [17]. Yapısal ve kimyasal bozukluklar (bizmut/oksijen boşlukları, yapısal çarpıklıklar, zerre sınırları, film/elektrot ve ferroelektrik film-yalıtkan tabaka arayüzeyleri) yasak bant aralıklarında yerleşmiş elektronik durumlara yol açabilmektedir [18]. Ferroelektrik ince filmlerde bu yapısal ve kimyasal bozukluklar serbest yük taşıyıcıları, kristal kusurları ve safsızlıkları tuzaklayarak yüklü hale gelebilmektedir. Elektriksel olarak aktif hale gelen bu yüklü kusurlar yüksek kaçak akıma yol açmaktadır. Şekil 3 akım yoğunluğu-elektriksel alan (J-E) değişimini göstermektedir.



Şekil 1. SBT ferroelektrik ince filmin elektriksel alana bağlı kaçak akım yoğunluğu değişimi.

Düşük elektriksel alan bölgesinde (0-10 kV/cm) kaçak akım yoğunluğu ani şekilde artmaktadır. Uygulanan elektriksel alanın artırılmasıyla (10-100 kV/cm) zerre sınırlarında tuzaklanan yapısal ve kimyasal kusurların (iyonlar ve elektronlar) kaçak akıma katkı sağlamaları beklenir. Çünkü yüksek elektriksel alan bölgelerinde elektronlar tuzakların dışına çıkarak kaçak akımda çok büyük bir artışa sebep olmaktadır [19]. Bundan dolayı uygulanan elektriksel alan artırılmaya devam edildikçe (100-200 kV/cm) kaçak akımdaki artışın da devam etmesi beklenir. İnce film/elektrot arayüzeylerinin pürüzlü morfolojisi, olası malzeme kusurlarının varlığı ve ince filmin mikroyapısının mikroelektronik cihazların çalışma koşullarını ve verimini olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Dolayısıyla gözlenen yüksek kaçak akım kristallenmedeki farklılıklar nedeniyle zerre boyutundaki ve yüzey mikroyapısındaki farklılıklara atfedilebilir [20]. Ferroelektrik ince filmdeki elektriksel karakterizasyon sürecinde düşük alanlarda meydana gelen kaçak akımı yüzey üzerinde kritik kusurlar gibi davranan gözenekler ve boşlukların yüksek seviyesine de bağlanabilir [21]. Kaçak akım davranışı ince filmin yüzey pürüzlülüğüne önemli ölçüde bağlıdır ve artan film pürüzlülüğü ile artar. Pürüzlü yüzeyler ince film/elektrot arayüzeyinde tersinim (inversion) tabakası üzerinde kuvvetli bir etkiye sahip olduğundan dolayı elektronik enerji seviyelerinin yer değiştirmesi beklenir. Bu durum cihazın işlevini değiştirebilir. Pürüzlülüğün sebep olduğu film yüzeyindeki yükselip alçalmalar nedeniyle film kalınlığı değişimi yerel elektriksel alanda değişimlere sebep olabilir. Belli bir gerilim yüzeyi pürüzlü bir ince film kapasitöre uygulandığında elektriksel alan zerreler arası derin dalgalanmalar arasındaki çukurlarda daha yüksek olacaktır. Bunun sonucu olarak elektriksel yüklere daha yüksek kuvvet uygulanarak ivmelenmeleri sağlanacak ve nihayetinde de daha yüksek kaçak akım yoğunluğu ölçülecektir [22]. Bu durum alt ve üst elektrotlar arasındaki malzeme, kristal yapı, yüzey morfolojisi ve mikroyapı gibi başta gelen farklılıktan kaynaklanmaktadır.

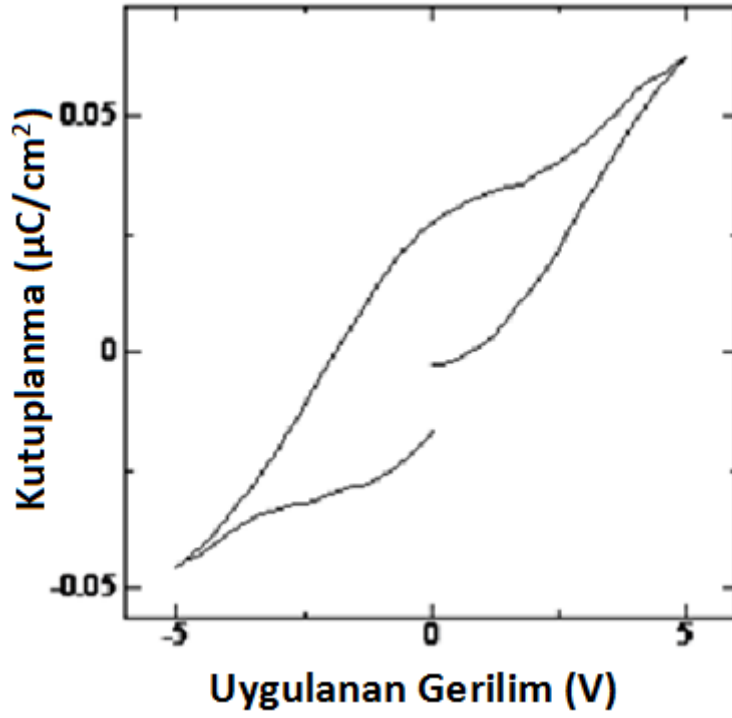
Kapasitans ölçümü göz önüne alınarak kapasitansın maksimum değeri anahtarlanabilir kutuplanmanın olduğu zorlama gerilim (V_C) değerine bağlıdır ve kendiliğinden kutuplanma anahtarlanmasının yüksek olduğu yerde gözlemlenebilir [23]. Şekil 4 de görüldüğü gibi SBT ince filmin C-V eğrisi tam simetrik olmayan yaklaşık simetrik kelebek tipi bir çevrim değişimi sergilemektedir.



Şekil 2. SBT ferroelektrik ince film kapasitansının gerilime bağlı değişimi.

