



**Trakya Üniversitesi
Mühendislik Bilimleri Dergisi**

Cilt: 23 Sayı: 2 Aralık 2022

**TRAKYA
UNIVERSITY
JOURNAL OF
ENGINEERING
SCIENCES**

Volume: 23 Number: 2 December 2022

Trakya Univ J Eng Sci

<http://dergipark.gov.tr/tujes>
tujes@trakya.edu.tr

ISSN 2147-0308

Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi

Cilt: 23

Sayı: 2

Aralık

2022

Trakya University Journal of Engineering Sciences

Volume: 23

Number: 2

December

2022

Trakya Univ J Eng Sci

<http://dergipark.gov.tr/tujes>
tujes@trakya.edu.tr

ISSN 2147-0308

Dergi Sahibi / Owner

Trakya Üniversitesi Rektörlüğü, Fen Bilimleri Enstitüsü Adına
On behalf of Trakya University Rectorship, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Prof. Dr. Hüseyin Rıza Ferhat KARABULUT

Yayın Kurulu Üyeleri / Editorial Board Members

Baş Editör / Editor-in-Chief

Doç. Dr. Önder AYER Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi

Alan Editörleri / Co-Editors

Prof. Dr. Hacı Ali GÜLEÇ Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR Mimarlık Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Hasan Faik KARA Mimarlık Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Gökhan KAÇAR Genetik ve Biyomühendislik Trakya Üniversitesi
Doç. Dr. Gürkan İRSEL Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Selin ARABULAN Mimarlık Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Altan MESUT Bilgisayar Mühendisliği Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Emir ÖZTÜRK Bilgisayar Mühendisliği Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sezer ULUKAYA Elektrik-Elektronik Müh. Trakya Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Pınar Aydan DEMİRHAN Makine Mühendisliği Trakya Üniversitesi

Danışma Kurulu / Editorial Advisory Board

Prof. Dr. Hüseyin Erol AKATA Makine Mühendisliği İstanbul Aydın Üniversitesi
Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN EKER Makine Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Burhan ÇUHADAROĞLU Makine Mühendisliği Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Naci GENÇ Elektrik-Elektronik Müh. Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Prof. Dr. Özer GÖKTEPE Tekstil Mühendisliği Namık Kemal Üniversitesi
Prof. Dr. Türkan GÖKSAL ÖZBALTA İnşaat Mühendisliği Ege Üniversitesi
Prof. Dr. M. Bahattin TANYOLAÇ Biyo-mühendislik Ege Üniversitesi
Prof. Dr. Pelin ONSEKİZOĞLU BAĞCI Gıda Mühendisliği Trakya Üniversitesi
Prof. Dr. İsa CAVİDOĞLU Gıda Mühendisliği Yüzüncü Yıl Üniversitesi
Doç. Dr. Yılmaz KALKAN Elektrik-Elektronik Müh. Adnan Menderes Üniversitesi
Doç. Dr. Cemil ÖZYAZGAN İnşaat Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi
Doç. Dr. Orhan ARKOÇ Jeoloji Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi
Doç. Dr. Timur KAPROL Mimarlık Namık Kemal Üniversitesi
Doç. Dr. Ümit HÜNER Makine Mühendisliği Kırklareli Üniversitesi
Dr. Aslı Günay BULUTSUZ Makine Mühendisliği Yıldız Teknik Üniversitesi
Assoc. Prof. Dr. Jiri SOBOTKA Mechanical Engineering Technical University of Liberec
Assoc. Prof. Dr. Regita BENDIKIENE Mechanical Engineering Kaunas University of Technology
Assist. Prof. Dr. Tomasz JACHOWICZ Polymer Processing Lublin University of Technology
Assist. Prof. Dr. Mirosław SZALA Mechanical Engineering Lublin University of Technology
Assist. Prof. Dr. Balazs BOKOR Mechanical Engineering Budapest Univ. of Tech. Econ.
Assist. Prof. Dr. Eldhose IYPE Chemical Engineering BITS Pilani
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ERGEN Mimarlık Siirt Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Hamza F. CARLAK Elektrik-Elektronik Müh. Akdeniz Üniversitesi
Dr. Öğr. Üyesi Sedat BİNGÖL Makine Mühendisliği Dicle Üniversitesi

Dizgi / Design

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan KOÇYİĞİT

İletişim Bilgisi / Contact Information

Address : Trakya Üniversitesi, Enstitüler Binası, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balkan Yerleşkesi, 22030, Edirne / TÜRKİYE
Web site : <http://dergipark.gov.tr/tujes> E-mail : tujes@trakya.edu.tr
Tel : +90 284 2358230 Fax : +90 284 2358237

Baskı / Publisher

Trakya Üniversitesi Matbaa Tesisleri / Trakya University Publishing Centre

İÇİNDEKİLER / CONTENTS

ARAŞTIRMA MAKALELERİ / RESEARCH ARTICLES

SHIFTING THE ISLAND SECTION LINE IN RECONSTRUCTION ISLANDS ACCORDING TO THE DEPTH CRITERIA WITH VECTOR TECHNIQUE

İmar Adalarında Ada Bölüm Çizgisinin Vektörel Teknik ile Cephe Derinlik Kriterlerine
Göre Kaydırılması

Selim TAŞKAYA

51-61

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI DEVRE İLE ÇORLU DERESİNİN SICAKLIK VE İLETKENLİK ÖLÇÜMÜ VE GSM İLE GÖNDERİMİ

Temperature and Conductivity Measurement Of Çorlu Stream with Microcontroller
Based Circuit and Its Transmission Via GSM

Necati YENİ , Şeyma ORDU , Ertuğrul KARAKULAK , Reşat MUTLU

63-71

HARMONİKLERİN ENDÜSTRİYEL GÜÇ KALİTESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR SAHA İNCELEMESİ VE UYGULAMASI

A Research and Application of Harmonics Effects On Industrial Power Quality and
Energy Efficiency

Levent KILIÇ , Gürhan DURAL , Mehmet UZALA , Fatih MUTLU , Anıl KAYAR , Serkan
ŞÜKRÜOĞLU , Mirbey ÇETİNKAYA

73-84

SİMETRİK KATMANLI KOMPOZİT KİRİŞLERDE ELYAF YÖNLENME AÇILARININ ÇOK-AMAÇLI OPTİMİZASYONU

Multi-Objective Optimization Of Fiber Orientation Angles In Symmetrically Laminated
Composite Beams

Fatih KARAÇAM, Taner TİMARCI

85-96

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL COMPARISON OF WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING, LASER BEAM AND PLASMA ARC CUTTING PROCESSES

Gürkan İRSEL, Betül Nur GÜZEY, Bilgin KARA

97-107

**DİREKSİYON MAFSAL PARÇASININ STATİK ANALİZİ ve TOPOLOJİ
OPTİMİZASYONU**

Static Analysis and Topology Optimization of the Steering Knuckle Part

Recep KARA, Vedat TAŞKIN, Pınar Aydan DEMİRHAN

109-119

SHIFTING THE ISLAND SECTION LINE IN RECONSTRUCTION ISLANDS ACCORDING TO THE DEPTH CRITERIA WITH VECTOR TECHNIQUE

Selim TAŞKAYA^{1*} 

¹ Artvin Coruh University, Department of Architecture and Urban Planning, Artvin, Turkey

Cite this article as: Taşkaya, S. (2022). Shifting the Island Section Line in Reconstruction Islands According to the Depth Criteria with Vector Technique, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 51-61.

Highlights

- The line showing that there are different building regulations on an island in zoning islands is expressed as the island division line.
- Zoning plans ensure that proper parcels are formed and that the facade and depth criteria required for building permits are formed on new parcels.
- The most preferred length addition method in vectorial technical direction length additions.

Article Info	Abstract
Article History: Received: June 8, 2022 Accepted: August 30, 2022	Zoning islands are referred to as areas surrounded by road networks with different features such as various residences, commercial, social facilities, official institutions in the implementation development plans. Some of these islands contain zoning parcels with different building regulations on the same island with the island division line. Sometimes, as a cadastral base, some parcels may coincide with a zoning island with more than one feature, separated by an island line. In the study, an examination was made about how the island division line will be given on the ground according to the planned areas type zoning regulation in Turkey, based on the side where the front and depth of the parcels formed in this way are excessive. This examination was created by the vectorial addition technique, which is called as longitudinal, the correlation between the lengths and the angles.
Keywords: Zoning Island; Island Division Line; Vectorial Insertion	

İMAR ADALARINDA ADA BÖLÜM ÇİZGİSİNİN VEKTÖREL TEKNİK İLE CEPHE DERİNLİK KRİTERLERİNE GÖRE KAYDIRILMASI

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihçesi: Geliş: 8 Haziran 2022 Kabul: 30 Ağustos 2022	İmar adaları uygulama imar planlarında çeşitli konut, ticari, sosyal donatı, resmi kurum, gibi farklı özelliklere sahip etrafı yol ağları ile çevrili alanlar olarak adlandırılır. Bu kimi adalar ada bölüm çizgisi ile aynı ada üzerinde farklı yapı nizamlarına sahip imar parsellerini barındırırlar. Kimi zaman kadastral altlık olarak bazı parseller ada çizgisi ile ayrılan birden fazla özellikteki imar adasına denk gelebilirler. Çalışmada, bu şekilde oluşan parsellerin cephe ve derinliklerinin fazlaca olduğu taraftan baz alınarak ada bölüm çizgisini Türkiye'deki planlı alanlar tip imar yönetmeliğine göre nasıl zeminde verileceği hakkında irdeleme yapıldı. Bu inceleme uzunluk ve açların arasındaki korelasyon uzunlu adı verilen vektörel ekleme yani uç uca ekleme tekniği ile meydana getirildi.
Anahtar Kelimeler: İmar Adası; Ada Bölüm Çizgisi; Vektörel Ekleme	

1. Introduction

Planning systems around the world are grouped under two headings as plan-based systems where land use decisions are determined by means of legally binding plans, and project-based systems aimed at development equipped with wide discretion (Faludi, 1987; Alfasi, 2006; Nadin and Stead, 2008; Muñoz Gielen and Tasan- Kok, 2010, Berisha et al., 2020; Kılınç, 2021). The separation in planning systems is also known in the literature as the Continental European system - regulatory planning system and the British system - discretionary planning system (Willis, 1995; Cullingworth, 1997; Tang, Choy, & Wat, 2000; Kılınç, 2021). In the plan-based system used in the USA and many European countries, the hierarchy between plans was adopted (Steele and Ruming, 2012; Rivolin, 2008; Kılınç, 2021). In addition, the plans gain certainty after they are approved; In cases where the public interest requires, changes can be made in the plans by following some procedures (Alfasi, 2006; Kılınç, 2021). In this system, a regulatory role is attributed to the plans and it is aimed that the plan and implementation be a whole (Rivolin, 2008; Kılınç, 2021). In the plan-based system, the plan is legally binding, focused on physical developments, and has a feature that limits the use of discretion, while in the project-based planning system, the plan is a management tool of change, allowing wide use of discretion (Steele and Ruming, 2012; Muñoz). Gielen and Tasan-Kok, 2010; Berisha et al., 2020; Kılınç, 2021). The existence of hierarchy between plans, precision, rigidity-immutability, regulatory role and plan-implementation integrity are the main features of the plan-based system. On the other hand, horizontal and vertical location, flexibility, discretion, application diversity, and strategic role are the main features of the project-based system (Steele and Ruming, 2012; Rivolin, 2008; Alfasi, 2006; Kılınç, 2021). The plan-based systems approach aims to shape the spatial environment by dividing the planning area into zones and determining what can and cannot be built in these zones (Booth, 2003; Faludi, 2002; Kılınç, 2021). The

main purpose of this approach is to create certainty by separating non-functional areas that may prevent inappropriate uses and investments in the land (Zakhour and Metzger, 2018; Alfasi, 2006; Kılınç, 2021). The rigid nature of the plan-based system has provided a powerful economic, social and environmental tool in controlling land uses and directing order and change (Berisha et al., 2020; Kılınç, 2021).

2. Theoretical Framework and Scope Introduction

In the plan-based system, it is aimed to keep urban development under control by keeping it away from speculation (Alterman, 2012; Kılınç, 2021) through legally binding plans approved by state powers (Tasan-Kok, 2008; Kılınç, 2021) (Valtonen et al., 2017; Rivolin 2008). ; Kılınç, 2021). Thus, state authorities aim to protect the public interest, not specific interest groups, by keeping spatial development under control and control (Alexander, 2012; Alfasi, 2006; Kılınç, 2021). In the plan-based system, the main goal of the realization of planning permission and control under public control is to ensure the public interest (Nadin et al., 2020; Alexander, 2012; Kılınç, 2021). In the plan-based system, plan and implementation are processes that follow each other (Booth, 2003; Kılınç, 2021) and after the plan approval stage, all zoning rights on the plan have been determined (Buitelaar et al., 2010; Rivolin, 2008; Kılınç, 2021). (Alexander, 2009; Kılınç, 2021). In the implementation phase, flexibility and discretion are prevented by not allowing the planning authorities or the investor to take initiative (Valtonen et al., 2017; Albrechts, 2004; Kılınç, 2021). Thus, it is aimed to transfer the decisions taken during the preparation of the plan to the city space, and to ensure that the plan and the application do not separate from each other (Steele and Ruming, 2012; Alexander, 2012; Moroni, 2007; Faludi, 1987; Kılınç, 2021). In our planning legislation, there is a base-superior relationship, which is expressed in the old language as 'sillsile-i meratip or series of ranks' (Günday, 2002; Kılınç, 2021). Planning hierarchy; In summary, it is that

the plans prepared at different scales direct each other. The main purpose of the plan hierarchy is to ensure coordination between the plans in reducing the plan decisions taken at the highest level to the space, and to make the decisions taken at the lower level in line with the plan decisions taken at the upper level, not pointwise. According to the hierarchy principle, the lower level plan decisions cannot be contrary to the higher plan decisions in the hierarchy. Thus, the hierarchical order between the plans also reveals a control mechanism (Gürsoy, 2015; Türk, 2016; Kılınc, 2021). One of the most important features of the project-based system is that a participatory approach has been adopted at almost every stage of planning. According to this approach, full success of the plans and public participation in the decision-making processes are possible with the joint effort and support of the parties and the authorities (Gürsoy, 2015; Kılınc, 2021). In plan-based systems, land use decisions, zoning rights and construction conditions are determined through plans approved by the public authority (Albrechts, 2004, Rivolin, 2008; Kılınc, 2021), while in project-based systems, land use decisions and zoning rights are equipped with wide discretion for each case. It is determined by negotiations between public authorities and private sector investors (Alfasi, 2006; Alterman 2012; Valtonen et al., 2017; Kılınc, 2021). In the plan-based system, the plan is legally binding, focused on physical developments, and has a feature that limits the use of discretion, while in the project-based planning system, the plan is a management tool of change, allowing wide use of discretion (Steele and Ruming, 2012; Muñoz). Gielen and Tasan-Kok, 2010; Berisha et al., 2020; Kılınc, 2021). The existence of hierarchy between plans, precision, rigidity-immutability, regulatory role and plan-implementation integrity are the main features of the plan-based system. On the other hand, horizontal and vertical location, flexibility, discretion, application 2 differences, and strategic role are the main features of

the project-based system (Steele and Ruming, 2012; Rivolin, 2008; Alfasi, 2006; Kılınc, 2021).

3. Material and Method

Let M be a differentiable manifold. on M manifold, $g : \chi(M) \times \chi(M) \rightarrow C^\infty(M, \mathbb{R})$, The M manifold defined as the symmetric, positive defined and bilinear g Riemann metric defined as, is called a Riemann manifold and is denoted by (M, g) (Kırık, 2016).