Bunun nedeni alt ve üst elektrodun aynı malzeme olsa da ince film üretim sürecinde değişik ısı süreçlerinden kaynaklanan arayüz mikroyapısının farklılığından ve mikroyapıdaki olumsuzluklardan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bir yönde zorlayıcı voltaj değerindeki meydana gelen farklılıklardan kaynaklanmaktadır. SBT gibi bizmut tabaka yapılı ferroelektrikler anizotropik olduklarından dolayı dielektrik özellikleri domain duvarı ve hareketini önemli ölçüde etkileyen zerre boyutu, kristal yapı ve yönelimi ile yakından ilişkilidir [24]. Küçük zerre boyutlarına sahip ince filmlerde domain duvarlarında daha çok sabitleme etkisi meydana gelmektedir. Domain duvarındaki sabitlemeden dolayı anahtarlanma hızı azalacaktır ve bu durum dielektrik sabitini düşürecektir. C-V ölçümüne göre hesaplanan dielektrik sabiti değeri (ϵ_r) 90'dır. Halbuki bu değer diğer çalışmalarda 190 civarındadır [25]. Bundan dolayı büyük bir dielektrik sabiti iyi kristalize olan büyük zerrelili SBT ince filmlerde beklenir. Zerre boyutundaki artış dielektrik sabitini artırır ve domain duvarı hareketini daha kolay yapar [26]. C-V eğrisindeki asimetri sentez ve tavlama koşullarına bağlı ve diğer parametrelerden etkilenen zerre boyutundaki farklılıklara da atfedilebilir. Bundan başka film/elektrot arayüzündeki yüzey pürüzlülüğü gibi domainlerin dönmesini engelleyen ekstra durumlar meydana gelebilir. Dielektrik filmdeki küçük gözenekler (pinholes) gibi kusurlar ve metal/dielektrik arayüzünde meydana gelen pürüzlülükler yalıtkan malzemenin dielektrik sabitini etkileyen kapasitör alanı içinde elektrik alan özelliklerini değiştirebilir [27]. Dolayısıyla dielektrik sabiti sentez yöntemi, tavlama süreci, mikroyapı, boşluklar, kusurlar, domain duvarları ve benzeri çeşitli faktörlere bağlı olduğu sonucuna varılır.

Ferroelektrik ince filmin hafıza aralığı hakkında bilgi veren histerise eğrisi zorlayıcı elektriksel alan (E_C), doyum polarizasyonu (P_S) ve kalıcı kutuplanma (P_R) gibi ferroelektrik parametreleri hakkında bilgi verir. Şekil 5 SBT ince filmin kutuplanma-elektrik alan (P-E) histerise döngüsünü göstermektedir. Buradan görüldüğü gibi yukarıda bahsedilen olumsuz mikroyapı ve kristal yapıdan dolayı yüksek polarizasyonlu ve doyuma ulaşmış iyi bir P-V eğrisi elde edilmediği gözükmektedir.



Şekil 3.SBT ferroelektrik ince filmin P-V histerise eğrisi.

SBT ferroelektrik ince filmin bu şekilde P-V ferroelektrik davranışı zerrelerin boyutu ve şekliyle yakından ilişkilidir. Bundan dolayı zayıf kristallenmiş zayıf ferroelektriklik ve buna bağlı olarak çok düşük polarizasyona neden olması beklenir. Bu nedenle polikristal ferroelektrik ince filmlerde zerre boyutu ve domain yapısı elektriksel özellikleri belirleyen etkin faktörler arasında yer almaktadırlar. İyi kristalize olmayan ufak zerreler zayıf ferroelektrik özellik sergiler. Kritik zerre boyutu (80 nm) nin altındaki ufak zerreler genellikle tek bir domain yapısı sergileme eğilimindedir. Tek domaine yakın boyutlara sahip zerreler bir dış alan altında çok kararlıdır ve numunelerde domain çekirdeklenmesi zordur. Bu nedenle küçük bir kalıcı kutuplanma olduğunda ufak zerreli filmlerde beklenir [28]. Diğer bir deyişle çoklu domainlerin baskın olduğu büyük zerreler sahip olan film büyük kalıcı kutuplanmaya yol açan anahtarlanmayı daha kolay yapar. Bundan dolayı büyük zerre boyutlu SBT ince filmler daha iyi ferroelektrik özellikler gösterirler. Kalıcı kutuplanma değerinin SBT ince filmlerin kristalleşme kalitesine, zerre boyutuna ve biçimine büyük ölçüde bağlıdır. Ferroelektrik özellikler (kalıcı kutuplanma, doyum polarizasyonu ve zorlayıcı voltaj veya zorlayıcı elektriksel alan) domain yapısı, domain çekirdeklenmesi ve domain hareketliliği gibi özellikler tarafından etkilenir. Ferroelektrik anahtarlanma sırasında hareketli yükler ve yük kusurları uygulanan elektriksel alanın etkisinden dolayı domain sınırlarında birikebilir. Yük kusurları domainlerin belli bir yönünü kilitleyerek domain yönelimlerini engeller ve böylece domain duvarlarının hareketini zorlaştırır. Dolayısıyla bu sabitleme ferroelektrik histerise eğrisinin zorlayıcı alan değerini artırır ve ferroelektrik kutuplanmanın miktarını azaltır [29]. Özetlemek gerekirse SBT ferroelektrik ince film numunenin zayıf elektriksel davranışı zayıf kristallenme, zerrelerin boyut ve şekli, yüzey pürüzlülüğü, gözenekliliği, kusurların yüksek seviyesi, zerre sınırları arasındaki amorf fazın varlığı ve film/elektrot arayüzünün zayıf kalitesi ile yakından ilişkilidir.

4. Tartışma ve Sonuç

Sol-jel spin kaplama yöntemiyle üretilmiş olan bizmut tabaka yapılı bir ferroelektrik olan SBT ince filmin ölçülen elektriksel özellikleri (P-V kutuplanma, C-V kapasitans, J-E kaçak akım) ve AFM le taranmış yüzey morfolojisinin mikroyapısı analiz edilerek mikroyapı, ferroelektrik ve elektriksel özellikler arası ilişki araştırılmıştır. İnce filmin yüzey morfolojisi AFM den, kristallenme kalitesi XRD den ve elektriksel ölçümler (J-E, C-V, P-V) aracılığıyla incelenmiştir. XRD kırınım deseninde genişleyen pikler ufak zerre boyutunun varlığına atfedilmiştir. AFM mikro-görüntüsünden iki şekilli zerre boyutu ile homojen olmayan bir mikroyapının olduğu anlaşılmıştır. İnce filmin kalıcı kutuplanma değerinin zerrelerin boyutu, şekli, sınırları ve filmin kristallenme kalitesiyle yakından ilişkili olduğu görülmüştür. SBT ince filmin C-V eğrisi tam simetrik olmayan bir davranış sergilemiştir. Bu bağlamda P-V histerise eğrisindeki zayıf ferroelektrik özellikler zayıf kristallenme, zerre boyutundaki farklılıklara, gözenekliliğe ve yüksek kaçak akıma bağlanmıştır. Düşük alanlarda kaçak akımdaki ani artış büyük ve küçük farklı boyut ve şekillerdeki zerrelerden kaynaklanan yüzey pürüzlülüğü ve fazla miktardaki gözeneklilik ile ilişkilendirilmiştir. İnce filmlerin kristallenme kalitesinin kullanılan ısıtma işlem sürecine bağlı olarak