$\nabla : \chi(M) \times \chi(M) \rightarrow \chi(M)$, $(X, Y) \rightarrow \nabla_X Y$ (1). transformation, $\forall X, Y, Z \in \chi(M)$ ve $f \in C^\infty(M, \mathbb{R})$ için, $\nabla_X(Y + Z) = \nabla_X Y + \nabla_X Z$, $\nabla_{X+Y} Z = \nabla_X Z + \nabla_Y Z$, $\nabla fX = f \nabla_X Y$, $\nabla_X(fY) = (X f)Y + f \nabla_X Y$ relations, the ∇ operator is called a linear connection (linear connection) on the M manifold (Kırık, 2016).

There is a special vector that defines the beginning of the coordinate system and allows the use of position vectors, and this vector is the zero vector and can also be represented as $\vec{0} = (0, 0, 0, \dots, 0)$ in \mathbb{R}^n space. The zero vector has an infinite number of directions and directions, and its start and end points are coincident. A vector with a fixed origin is called a position vector or a ground vector. In the Cartesian system, the \vec{OA} vector connecting the initial point $\vec{0} = (0, 0, 0, \dots, 0)$ to a point A is called the position vector of the point A . In mathematics, points and spaces are considered as space, place, space \vec{OP} basic abstract concepts and a space model is created using a coordinate system. A three-dimensional coordinate system is simply an infinite set of ordered triples of real numbers (x, y, z) , and each point corresponds to one of these ordered triples, called the coordinates of the point. For each free vector or translation, a position vector associated with the origin corresponds under that translation. Thus the position vector is defined as points in space and corresponds to a unique(single) \vec{OP} vector to no position vector P (Güzel, 2021).

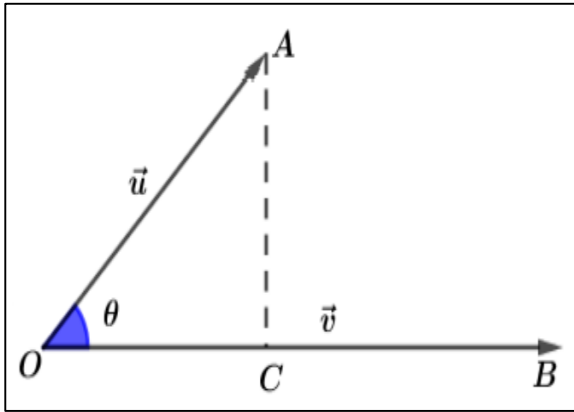


Figure 1. Geometric Meaning of Vectors (Güzel, 2021).

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = \vec{OA} \cdot \vec{OB} = |\vec{OC}| \cdot |\vec{OB}| \quad (2).$$

The direction of any vector in the R^n space can be determined by giving the cosines of the angles made by the coordinate axes in the positive direction. The angles that a \vec{U} vector makes with the coordinate axes are called the direction angles, and the cosines of these angles are called the direction cosines (Güzel, 2021).

4. Findings and Discussion

Reconstruction islands are important parameters created by road networks within the boundaries determined in an urbanization planning. They are the main elements of the plan. Because, it is the order in which unclean parcels such as abandonment or creation from the road, which are in the nature of a field as a cadastral base or a zoning parcel, are transformed into zoning parcels with zoning procedures and are made to be taken for building permits. The island section line, on the other hand, is that it causes the zoning island to have different precedents, heights, or draw ground distances within itself, in the sense of issuing a building permit with that feature on the parcels corresponding to the part in which a zoning island is separated. In addition, the markers to be applied in a planning, especially to the main split, block or adjacent parcel, can be applied on a single zoning island as well as with the island division line in a zoning island. The problem of which building order will be based on, especially the

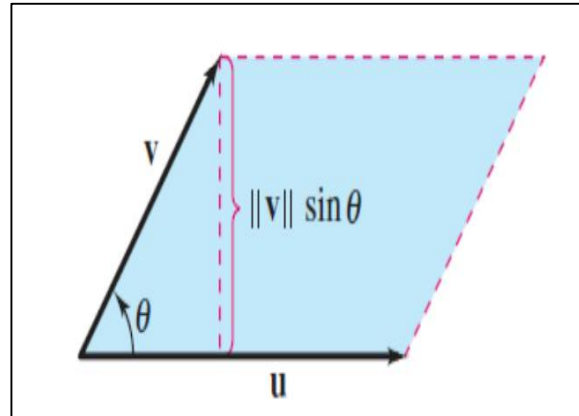


Figure 2. The Geometric Meaning of Multiplication of Vectors (Güzel, 2021).

facades and depths of the parcels on the island division line may arise. Therefore, in case a zoning permit is given to the parcels above the line, the planned areas on this island section line will be shifted until the façade and the appropriate depth and distance amount are provided according to the type zoning regulation. If we apply this shifting as a method of adding length by vectorial end-to-end addition, and we can explain it with examples as follows.

A zoning island is divided into three parts with two separations, with the island section line separated by the island division line, which is adjoining in the northeast direction up to eight floors, and the northwest side is divided into four floors, and the south side is a block structure with eight floors. has occurred. Especially the biggest problem here is the question of how to get zoning ground permission on the basis of the facades and depths of the parcels on the intersection sides that may be on the zoning island line. In this example, too, the minimum depth requirement for a parcel in the adjacent building order and the shifting of the island section line from the facade condition with vectorial addition in length. In this parcel, according to the planned type zoning regulation, the distances to the back and side gardens should be increased after four floors per floor in the planned type zoning regulation in places that will correspond to eight floors. After that,

since the front garden will not be allowed in the adjacent building regulations, which will increase by one meter per floor, the ground clearance is provided

by calculating the backyard plus depth distance without a garden.

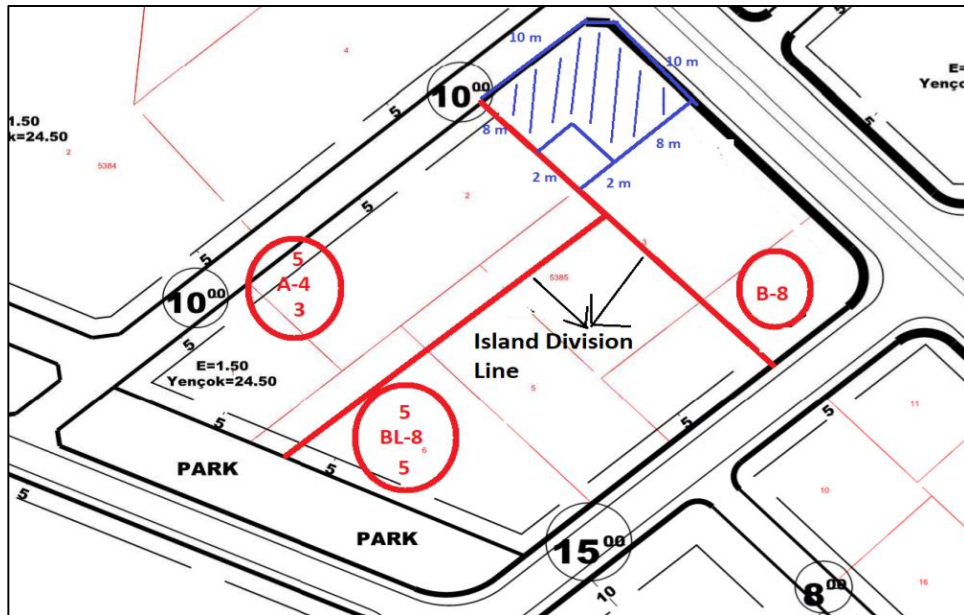


Figure 3. Scroll view to be made with two different island section lines (Url, 1).

Especially the biggest problem here is the question of how to get zoning ground permission on the basis of the facades and depths of the parcels on the intersection sides that may be on the zoning island line. In this example, too, the minimum depth requirement for a parcel in the adjacent building order and the shifting of the island section line from the facade condition with vectorial addition in length. In this parcel, according to the planned type zoning regulation, the distances to the

back and side gardens should be increased after four floors per floor in the planned type zoning regulation in places that will correspond to eight floors. After that, since the front garden will not be allowed in the adjacent building regulations, which will increase by one meter per floor, the ground clearance is provided by calculating the backyard plus depth distance without a garden.

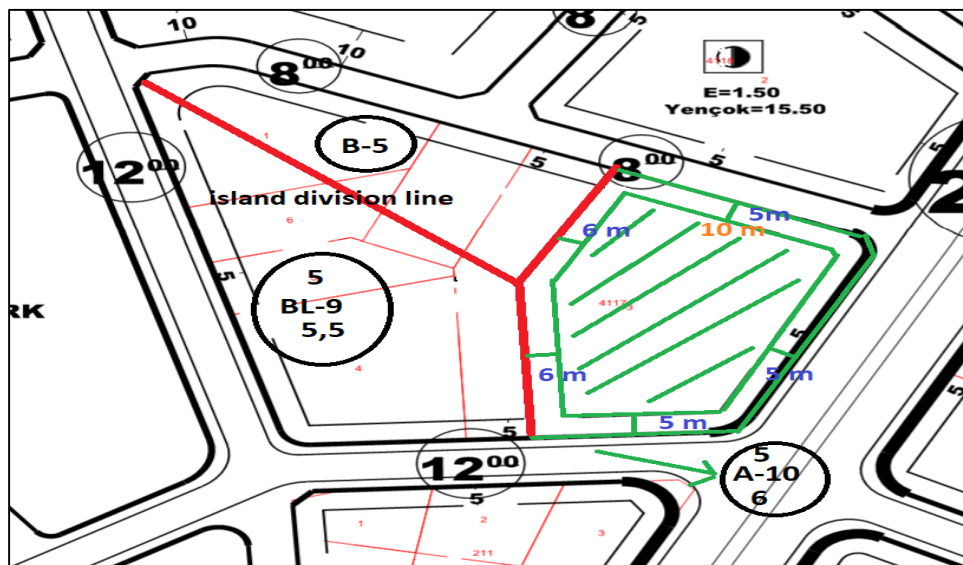


Figure 4. The shift view of the island section line (Url, 1).

The zoning island division line, which divides into three different building identities only in the block and adjacent building order, is given in green, and the ground seating area is given by drawing the ground session of the parcel up to 10 floors, which is separated

in the block and adjacent part of the other parcel. Here, the red colored island section line is vectorally shifted towards the green colored area. The aim is to coincide with the full depth and front of the parcel.

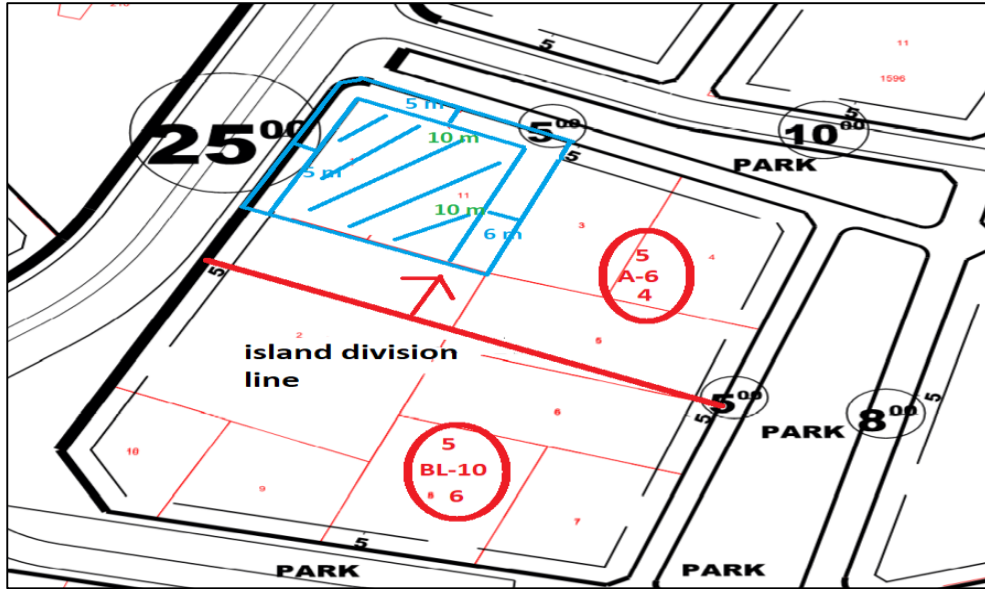


Figure 5. Indication of the dividing line in two different island features (Url, 1).

In the zoning island divided by a single dividing line, which has a block and separate building order, the parcel must be passed over the full border of the section line, since a part of the parcel enters the part of the parcel with the other building identity, as the parcel

alone is not sufficient for the construction permit. Here, too, since the depth plus the front garden distance must be at least 15 meters in block building regulations, it has been drawn in this way.

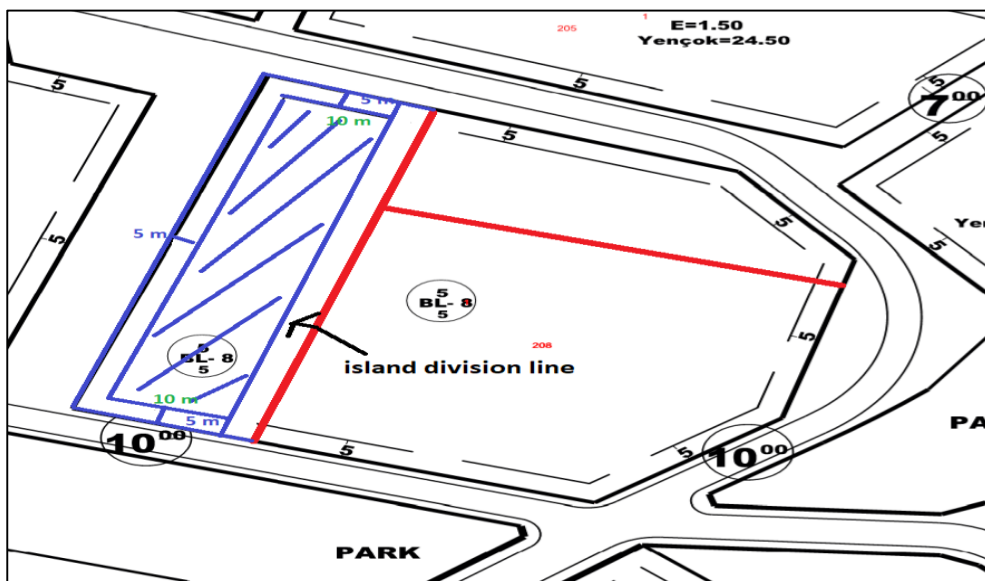


Figure 6. Separation line image of a single zoning island with the same structure (Url, 1).

The important thing that distinguishes the example from the others is that they have the same building identity. In other words, although the zoning island is separated by a different island division line, it is allowed up to eight floors in the identity of a block building. In other words, when viewed from here, the

important part is that if a part of the parcel falls within that line and a part of it falls within the other section line, it should be shifted in which direction by adding the vector in length and the parcel tries to provide the correct front and depth condition.