zerrelerin boyutunda ve şeklinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Yüksek yüzey pürüzlülüğünferroelektrik malzemelerin kutuplanma, kapasitans ve kaçak akımgibi elektriksel özelliklerini olumsuz yönde etkilediği ortaya konulmuştur.Dolayısıyla bunlara dayanarak özellikle bellek uygulamalarında uzun vadede bilgi derleme ve cihaz güvenilirliği sağlamak için ince filmin dielektrik ve yalıtkanlık özellikleriyle ilişkili olan ferroelektrik kristalin özgün kristal yapısı, mikroyapısı, arayüzey ve yüzey morfolojinin iyi belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.Bu kapsamda ferroelektrik ince film ferroelektrik olmayan diğer ikincil fazların olmadığı tek fazlı ve mümkün olduğunca homojen zerre yapısına sahip olmalıdır.Genel olarak ferroelektrik ince filmlerin,bizmut tabaka yapılı ferroelektriklerin ve özel olarak da SBTnin iyi elektriksel özellikler sergileyebilmesi için iyi derece kristallenmesi, mikrokırklar ve diğer ölümcül yapısal kusurların olmaması, film yüzey ve film-elektrot arayüzeylerinin mümkün olduğunca pürüzsüz olması gerektiği anlaşılmıştır .Ayrıca elektronik ve diğer yapısal kusurlardan kaynaklanabilecek hareketli serbest yüklerin olmaması yapılan ölçüm sonuçlarının yorumlanmasıyla ortaya konulmuştur. Bütün bu özellikler bu tür ferroelektrik ince film malzemeler için gerekli kimyasal sentezleme, alttaş ve elektrot malzemeleri, üretim sürecindeki ısıl uygulamalar vetümüyle temiz oda koşullarındaki şartların iyi takip edilmesi ve geliştirilmesiyle elde edilebilecektir.

Sonuç olarak bu çalışma ile literatüre özellikle SBT ve diğer ferroelektrik malzemelerin transistör ve kapasitör gibi değişik katmanlı aygıt yapıları için bilimsel katkı ince film ve elektrot üretimi özelinde aktif ince filmin kristallenme, zerre sınırları, kristal kusurlar, safsızlık fazları, gözeneklilik ve yüzey pürüzlülüğü gibi mikroyapısal kusurların ferroelektrik ve elektriksel özellikleri kritik şekilde etkileyen üretime dayalı faktörler olduğunun somut bir örnekle açıkça ve detaylı bir şekilde vurgulanmasıdır. Özellikle bellek uygulaması ve diğer olası elektronik aygıtlarda üretim aşamasının her kademesinde öncül mikroyapı analizinin yerinde (in situ) xrd ve buna entegre elementel analiz EDS (EDX) imkanları ile yapımı istenilen tek fazlı kristal yapı oluşumu ve stokiometri açısından bilgi sağlayacaktır. Elektronik aygıtlar değişik tabakalardan oluştuğundan dolayı süreçlerde ısıl tavlamalara ihtiyaç olduğundan dolayı sonrasında özellikle kristal yapıda oluşabilecek sorunlar yerinde tespit edilebilecektir. Bu çalışma bu tür olası yapısal sorunların aygıt üretim süreçleri olan alttaş üzerine ince film üretimi ve elektrotlama da karşılaşılabilecek mikro yapı bozukluklarının elektriksel ve ferroelektrik özelliklere olan olumsuz tesirlerini yerli yerinde bir örnekle ortaya koymakla literatüre ilgili elektronik aygıtlarda in situ karakterizasyonun önemine katkı sağlamıştır.

Bütün bu araştırmalardan edinilen tecrübeye dayanarak ve yukarıda ki tartışmalar bağlamında ileri çalışmalarda sol-jel gibi kimyasal depolama üretim yöntemlerine alternatif olarak pulslu lazer depolama (PLD) ve saçırma gibi fiziksel depolama yöntemleri ile stokiometrik sapmalardan uzak elementel bileşen kompozisyon sağlandığı ve homojen kristal yapının oluşumu yanında üretime dayalı kimyasal kirlilikten ve fiziksel kusurlardan irak iyi kalitede arayüzeylere sahip ince film ve aygıt üretimi hedeflenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi 2013/4-25M nolu BAP projesi ile kısmen desteklenmiştir.

Kaynakça

- [1]Wazalwar, A. N. (2021). Review of Applications of Ferroelectric Nanoparticles in Materials Technology. Journal of Advanced Scientific Research, 12 (2).
- [2] Ishiwara, H. 2000. Current Status and Prospects of FET-Type Ferroelectric Memories, FED Journal, 11 (2000), 27-40.
- [3]Paz de Araujo, C. A., Cuchiaro, J. D., McMillan, L. D., Scott, M. C., Scott, J. F. 1995. Fatigue Free Ferroelectric Capacitors with Platinum Electrodes, Nature, 374 (1995), 627- 629.
- [4] Kim, S.K., Miyayama, M., Yanagida, M. 1994. Electrical Anisotropy of BaBi₄Ti₄O₁₅ Single Crystal, Journal of the Ceramic Society of Japan, 102 (1994), 722-726.
- [5] Sahu, R., Swain, S., Mahapatra, A., Negi, R. R., Samanta, B., Nanda, D., & Kumar, P. (2020). Microwave-Assisted High-Energy Ball Milling Synthesis of SBT Nano-Ceramics. Integrated Ferroelectrics, 205 (1), 177-185.
- [6] Bozgeyik, M. S. 2018. Barium Silicate Modified Strontium Bismuth Tantalate Ferroelectric Thin Films, Chinese Journal of Physics, 56 (2018), 40-45.

- [7] Hsu, F. Y., Leu, C. C., Chien, C. H., Hu, C. T. 2006. Influence of Ta Content on the Physical Properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Ferroelectric Thin Films, *Material Research Society*, 21 (2006), 3124-3133.
- [8] Hu, G. D., Wilson, I. H., Xu, J. B., Li, C. P., Wong, S. P. 2000. Low Temperature Preparation and Characterization of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films on (100) Oriented LaNiO_3 Electrodes, *Applied Physics Letters*, 76 (2000), 1758.
- [9] Aizawa, K. (2021, February). Photoluminescent Spectrum Changes Associated With Remanent Polarization Degradation in Sub-100-nm-thick europium-doped Strontium Bismuth Tantalate Red-phosphor Thin Films. In 2021 International Symposium on Electrical, Electronics and Information Engineering (pp. 330-334).
- [10] Bozgeyik, M. S. (2019). Investigating structural features of Ba and Zr co-substituted strontium bismuth tantalate thin films. *Bulletin of Materials Science*, 42(2), 1-9.
- [11] Takahashi, M., & Sakai, S. (2021). Area-Scalable 109-Cycle-High-Endurance FeFET of Strontium Bismuth Tantalate Using a Dummy-Gate Process. *Nanomaterials*, 11(1), 101.
- [12] Chou, H. Y., Chen, T. M., Tseng, T. Y. 2003. Electrical and Dielectric Properties of Low-Temperature Crystallized $\text{Sr}_{0.8}\text{Bi}_{2.6}\text{Ta}_2\text{O}_{9+x}$ Thin Films on Ir/SiO₂/Si Substrates, *Materials Chemistry and Physics*, 82 (2003), 826-830.
- [13] Li, A., Wu, D., Ling, H., Yu, T., Wang, M., Yin, X., Liu, Z., Ming, N. 2000. Effect of Excess Bismuth on the Microstructure and Electrical Properties of Strontium Bismuth Tantalate (SBT) Thin Films, *Thin Solid Films*, 375 (2000), 215-219.
- [14] Li, A., Wu, D., Ling, H., Yu, T., Yin, X. Y., Liu, Z., Ming, N. 2000. Effect of Processing on the Characteristics of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Films Prepared by Metal Organic Decomposition, *Journal of Applied Physics*, 88 (2000), 1035-1041.
- [15] Zhu, X., Zhu, T., Ming, N. 2001. Microstructure of Grain Boundaries in (001) Oriented Strontium Bismuth Tantalate Thin Films Grown by Pulsed Laser Deposition, *Applied Physics*, 72 (2001), 503-507.
- [16] Zubko, P., Jung, D. J., Scott, J. F. 2006. Electrical Characterization of $\text{PbZr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6}\text{O}_3$ Capacitors, *Journal of Applied Physics*, 100 (2006), 114113-1.
- [17] Simões, A. Z., Ramírez, M. A., Longo, E., Varela, J. A. 2008. Leakage Current Behavior of $\text{Bi}_{3.25}\text{La}_{0.75}\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Ferroelectric Thin Films Deposited on Different Bottom Electrodes, *Materials Chemistry and Physics*, 107 (2008), 72-76.
- [18] Hu, H., Krupanidhi, S. B., 1994. Current Voltage Characteristic of Ultrafine Grained Ferroelectric $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Thin Films, *Material Research Society* 9 (1994), 1484-1498.
- [19] Young, C., Young, K., Gon, H., Jinsa, K., Choon-Nam, C., Chung-Hyeok, K. 2008. The International Conference On Electrical Engineering, July 6-10, Japan, No. P.119.
- [20] Sahu, R., & Kumar, P. (2020). Microstructural, dielectric and ferroelectric properties of $\text{Sr}_{0.8}\text{Bi}_{2.15}\text{Ta}_2\text{O}_9$ ceramic synthesized by microwave processing technique. *Phase Transitions*, 93(1), 91-99.
- [21] Celinska, J., Joshi, V., Narayan, S., McMillan, L., Paz de Araujo, C. 2003. Effect of Scaling the Film Thickness on the Ferroelectric Properties of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Ultra Thin Films. *Applied Physics Letters*, 82 (2003), 3937-3939.
- [22] Pintile, L., Vrejoiu, I., Hesse, D., Lerhun, G., Alexe, M. 2007. Ferroelectric Polarization Leakage Current Relation in High Quality Epitaxial $\text{Pb}(\text{Zr},\text{Ti})\text{O}_3$ Film, *Physical Review*, B 75 (2007), 104103.
- [23] Simões, A. Z., Ries, A., Stojanovic, B. D., Biasotto, G., Longo, E., Varela, J. A. 2007. Electrical Properties of Lanthanum Doped $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ Thin Films Annealed in Different Atmospheres, *Ceramics International*, 33 (2007), 1535-1541.
- [24] Bozgeyik, M. S., Jeffrey, S. C., Ishiwara, H., Shinozaki, K. 2009. Ferroelectric Properties of BaZrO_3 Doped $\text{Sr}_{0.8}\text{Bi}_{2.2}\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films, *Japanese Journal of Applied Physics*, 49(2009), 061403-1.

- [25] Bozgeyik, M.S., Jeffrey, S. C., Ishiwara, H., Shinozaki, K. 2009. Effect of Ba and Zr Doping in $\text{Sr}_{0.8}\text{Bi}_{2.2}\text{Ta}_2\text{O}_9$ Thin Films, *Materials Science and Engineering B*, 161 (2009), 130–133.
- [26] Chen, T.M., Chou, H. Y., Tseng, T. Y. 2003. Electrical and Dielectric Properties of Low Temperature Crystallized $\text{Sr}_{0.8}\text{Bi}_{2.6}\text{Ta}_2\text{O}_{9+x}$ Thin Films on Ir/SiO₂/Si Substrates, 82 (2003), 826-830.
- [27] Zhao, Y. P., Wang, G. C., Lu, T. M., Palasantzas, G., Hosson, M. D. 1999. Surface Roughness Effect on Capacitance and Leakage Current of an Insulating Film, *Physical Review B*, 60 (1999), 9157-9163.
- [28] Yang, J. K., Kim, W. S., Park, H. H. 2001. Effect of Grain Size of $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.4}\text{Ti}_{0.6})\text{O}_3$ Sol-jel Driven Thin Films on the Ferroelectric Properties, *Applied Surface Science*, 544 (2001), 544-548.
- [29] Leu, C. C., Chen, C. Y., Chien, C. H., Chang, M. N., Hsu, F. Y., Hu, C. T. 2003. Domain Structure Study of $\text{SrBi}_2\text{Ta}_2\text{O}_9$ Ferroelectric Thin Films by Scanning Capacitance Microscopy, *Applied Physics Letters*, 83 (2003), 3493-3495.

Comparison of Machine Learning Regression Models for the Prediction of Soil Moisture with the use of Internet of Things Irrigation System Data

Bilal Babayigit¹, Belkıs Büyükpatpat²,

¹Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, KAYSERİ

²Bartın Üniversitesi Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği, BARTIN

(Alınış / Received: 07.06.2021, Kabul / Accepted: 30.12.2021, Online Yayınlanma / Published Online: 30.12.2021)

Keywords

Soil Moisture Prediction,
Machine Learning Regression
Models,
Internet of Things,
ThingSpeak

Abstract: Internet of Things (IoT) technology allows the control and management of systems independent of humans. IoT-based agriculture applications have become widespread as a solution to the problems of food consumption and water scarcity in agriculture as the world population has increased gradually. Soil moisture is an important factor for agriculture production and hydrological cycles and the prediction of soil moisture is required in developing agricultural practices. In this study, an IoT-based irrigation system prototype is presented which consists of Esp8266 Wifi module, humidity and temperature, soil moisture, rain and ultraviolet sensors connected to the Arduino Uno board. Using the prototype system, data are collected from the pilot area determined in half-hour periods for 55 days and saved the cloud with ThingSpeak. The soil moisture value is estimated by applying different machine learning regression models such as multiple linear, polynomial, support vector, decision tree and random forest regression using the collected data. To examine the success of the algorithms, the obtained results are compared according to the coefficient of determination and the mean square error criteria. It is found that the random forest regression model has found to be superior to other machine learning algorithms for soil moisture estimation.