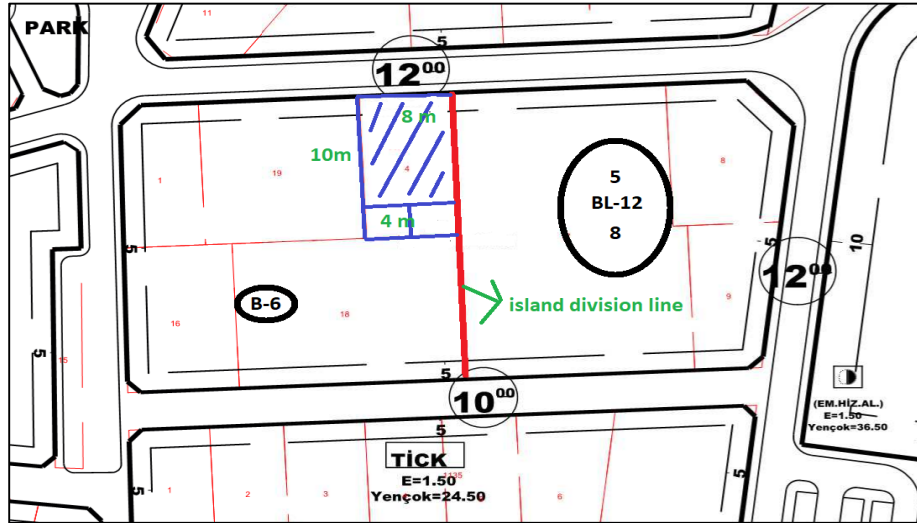


Figure 7. Representation of the division line in two different building orders (Url, 1).

In the example, it is an attempt to give the correct amount of frontage and depth to the parcels located at this point of the zoning island, which is shown in red, based on the representation of a zoning island, the west of which is allowed up to six adjacent floors and the east is up to twelve floors. While the building residence permit is given on the ground for the parcel located in the adjacent building order in the north, it is necessary to give the parcel by taking the direction from the

building order display, wherever the area or frontage of the parcel is greater. In a six-storey point, the condition of being an adjacent building is given from the adjacent part, with the front increasing by one meter after four floors and eight meters, and the backyard as a side garden at a minimum of ten meters in depth. That is, the island division line is vectorally shifted in the west or east direction.

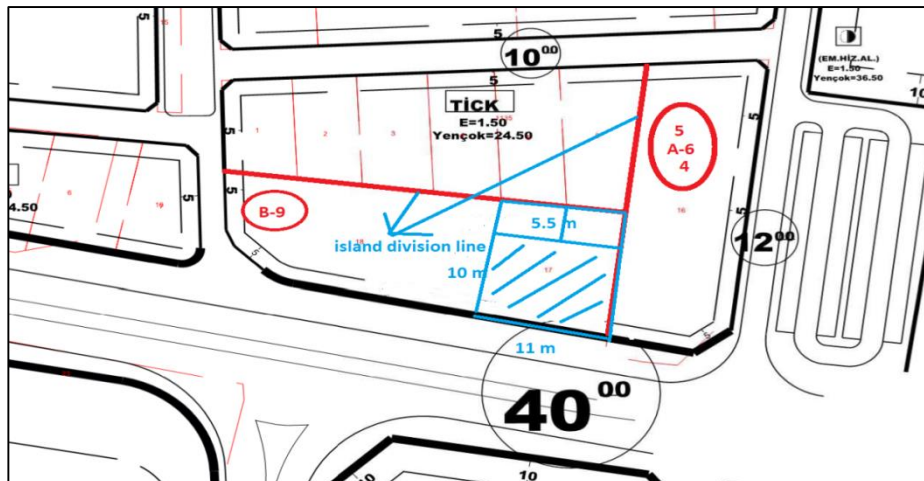


Figure 8. Island section line view (Url, 1).

The two lines shown in red on the zoning island include the building precedents and heights of three different properties, and are included in the plans so that the parcels can get the building residence permit in that way. In other words, according to the topographic situation, it has been determined on the land that a better situation can be achieved in this way. For example, when a zoning building residence permit is requested for the parcel marked in blue in the south, it

must be given by providing the façade and depth conditions as it has the adjacent building order. Here, if the island division line of the parcel is given in a different part of a part from another different place, a shift will be made to the place where the area or length is more by shifting it as a vector length.

$IAI+ IBI+ICI+IDI+....=IA+B+C+DI....$ There is a vector description in the form.

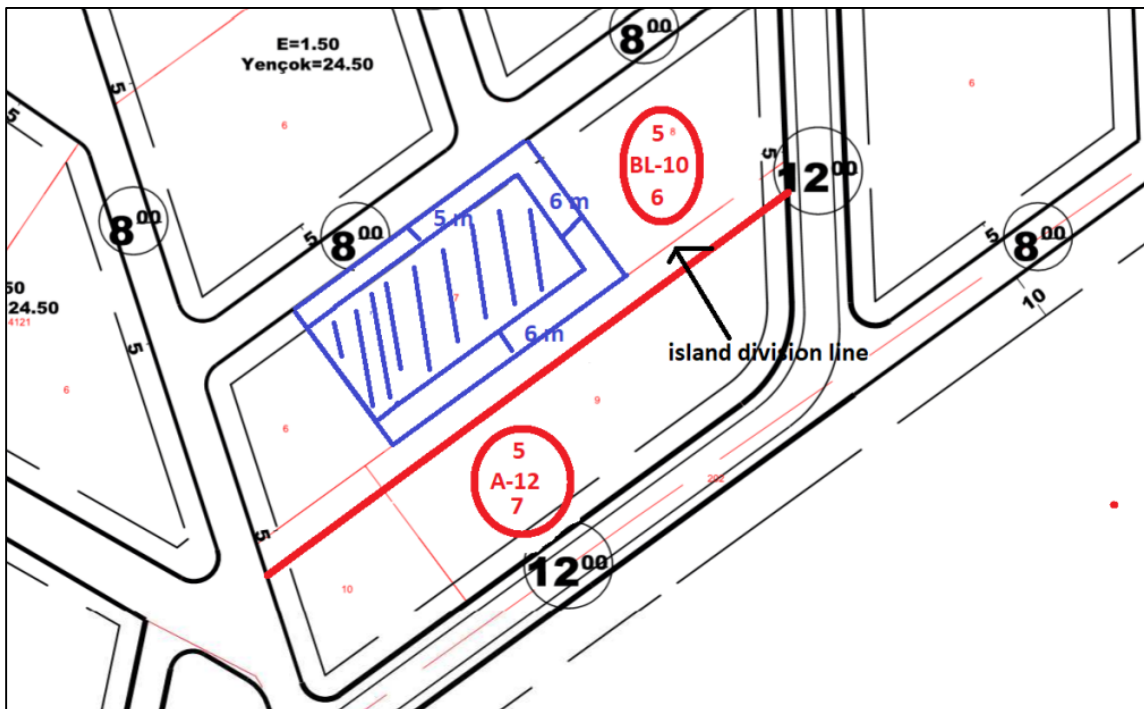


Figure 9. Island section line representation (Url, 1).

When looking at the island division line that divides the zoning island into two different blocks and separate structures in the north and south directions, the place it comes across is the southern points of the parcel, which is indicated by the thin red in the north, and it separates it in two different ways. From this point of view, it is necessary to move the parcel to the side with the building identity at the right point, with the vector process with the shift in the blue color that will enter the block building order with a shift upwards to the north, and the ground settlement process should be performed under the correct façade and depth conditions.

In the table, a summary of the parcels corresponding to the island division lines shown with examples has been summarized by summarizing the planned areas according to the zoning regulation, how and according to which façade depth conditions will be distanced to the parcels that will have a building permit in which building regulations and how many floors in Turkey.