Nesnelerin İnterneti Sulama Sistemi Verileri Kullanılarak Toprak Neminin Tahmini için Makine Öğrenimi Regresyon Modellerinin Karşılaştırılması

Anahtar Kelimeler

Toprak Nem Tahmini,
Makine Öğrenmesi
Regresyon Modelleri,
Nesnelerin İnterneti,
ThingSpeak

Öz: Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisi, sistemlerin insanlardan bağımsız olarak kontrol edilmesine ve yönetilmesine olanak tanır. IoT tabanlı tarım uygulamaları, dünya nüfusunun giderek artmasıyla tarımda gıda tüketimi ve su kıtlığı sorunlarına çözüm olarak yaygınlaşmıştır. Toprak nemi, tarımsal üretim ve hidrolojik döngüler için önemli bir faktördür ve tarımsal uygulamaların geliştirilmesinde toprak neminin tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada Arduino Uno kartına bağlı Esp8266 Wifi modülü, nem ve sıcaklık, toprak nemi, yağmur ve ultraviyole sensörlerinden oluşan IoT tabanlı bir sulama sistemi prototipi sunulmuştur. Sunulan prototip sistemi kullanılarak pilot bir alandan 55 gün boyunca yarım saatlik periyotlarla veriler toplanmış ve bu veriler ThingSpeak ile bulut üzerinden kaydedilmiştir. Toplanan veriler kullanılarak çoklu doğrusal, polinomal, destek vektörü, karar ağacı ve rastgele orman regresyonu gibi farklı makine öğrenimi regresyon modelleri uygulanarak toprak nem değeri tahmin edilmiştir. Bu algoritmaların başarımını incelemek için elde edilen sonuçlar belirlilik katsayısı ve ortalama kare hatası kriterlerine göre karşılaştırılır. Rastgele orman regresyon modeli toprak nem tahmini için diğer makine öğrenmesi algoritmalarından daha üstün bulunmuştur.

*İlgili yazar, e-mail: bbuyukpatpat@bartin.edu.tr

1. Introduction

With the rapid developments in network technology, the number of objects connected to the Internet is increasing day by day. In direct proportion to this increase, applications and application areas based on the IoT, which can carry out things independently of people by facilitating people's lives, have developed. With the development of application areas, the volume of data produced by IoT applications has also increases [1]. IoT applications are network technology in which interconnected devices that can collect data for continuous control of systems, communicate with each other, can be remotely monitored or controlled. IoT technology enables the world to be smart and appears in many areas such as smart city, smart environment, smart grids, security and emergencies, smart retail, home automation, animal husbandry and smart agriculture [2].

One of the most basic human needs is water and water scarcity has become a universal problem due to the increasing world population [3]. This problem requires the optimum use of available water resources. Food demand dominates the water consumption as it uses 85% of agricultural water resources worldwide. [4]. In addition to preventing the consumption of resources, smart agriculture has an important role in contributing to environmental sustainability and reducing costs. Systems that irrigate periodically used in agricultural activities neglect external factors that may affect soil moisture. Such a system causes the consumption of water resources as well as the inefficiency of the soil by over irrigation. It is important to accurately measure the relationship between soil and water in smart farming practices. The parameter that directly reflects the water requirement of the soil in agricultural applications is soil moisture. For this reason, accurate soil moisture estimation can give an idea about the irrigation needs and the suitability of the area for agriculture in the long term. In the field of smart agriculture, which is one of the IoT application areas, many studies have been carried out to remotely monitor environmental data, provide an information system for agriculture, and collect basic data for smart precision irrigation [5-9].

Liu [10] developed an IoT-based land monitoring system that includes sensors for CO₂, temperature and humidity, soil moisture, light intensity, and pH value. He was used a camera to record photos and videos of his field of study. The data received from the sensors with the microcontroller were transmitted to the web portal and the data was stored in the SQL database ZigBee technology was used for communication, solar energy and battery power were used for the devices used.

Yang et al. [11] proposed an IoT-based greenhouse system where environmental data from sensors such as humidity, temperature, amount of light, CO₂, O₂, O₃, NO₂ were stored and analyzed with Hadoop. In the proposed greenhouse system, data sent with ESP8266 Wifi module was stored in MySQL and transferred to the cloud platform and analyzed with Hadoop HDFS. The analyzed data was presented to the user via the web and android interface.

Shekhar et al. [12] proposed a smart irrigation system to determine the water demand of the area using the K-nearest neighbor algorithm (KNN). Humidity and temperature data received from the environment were sent to Raspberry Pi via the gateway. The collected data and the predicted data with the KNN algorithm were stored and displayed on the cloud server.

Gorthi and Dou [13] made a comparison of different models developed for the prediction of soil moisture content using the data obtained from soil moisture experiments between June 23 and July 12. Soil moisture content was used as a model output. The models developed include basic regression models such as polynomial regression, adaptive basic function generation, Bayesian frame-based relation vector machines, multivariate adaptive regression based on iterative partitioning, classification and regression trees based on continuous class learning, and multi-layer perceptron networks. the neural network based model was more efficient than other models with 0.0024 mean square error (MSE) value.

Prakash et al. [14] used multiple linear regression, support vector regression, and recurrent neural network methods to estimate soil moisture for 1,2 and 7 days in three different datasets (with 569, 4749 and 92 samples) collected from different online pools. As a result of the evaluation, it was seen that the multiple linear regression is superior with the coefficient of determination (R^2) value of 0.975 for 1 day before, 0.939 for 2 days before and 0.786 for 7 days before.

Goap et al. [15] developed a Raspberry Pi and Arduino based system in the rose garden to collect data. In the experimental study, soil moisture sensor (VH-400), temperature and humidity sensor (DHT22) and Ultraviolet

(UV) sensor were used. Regression analysis was performed in R programming. Multiple linear regression (MLR), ridge regression, weighted linear regression and support vector regression (SVR) were created for the data obtained from the sensor. SVR found the best result with 0.9383 R value.

Sing et al. [16] developed an application to optimize the use of water by estimating the soil moisture value. Air temperature, air humidity, soil moisture, soil temperature, radiation sensors were installed to collect data from the IoT-based smart irrigation system and also weather forecast data from the Internet was used to estimate the soil moisture value. Machine learning techniques such as Gradient Boosted Regression Tree (GBRT), Random Forest (RF), MLR and Elastic Net Regression (ENR) were used for prediction. The results show that GBRT outperforms the other methods with R^2 of 0.94.

When it examined the studies given above MLR, SVR, neural networks are the commonly used methods in soil moisture estimation. In the addition to the mostly evaluated methods in the literature, in this paper the performance of polynomial regression (PR), decision tree regression (DT) and RF algorithm are also evaluated.

The rest of the paper is organized as follows. In section 2, system design architecture and machine learning algorithms are given. In section 3, the results are shown. Finally, discussion and conclusions are given in section 4.

2. Material and Method

Machine Learning is the automatic detection of meaningful patterns in data [17]. There are various machine learning algorithms such as regression, classification, clustering, neural networks regarding the properties of the problems. In this section, the regression methods used in the study are briefly introduced.

2.1. Machine Learning Regression Algorithms

Multiple Linear Regression; MLR models the linear relationship between the dependent (target) variable with a numerical value and a set of independent variables. Thanks to this defined relationship, all information about independent variables can be found and this information can be used to produce more effective and accurate estimates. Its mathematical representation is given in Eq.1.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_N X_N + \varepsilon \quad (1)$$

Polynomial Regression; PR is a method that tries to explain such a relationship when there is a nonlinear relationship between data. Its mathematical representation is given in Eq.2.

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 X_2 + \beta_3 X_1^2 \dots + \beta_N X_N^N + \varepsilon \quad (2)$$

N is the degree of polynomial here. Nonlinear connections are expressed between the independent variables used in the model.

Support Vector Regression; Before being used as a regression method, the support vector machine [18] used for classification aims to cover the maximum data point by keeping the margin range wide. This method, which has different kernel functions, allows us to draw curves suitable for our data set. Mathematical representation of linear SVR is given in Eq.3 and nonlinear SVR is given in Eq.4.

$$y = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) \cdot \langle x_i, x \rangle + b \quad (3)$$

$$y = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) \cdot \langle Q(x_i), Q(x) \rangle + b \quad (4)$$

Decision Tree Regression; It is the regression method that makes predictions using the tree structure [19]. In the structure created according to the data points, the decision variables are found in the nodes, and the values found by calculating the region averages as a result of the forecast are found in the leaves. The number of leaf nodes gives the dependent variables produced by estimation. The prediction process starts from the root node, tests the decision variables and continues until the leaf reaches the nodes. The last leaf node reached by the method is the result of the node estimation.

Random Forest Regression; Random forest regression generates multiple decision trees on a randomly selected dataset. The arguments that are input for the prediction process move through each tree structure created, reach the leaf node and generate the value. It produces predictive value by taking the average of the leaf node values found by each tree [20].

2.1. System Design Architecture

The block diagram of the system used to collect data from the IoT based irrigation system is given in Figure 1. The data received from the sensor node in the system is read by Arduino and saved to the cloud with the Esp8266 Wifi module.

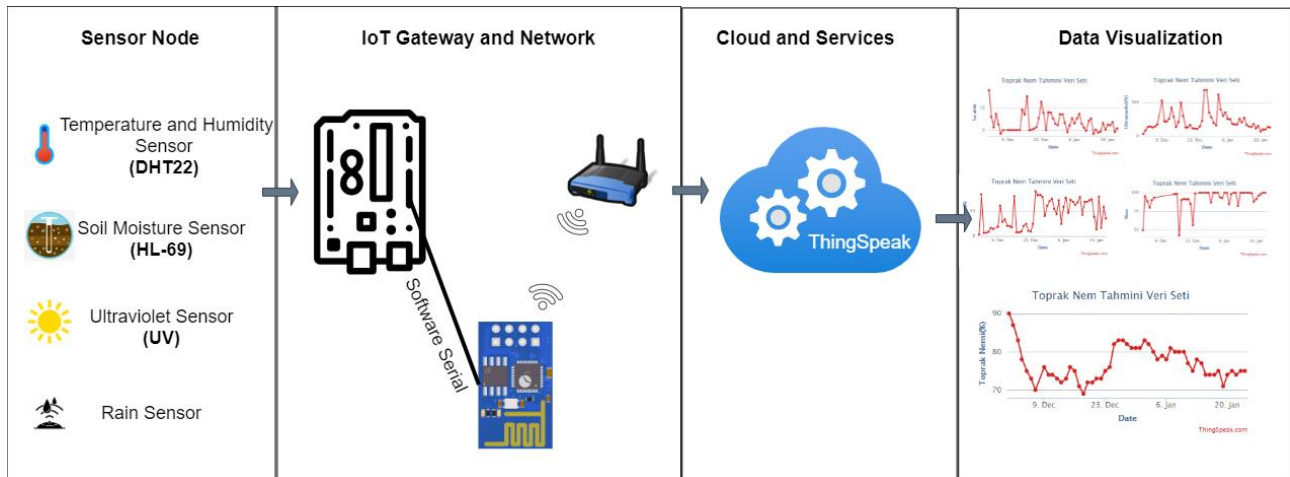


Figure 1. Block Diagram of the System

The environmental data taken from the sensors are exported to the internet and stored in the cloud system. ThingSpeak API (Application Programming Interface) is used to save data in the cloud system. ThingSpeak API is an open source interface that listens to incoming data, includes time information and outputs for humans through visual graphics and for machines through easily parsable code [21]. Esp8266 Wifi module sends data received from sensors to ThingSpeak. The ThingSpeak channel created to record the data received from the prototype system is given in Figure 2. In the soil moisture estimation data set channel, 5 areas are created to record the data from the system.

The key of the channel is used to write the data to the correct channel. In addition to storing data, ThingSpeak offers visualization and remote monitoring of these data over the internet.

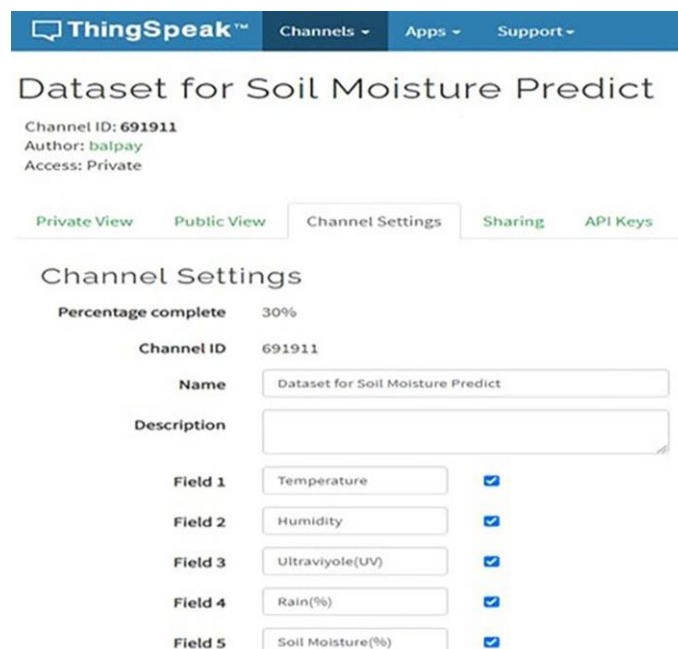


Figure 2. ThingSpeak Channel Display

An HTTP request is sent by the system to the ThingSpeak channel with the Esp8266 Wifi Module. Within this request, there is a channel-specific write key and data of 5 fields read from sensors via Arduino. During 55 days, data has been taken from the system every half hour and recorded in ThingSpeak. The data recorded in the channel is taken in .csv format and used for training and testing the models. In the data set containing 2395 samples in total, the data received as "NAN" when the sensor could not read is completed by using the average strategy in the preprocessing stage.

As the soil moisture parameter is affected by the momentary environmental conditions, the soil moisture information of the previous day is also important. For this reason, the average soil moisture information of the previous day is included in the data set.