Table 1. Front and depth conditions (Planned type zoning regulation, 2017).

	front garden (m)	Side garden (m)	backyard (m)	Front	Depth
split 4 floors	5	3	3	6	10
5 floors	5	3,5	3,5	7	10
6 floors	5	4	4	8	10
7 floors	5	4,5	4,5	9	10
8 floors	5	5	5	10	10
9 floors	5	5,5	5,5	11	10
10 floors	5	6	6	12	10
11 floors	5	6,5	6,5	13	10
12 floors	5	7	7	14	10
block 4 floors	5	3	3	6	10
5 floors	5	3,5	3,5	7	10
6 floors	5	4	4	8	10
7 floors	5	4,5	4,5	9	10
8 floors	5	5	5	10	10
9 floors	5	5,5	5,5	11	10
10 floors	5	6	6	12	10
11 floors	5	6,5	6,5	13	10
12 floors	5	7	7	14	10
adjacent 4 floors	-	-	3	6	7
5 floors	-	-	3,5	7	7
6 floors	-	-	4	8	7
7 floors	-	-	4,5	9	7
8 floors	-	-	5	10	7
9 floors	-	-	5,5	11	7
10 floors	-	-	6	12	7
11 floors	-	-	6,5	13	7
12 floors	-	-	7	14	7

5. Conclusion and Recommendation

In Turkey, zoning practices are carried out in the form of zoning practices on the basis of cities, districts or towns. Whether the parceling is on a holistic basis within the framework of the regulation or with a partial approach such as subdivision or unification, all transactions are made within the zoning island within the determined zoning boundaries. In some zoning islands, the topographic situation, aspect, slope, etc. Due to the circumstances, they may have a different structural identity within themselves with the island division line. The situation that may arise as a problem here is the situation of the parcels on the axis of the island division line. How to give zoning permission to

these parcels. From this point of view, it is to give the living area completely from that part where there is more depth or facades in these parcels. In this way, it is the process of shifting the island section line left or right or up and down as if it were an elastic line. Since these lines are measured in length, if we make a method by adding or subtracting vectorally, we will reach a healthy result. Especially if a proper urban planning is to be carried out, the cadastral status of the parcels must be up-to-date, whether in the revised zoning plan or in the areas to be opened for new settlement, and the island section lines should be processed according to the plan by following the borders of these parcels.

Conflict of Interest

No conflict of interest was declared by the authors.

Resources

- Albrechts, L. 2004. Strategic (spatial) planning re-examination. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31 (5), 743-758.
- Alexander, E. R. 2012. Institutional design for value capture and a case: The TelAviv Metropolitan Park. *International Planning Studies*, 17 (2), 163–177.
- Alfasi, N., 2006. Planning policy? Between long-term planning and zoning amendments in the Israeli planning system. *Environment and Planning A*, Volume 38, pp.553-568.
- Alterman, R., 2012. Land use regulations and property values: The 'Windfalls Capture' Idea Revisited. *The Oxford Handbook on Urban Economics and Planning*, Chapter 3, pp.755-786, Oxford University Press.
- Berisha, E., Cotella, G., Rivolin, U.J., & Solly, A. 2020. Spatial governance and planning systems and the public control of spatial development: a *European typology*. *European Planning Studies*. 29 (1), p.181-200.
- Booth, P. 2003. *Planning by Consent. The Origins and Nature of British Development Control* London, Routledge.
- Buitelaar, E., & Sorel, N. 2010. Between the quest for control and the rule of law: legal certainty in the Dutch planning system. *Land Use Policy* 27, 983-989.
- Cullingworth, J. B. 1997. *Planning in the USA: Policies, Issues, and Processes*, Routledge, London.
- Faludi, A. 1987. *A Decision-Centered View of Environmental Planning*. Oxford: Pergamon Press.
- Gunday, M. 2002. *Administrative law*. Image Publications, Ankara.
- Gursoy, N. 2015. Integrating the Strategic Planning Approach into the Regulatory Plan System: Planning Studies in Fikirtepe Urban Transformation Area. (Master Thesis), Istanbul Technical University, Istanbul.
- Güzel, S. 2021. Examining the Field Knowledge of Elementary Mathematics Education Undergraduate Students on Vector and Mixed Product, Dokuz Eylul University Institute of Educational Sciences, Department of Mathematics and Science Education, Master's Thesis, Izmir.
- Kilinc, N. 2021. Examining the Development Plan Changes from the Perspective of Legal, Spatial and Urban Rent: The Case of Istanbul, Istanbul Technical University Graduate Education Institute, Department of City and Regional Planning, PhD Thesis, Istanbul.
- Kırık, B. 2016. Vector fields on some special manifolds, Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Department of Mathematical Engineering, PhD Thesis, Istanbul.
- Moroni, S. 2007. Planning, liberty and the rule of law. *Planning Theory*, 6(2), 146–163.
- Muñoz Gielen. D., & Tasan-Kok, T. 2010. Flexibility in planning and the consequences for public-value capturing in UK, Spain and the Netherlands, *European Planning Studies*, 18 (7), 1097-1131.
- Nadin, V., & Stead, D. 2008. European spatial planning systems, social models and learning. *The Planning Review*, 44 (172), 35–47.

Nadin, V., Stead, D., Dąbrowski, M., & Fernandez-Maldonado, A. M. 2020. Integrated, adaptive and participatory spatial planning: *trends across Europe, Regional Studies, Vol, 55 (5), p,791-803.*

Back Again?): *The Role of Municipal Planning in the Urban Governance of Stockholm, disP - The Planning Review, 54, (4), 46-58.*

Planned areas zoning regulation, 2017. Official Gazette
Date: 03.07.2017 Number of Official Gazette:
30113.

Rivolin, U. J. 2008. Conforming and performing planning systems in Europe: *An unbearable cohabitation. Planning, Practice & Research, 23 (2), 167-186.*

Steele, W., & Ruming, K. J. 2012. Flexibility versus certainty: *Unsettling the land use planning shibboleth in Australia. planning. Practice and Research, 27 (2), 155-176.*

Tang, B., Choy, L. H., & Wat, J. K. F. 2000. Certainty and Discretion in Planning Control: A Case Study of Office Development in Hong Kong. *Urban Studies, Vol. 37, (13). 2465-2483.*

Taşan-Kok, T. 2008. Changing Interpretations of 'Flexibility' in the Planning Literature: From Opportunism to Creativity? *International Planning Studies, 13 (3), 183-195.*

Turk, S. S. 2016. Urban Law Practices Lecture Notes. Istanbul Technical University, Istanbul.

Url 1: <https://www.elazig.bel.tr/>, 2022.

Valtonen, E., Falkenbach, H., & Viitanen, K. (2017). Development-led planning practices in a plan-led planning system: empirical evidence from Finland. *European Planning Studies, 25 (6), 1053-1075.*

Willis, K.G. 1995. Judging development control decisions, *Urban Studies, 32, pp. 1065-1079.*

Zakhour S., & Metzger, J. 2018. From a "Planning-Led Regime" to a "Development-Led Regime" (and

MİKRODENETLEYİCİ TABANLI DEVRE İLE ÇORLU DERESİNİN SICAKLIK VE İLETKENLİK ÖLÇÜMÜ VE GSM İLE GÖNDERİMİ

Necati YENİ¹, Şeyma ORDU^{2*}, Ertuğrul KARAKULAK³, Reşat MUTLU⁴

¹ Nokia, Türkiye

² Çevre Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniv., Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

³ Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

⁴ Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu, Tekirdağ, Türkiye

Makale Künye Bilgisi: Yeni, N., Ordu, Ş., Karakulak, E., Mutlu, R., (2022). Mikrodenetleyici Tabanlı Devre İle Çorlu Deresinin Sıcaklık ve İletkenlik Ölçümü ve GSM İle Gönderimi, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 63-71.

Öne Çıkanlar

- Aşırı kirlenmiş Çorlu Deresinin sıcaklığı ve elektriksel direncinin, zamana göre değişimi, tasarlanan mikrodenetleyici tabanlı sistemin GSM modülü kullanılarak, her yarım saatte bir atılan SMS mesajı ile uzaktan izlenmiştir.
- Bu ve benzeri sistemler dere boyunca çok sayıda noktada kurularak fabrikaların kirliliğe olan katkıları bulunabilir.
- Bu sistemlerle kirlilik kaynakları yetkililer tarafından uzaktan takip edilebilir ve gerekli kanuni yaptırımlar çevrimiçi olarak uygulanabilir.