2.2. Data preprocessing

Since the statistical properties of the attributes in the data set are different, some attributes may override others while the model is being formed. In this case, there are 2 methods in data science as normalization and standardization to reduce the attributes to the same plane. In normalization, the smallest value is set to 0 and the largest value is set to 1. In standardization, the mean value (μ) is set to zero. In this study, the min-max normalization method calculated by Eq.5, in which the values are spread between 0 and 1, has been used as a pre-process. The data set has been randomly divided into 75% training and 25% testing for use in experimental studies. The calculations are performed in the Python programming language compiler Spyder. Machine learning library scikit-learn is used for normalization, training and testing data creation, and running regression algorithms.

$$X' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}} \tag{5}$$

3. Results

In this study, machine learning algorithms MLR, PR, DT, SVR and RF regression methods are used. The models of these methods are run using the scikit-learn library. While training the regression models in the experiments, temperature, humidity, UV, rain and the previous day's average soil moisture parameter data collected from the field are used. The success of the models trained on the basis of R^2 and MSE values are evaluated. These two criteria basically indicate how close the estimates produced by the models are to the real values. The proximity of the value to 1 in the R^2 method and the value to 0 in the MSE method show the success of the regression models. Predictions are made by giving test data as input to the regression models created as a result of the training. The graph showing the estimated and actual soil moisture values of the MLR model is given in Figure 3.

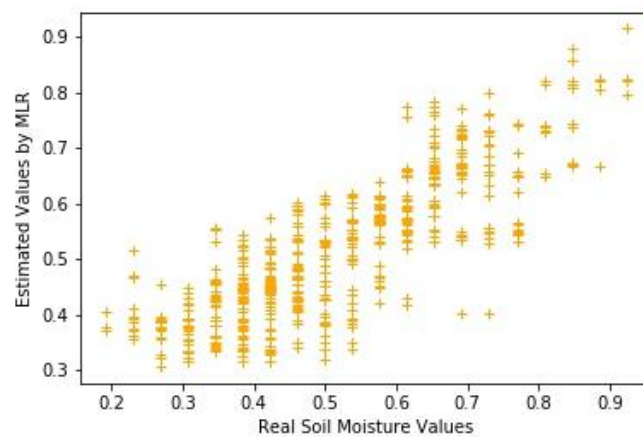


Figure 3. Multiple linear regression values

Figure 4 shows the graph showing the predicted values of the PR model. While creating the polynomial regression model, the polynomial degree is calculated as 2.

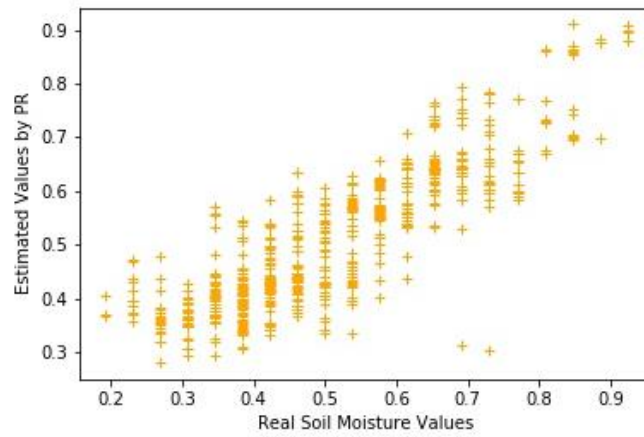


Figure 4. Polynomial regression values

The graph of the SVR model using 'rbf' as the kernel function is given in Figure 5.

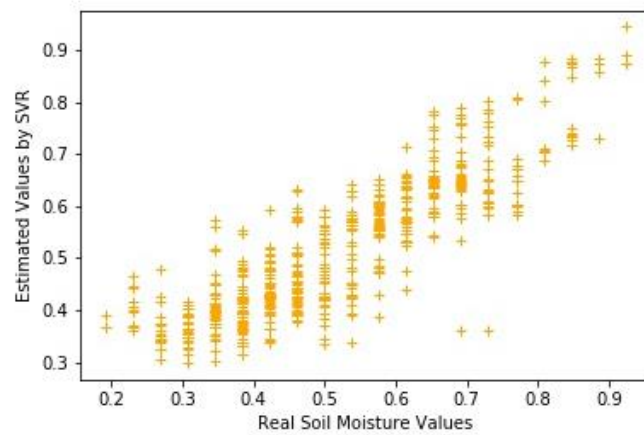


Figure 5. Support vector regression values

Figure 6 shows the graph showing the predicted values of the DT model. In the DT regression model, the maximum depth parameter of the tree is taken as 5.

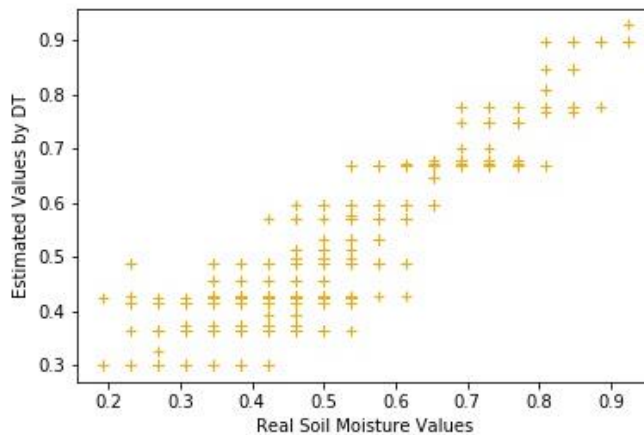


Figure 6. Decision tree regression values

Figure 7 shows the graph showing the predicted values of the RF model.

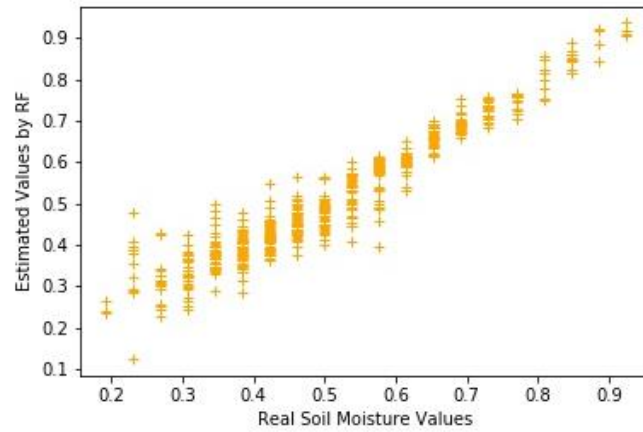


Figure 7. Random forest regression values

Figure 3-7 shows the values predicted by each regression algorithm against the real values in the test data. Since the real values do not match the predicted values in Figure 3, which belongs to the MLR, the spread of the graph over a wide area is seen. This makes it difficult to establish a trendline for the model, and the margin for error is high. While creating the PR model, the polynomial degree was taken as 2 and a graph with a narrower spread was obtained compared to the MLR. SVR model shown in Figure 5, on the other hand, obtained better predictions than MLR and PR, since the outputs of DT model in Figure 6 are the values calculated in leaf node, the model gives certain discrete outputs in the predictions. A graded graphic has been observed and the performance of the model is better than MLR, PR and SVR. In the RF model shown in Figure 7, it has been observed that the actual and predicted values coincide. In addition, when Figure 3-7 is examined independently from R^2 and MSE values, it is seen that the actual and predicted values in Figure 7 have a trend line and produce better results than other algorithms. R^2 and MSE values calculated according to the real and predicted values on the test set of MLR, PR, DT, SVR and RF models that estimate the soil moisture value are given in Table 1.