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihiçesi: Geliş: 27 Temmuz 2022 Kabul: 8 Eylül 2022	Trakya bölgesinde su kaynakları giderek azalmaktadır. Su kaynaklarının kirliliğinin takibi bu yüzden önemlidir. Çorlu Deresine endüstriyel, evsel ve tarımsal atıklar karışmaktadır. Bu çalışmada tasarlanan PIC16F877A mikrodenetleyici tabanlı bir sistem ile derenin suyunun sıcaklığı ve iletkenliği ölçülmüş ve DS1302 entegresi ile ölçüm tarihi kaydedilmiştir. Ölçüm değerleri LCD ekranda yazdırılabilmektedir. Her 30 dakikada bir dereden ölçülen değerler GSM modülüne aktarılmıştır. Modüle konulan sim kart sayesinde atılan mesaj ile seçilen cep telefonunun bilgilendirme işlemi gerçekleşmektedir. Bu sayede derenin zamana bağlı olarak kirlilik durumu izlenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Kirlilik İzlenmesi; Su Kaynakları; GSM Tabanlı Sistem; Gerçek Zamanlı Ölçme; Mikrodenetleyici Tabanlı Ölçme Sistemi	

Temperature and Conductivity Measurement Of Çorlu Stream with Microcontroller Based Circuit and Its Transmission Via GSM

Article Info	Abstract
Article History: Received: July 27, 2022 Accepted: September 8, 2022	Water resources in Thrace Region are gradually decreasing. Therefore, monitoring the pollution of water resources is important. Industrial, domestic and agricultural wastes are mixed with Çorlu Stream. The temperature and conductivity values of the stream's water have been measured with a PIC16F877A microcontroller-based system designed in this study and the measurement date is recorded with the DS1302 IC. Measurement values can be written on the LCD display. The values measured from the stream every 30 minutes have been transferred to the GSM module. Thanks to the sim card inserted in the module, it is possible to send a message and inform on the selected mobile phone. In this way, the pollution status of the stream gets monitored over time
Keywords: Pollution Monitoring; Water Resources; GSM Based System; Real-Time Measurement; Microcontroller-based Measurement System	

1. Giriş

GSM modem veya GSM modülü, uzak bir ağa veri bağlantısı sağlamak için GSM cep telefonu teknolojisini kullanan bir donanım cihazıdır (Çora, 2005, Eberspächer, Vögel ve Bettstetter, 2001). Günümüzde teknolojik gelişmelerden dolayı fiyatları oldukça düşmüştür. GSM modüller uzaktan veri aktarımı için de kullanılabilir. GSM modüller su seviyesi bilgisini ve sıcaklık bilgisini ileten Radyo frekansı (RF) ile haberleşme sistemlerine göre çok daha uzağa mesaj yollayabilmektedir (Karakulak, 2005, Mutlu, Karakulak ve Mevsim, 2010). Murugan ve ark. (2012), endüstriyel bir tesiste olası kazaların önlenmesi için, PIC16F877A ve GSM modülü kullanarak sıcaklık takibi yapmışlardır. Mahmood (2018), Arduino kartı ve GSM modül kullanan bir iklim değişimi izleme sistemi önermiştir. Hossain ve ark. (2013), küresel ısınma etkisini ve nem ile karbondioksit gibi değişkenleri gözlemek üzere GSM modül tabanlı bir kablosuz sensör ağı önermiştir. Sipani ve ark. çalışmasında (2017), Arduino kartı ve Sim900a Gsm Shield tabanlı bir sıcaklık ve nem gözleme ve kontrol sistemi önerilmiştir. GSM modüller çalışma durumlarını gözlemek ve olası kaza ile tehlikeleri bildirmek içinde kullanılabilir (Thangarajah, Wongkaew ve Ekpanyapong, 2015). Satyanarayana ve Mazaruddin'in çalışmalarında (2013), zirai bir uygulama olarak yeraltı suyunun GSM modül ile izlenmesi önerilmiştir. Sultana ve ark. (2013), sıcaklıkla bozulabilecek pahalı ve hassas ürünlerin depolanma sıcaklığının GSM modül ve mikrodenetleyici ile uzaktan gözlenmesi işlemini yapmıştır. Zheng ve ark. çalışmasında (2016), tahıl ambarlarının sıcaklık ve neminin GSM kullanarak izlenmesi yapılmıştır. Abdullah ve Ali (2014), su seviyesi ve sıcaklığını izlemek için bir GSM sistemi önermiştir. Purohit ve Gokhale (2014) tarafından GSM ve 8051 mikrodenetleyici tabanlı bir su kalitesi izleme sistemi önerilmiştir.

Planlama çalışmaları uygun bir şekilde yapılmadan gelişen endüstri bölgeleri ve hızla artan nüfus, Ergene Nehri'nin aşırı derecede kirlenmesine neden olmuştur. Endüstriyel, evsel ve tarımsal kökenli atık sular doğrudan ya da dolaylı olarak Ergene Nehri'ne deşarj edilmektedir. Ergene Nehrinin en büyük kollarından olan Çorlu Deresi Istranca dağlarından doğmakta ve kuzeydoğu-güneybatı yönünde akarak Muratlı ilçesinin kuzeyinde İnanlı'da Ergene Nehrine karışmaktadır. Su toplama havzasının alanı 1319 km² ve uzunluğu 62 km'dir (Tan, 2006). Çorlu Deresi, özellikle tekstil, deri ve kimya endüstrisinin atıklarıyla kirlenmektedir.

Tekstil endüstrisindeki kirlenici parametreler sektöre göre değişmekle birlikte renk, pH, makine yağları, Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ), sülfidler ve çinkodur. Kimya endüstrisi atıksuları yağ emisyonları, sülfid ve fenoller, makine yağları, katılar, pH, fosfatlar ve organik madde içerebilirler. Tipik etkileri tat ve koku problemleri ve toksik kirlenme olabilmektedir. Kimya endüstrisi atıksuları ayrıca termal kirlenmeye yol açabilir. Deri endüstrisinden kaynaklanan kirlenici parametreler ise kıl, katı madde, BOİ, azot, krom, sülfid, pH ve kokudur (Tan, 2006).

Güneş ve ark. (2001) tarafından Çorlu Deresinden su örnekleri alınmış ve Zn, Pb, Fe ve Cu analizleri yapılmıştır. Bu araştırma Çorlu Deresi suyunda önemli ölçüde Pb ve Fe kirliliğinin olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Başka bir çalışmada, Ergene Nehri Uzunköprü istasyonunda alınan su örneklerinde ağır metal kirliliği incelenmiş ve Cd konsantrasyonu bakımından III. sınıf, Pb ve Cu konsantrasyonu bakımından ise IV. sınıf sulama suyu olduğu belirlenmiştir (Anonim, 2013).

Ordu'nun (2005), yapmış olduğu çalışma sonuçlarına göre Ergene Nehri kaynakta I. sınıf su kalite kriterlerini sağlamaktadır, fakat özellikle Çorlu Deresi ile birleştikten sonra bu suyun taşıdığı aşırı kirlilik yükü nedeni ile su kalitesinin bozulduğu görülmektedir.

Varol'un (2019) çalışmasında ise değişik kirlilik parametrelerinin Çorlu Deresinde ve bölge topraklarında meydana getirdiği kirlilik düzeyinin ortaya konması amacıyla su ve toprak örnekleri alınmış ve analiz edilmiştir.

Türkiye'de su kaynaklarının çevre kirliliğine maruz kalmaması için Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne uygun hareket edilmesi gerekmektedir. Her bölgeye özel yönetim sistemleri henüz oluşturulmamıştır.

Bir akarsuyun sıcaklık ve iletkenliği içinde bulunan atık kimyasallarla değişiklik gösterebilir. Bunlar kimyasalların türüne göre farklı değerlerde okunur. Kirlenici maddenin içinde bulunan iyonlar ya da kirlenici maddenin konsantrasyonu kirli suyun iletkenliğinin değişmesine neden olacaktır. Kirlenici madde yüksek miktarda atılmışsa ve sıcaklığı farklı ise içinde bulunduğu suyun ya da akarsunun sıcaklığını kayda değer bir şekilde değiştirebilir. Bundan dolayı zamana bağlı olarak akarsuyun kirliliğinin değişmesi sıcaklığın ve su iletkenliğinin değişimi ile ölçülebilir (Baird, Eaton ve Clesceri, 2012).