Table 1. R^2 and MSE values of the algorithms

Regression Algorithms	R^2	MSE
Multiple Linear Regression	0.681	0.0077
Polynomial Regression	0.730	0.0065
Support Vector Regression	0.751	0.0060
Decision Tree Regression	0.836	0.0039
Random Forest Regression	0.926	0.0018

4. Discussion and Conclusion

Soil moisture is a critical parameter used to develop smart irrigation systems, measure soil fertility, monitor droughts, increase crop yields, improve weather forecasts, predict floods, and has a complex relationship with environmental factors. In this study, models that predict the soil moisture value, which has an important place in agricultural practices, have been presented. The success of these models has been compared according to R^2 and MSE criteria. During the training and testing of the models, the data obtained from the system developed for 55 days are used. MLR, PR, SVR, DT and RF regression algorithms have been applied for estimation. In the RF regression model, R^2 and MSE values have been calculated as 0.926 and 0.0018, respectively, and this model has been found to be more successful than other models. Here, the failure of the multiple linear regression method shows that there is no linear relationship between the attributes in the estimation of the soil moisture value. The fact that tree-based methods are more successful is that they can discover complex relationships between attributes, and that the variable value range is narrower because the data set used in the study is collected in a short period.

As a future study, the effect of enriching the dataset by using more sensor nodes and using different data preprocessing steps on the performance of the methods will be analyzed. Also, with the advancement in technology, weather forecast accuracy has improved significantly. Weather forecast data can be used to predict changes in soil moisture.

References

- [1] Mahdavinejad, M. S., Rezvan, M., Barekatin, M., Adibi, P., Barnaghi, P., Sheth, A. P. 2018. Machine learning for internet of things data analysis: a survey. *Digital Communications and Networks*, 4(3), 161–175.
- [2] Hassija, V., Chamola, V., Saxena, V., Jain, D., Goyal, P., Sikdar, B. 2019. A Survey on IoT Security: Application Areas, Security Threats, and Solution Architectures. *IEEE Access*, 7, 82721–82743.
- [3] Pernapati, K. 2018. IoT Based Low Cost Smart Irrigation System. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies*, April, India, 1312–1315.
- [4] Thakare, S., Bhagat, P. H. 2019. Arduino-Based Smart Irrigation Using Sensors and ESP8266 WiFi Module. *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems*, June, India, 1085–1089.
- [5] Balamurugan, C., Satheesh, R. 2017. Development of Raspberry pi and IoT Based Monitoring and Controlling Devices for Agriculture. *Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 6, 207–215.
- [6] Capello, F., Toja, M., Trapani, N. 2016. A real-Time monitoring service based on industrial internet of things to manage agrifood logistics. *ILS 2016 - 6th International Conference on Information Systems, Logistics and Supply Chain*, 1–8 June, France, 1-8.
- [7] Chen, K. T., Zhang, H. H., Wu, T. T., Hu, J., Zhai, C. Y., Wang, D. 2014. Design of monitoring system for multilayer soil temperature and moisture based on WSN. *Proceedings - 2014 International Conference on Wireless Communication and Sensor Network*, November, India, 425–430.
- [8] Minbo, L., Zhu, Z., Guangyu, C. 2013. Information Service System of Agriculture IoT. *Automatika*, 54(4), 415–426.
- [9] Payero, J. O., Mirzakhani-Nafchi, A., Khalilian, A., Qiao, X., Davis, R. 2017. Development of a Low-Cost Internet-of-Things (IoT) System for Monitoring Soil Water Potential Using Watermark 200SS Sensors. *Advances in Internet of Things*, 07(03), 71–86.
- [10] Liu, J. 2016. Design and Implementation of an Intelligent Environmental-Control System: Perception, Network, and Application with Fused Data Collected from Multiple Sensors in a Greenhouse at Jiangsu, China. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 12(7), 1-10.
- [11] Yang, J., Liu, M., Lu, J., Miao, Y., Hossain, M. A., Alhamid, M. F. 2018. Botanical Internet of Things: Toward Smart Indoor Farming by Connecting People, Plant, Data and Clouds. *Mobile Networks and Applications*, 23(2), 188–202.
- [12] Shekhar, Y., Dagur, E., Mishra, S., Tom, R. J., Veeramanikandan, M., Sankaranarayanan, S. 2017. Intelligent IoT Based Automated Irrigation System. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(18), 7306–7320.
- [13] Gorthi, S., Dou, H. 2011. Prediction Models for the Estimation of Soil Moisture Content. *Proceedings of the ASME 2011 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, 1–9 August, US, 1-9.
- [14] Prakash, S., Sharma, A., Sahu, S. S. 2018. Soil Moisture Prediction Using Machine Learning. *Proceedings of the International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies*, 20-21 April, India, 1–6.
- [15] Goap, A., Sharma, D., Shukla, A. K., Krishna, C. R. 2018. Comparative Study of Regression Models Towards Performance Estimation in Soil Moisture Prediction. *International Conference on Advances in Computing and Data Sciences*, April, India, 309-316.
- [16] Singh, G., Sharma, D., Goap, A., Sehgal, S., Shukla, A. K., & Kumar, S. 2019. Machine Learning based soil moisture prediction for Internet of Things based Smart Irrigation System. *Proceedings of IEEE International Conference on Signal Processing, Computing and Control*, October, 175–180.
- [17] Shalev-Shwartz, S., Ben-David, S. 2013. *Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms*, Cambridge University Press.
- [18] Vapnik, V., Lerner, A. 1963. Generalized Portrait Method for Pattern Recognition. *Automation and Remote Control*, 24(6), 774–780.
- [19] Leo Breiman, Jerome H. Friedman, Richard A. Olshen, C. J. S. 1984. *Classification and Regression Trees*. In Chapman and Hall/CRC.
- [20] Breiman, L. 1996. Bagging Predictors. *Machine Learning*, 24(0), 123–140.

- [21] Gómez Maureira, M. A., Oldenhof, D., & Teernstra, L. 2014. ThingSpeak – an API and Web Service for the Internet of Things. https://staas.home.xs4all.nl/t/swtr/documents/wt2014_thingspeak.pdf, Accessed 20 April 2021.