İletkenlik sulu bir çözeltinin elektriği iletme kabiliyetinin sayısal bir ifadesidir. Suyun iletkenliği sudaki iyonların toplam ve bağlı konsantrasyonlarına, hareketliliğine, değerliklerine ve ölçüm sıcaklığına bağlıdır. Sıcaklık arttıkça iletkenlik artar. Suyun iletkenliği ölçülerek, sudaki iyon miktarı yaklaşık olarak tayin edilebilir (<https://cevre.erciyes.edu.tr>).

İletkenlik değerinin 0,55-0,70 ile çarpımı, suyun tuzluluğu hakkında fikir verebilir. Aynı şekilde, bu ilişkiden faydalanarak bulunan sonuca göre, normal sularda iletkenliğin 100'e bölünmesiyle, sudaki anyon (=katyon) toplamı meq/L olarak hesaplanır. İletkenlik birimi Siemens/cm'dir. ($S=Siemens=Ohm^{-1}$). Saf suyun iletkenliği 0.055 $\mu S/cm$ civarındadır (<https://cevre.erciyes.edu.tr>).

Su ortamında sıcaklığın gazların çözünürlüğünü etkilediği bilinmektedir. Sıcaklık arttıkça reaksiyon hızı artar. Atıksuların biyolojik olarak arıtılmasında

biyolojik aktivitenin etkilendiği en önemli parametre sıcaklıktır. Su sıcaklığı arıtma tesislerinde genellikle yerinde ölçülür. Laboratuarda ise genellikle pH metre problemleri ile ölçülür (<https://cevre.erciyes.edu.tr>).

Bu nedenlerle Çorlu Deresinin kirliliğinin uzaktan izlenmesi önemlidir. Bu çalışmada Çorlu Deresinin sıcaklığının ve daldırılan elektrot sistemi vasıtasıyla elektriksel direncinin yani dolayısıyla elektriksel iletkenliğinin ölçümü yapılarak uzaktan izlenmesi için bir elektronik sistem tasarlanması hedeflenmiştir. Mikrodenetleyiciler kolayca sıcaklık ve direnç ölçümü için kullanılabilirler (Choi ve Eastman, 1995, Jordana, Reverter ve Pallas-Areny, 2003). Bu işlemi yapmak üzere ucuz ve kullanımı kolay PIC16F877A mikrodenetleyicisi seçilmiştir (Şahin, Dayanık ve Altınbaşak, 2015). Bu mikrodenetleyici LM35 sıcaklık sensörü kullanarak sıcaklık ölçümü yapabilmektedir (Mutlu ve diğ., 2010). Derenin direncini ölçmek üzere içine daldırılacak bir elektrot sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu bilgiler GSM modül yardımıyla SMS olarak alıcı bir cep telefonuna bildirilecektir. Bu sayede derenin kirlilik değişimi bir cep telefonundan takip edilebilecektir.

Bu çalışma şu sırayla düzenlenmiştir. İkinci bölümde sistem donanımı hakkında bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde sistem yazılımı kısaca açıklanmıştır. Dördüncü bölümde deneysel sonuçlar verilmiştir. Sonuç bölümü ile sonlandırılmıştır.

2. Sistem Donanımı

Bu kısımda kullanılan devre elemanları ve tasarlanan devre hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Kullanılan devre elemanları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan Devre Elemanları

Devre Elemanı Adı	Adet
PIC16F877A	1
GSM Modülü	1
LCD Panel Modülü	1
LM35 Sıcaklık Sensörü	1
DS1302 RTC Entegresi	1
MAX232 Entegresi	1

2.1. Sistem Elemanları

Tablo 1'deki devre elemanları sırayla kısaca açıklanacaktır.

2.1.1. PIC16F877A Mikrodenetleyici

PIC (Peripheral Interface Controller) mikrodenetleyiciler Microchip firması tarafından üretilmektedir. Diğer mikrodenetleyicilerde olduğu gibi az çevresel donanım ihtiyacı ile işe kolay koşullu programlanabilmesi önemli avantajlarından sayılabilir. PIC serisi mikrodenetleyiciler RISC mimarisine sahip olması sebebiyle ucuza mal edilebilmekte ve enerji sarfları görece olarak daha az olmaktadır. Bu açıdan IoT (Internet of Things) gibi uzak aygıtların yapılmasına oldukça uygundurlar. Bu çalışmada kullanılacak bir mikrodenetleyiciden beklenen çevresel birimler olan dahili ADC (Analog Digital Converter) ve dahili UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) PIC16F877A mikrodenetleyicisinde bulunmaktadır.

2.1.2. LM35 Sıcaklık Sensörü

LM35 yarı iletken yapıları entegre devre kılıfında bir sıcaklık sensörüdür. Bu sensör geniş bir besleme gerilim aralığı altında (4 V–30 V) tek bir kaynaktan beslenebilir ve çıkış gerilimi Celsius dereceye kalibrelidir. Sensörün önemli özelliklerinden birisi de doğrusal yapısıdır ve 10 mV/°C doğrusal bir eğime sahip olmasıdır. Sensörün kılıfının plastik yapıda olması sebebiyle çalışma sıcaklığı -55 °C ile 150 °C arasındadır. LM35 ucuz ve kolay kullanılabilir olmasına rağmen hata miktarlarının görece fazla olması nedeniyle (Oda sıcaklığında 0,25 °C) doğruluğun çok önemli olduğu uygulamalar için önerilmemektedir. Sensörün doğruluğu bu çalışma için kabul edilebilir düzeyde olduğu için sensör tercih edilmiştir.

2.1.3. DS1302 Entegresi

Zaman informal yapısı, mikrodenetleyiciye getireceği büyük işlem yükü ve uzun vadede yaşanacak kaymalar nedeniyle mikrodenetleyicide yazılacak kod ile takibi uygun olmayan bir değişkendir. Bu sebeple bazı mikrodenetleyicilerin içinde dahili RTC (Real Time Clock) blokları bulunurken, dahili RTC bulunmayan mikrodenetleyiciler için ise harici olarak satın alınarak bağlanabilir. RTC entegreleri mikrodenetleyiciler ile seri haberleşme protokolleri ile haberleştikleri için mikrodenetleyicilerin az sayıda pinini işgal etmektedirler. RTC entegrelerine bağlanan harici pil ile elektrik kesilmelerinde yaşanacak zaman bilgisi kayıplarının önüne geçilmiş olmaktadır. DS1302 RTC entegresi saniye, dakika, saat, gün, ay ve yıl bilgilerini sürekli olarak içinde kaydedebilen bir entegredir. Kürklü ve Çağlayan'ın çalışmasında (2007) olduğu gibi, bu çalışmada da PIC16F877A mikrodenetleyicisinin dahili RTC bloğuna sahip olmaması sebebiyle, DS1302 RTC entegresi kullanılan mikrodenetleyiciye harici olarak bağlanmıştır.

2.1.4 LCD Gösterge

Mikrodenetleyicili sistem tasarımında sıvı kristal gösterge (LCD) modülleri kullanıcı arayüzü olarak yaygınca kullanılmaktadır. Bu tür LCD göstergeler içerisinde maliyeti ve kullanım kolaylığı bakımından en sık tercih edilen ise LCD panel göstergelerdir. Bu göstergeler aslında birer mikroişlemcili sistemdirler. Yani içlerinde mikroişlemci, bellekler ve port entegreleri bulunur. Karakter LCD'ler mikrodenetleyiciler ile ASCII kod sistemini kullanarak veri alışverişi yaparlar.

2.1.5 GSM Modül

Her bir GSM modülü aslında bir GSM altyapılı cep telefonudur. İçerisine takılan bir sim kart ile kendine ait IMEI numarası ile GSM ağına dahil olur. Ancak bu kartlarda tuş veya LCD ekranlar bulunmamaktadır ve ancak seri haberleşme protokolü (RS232) ile kontrol

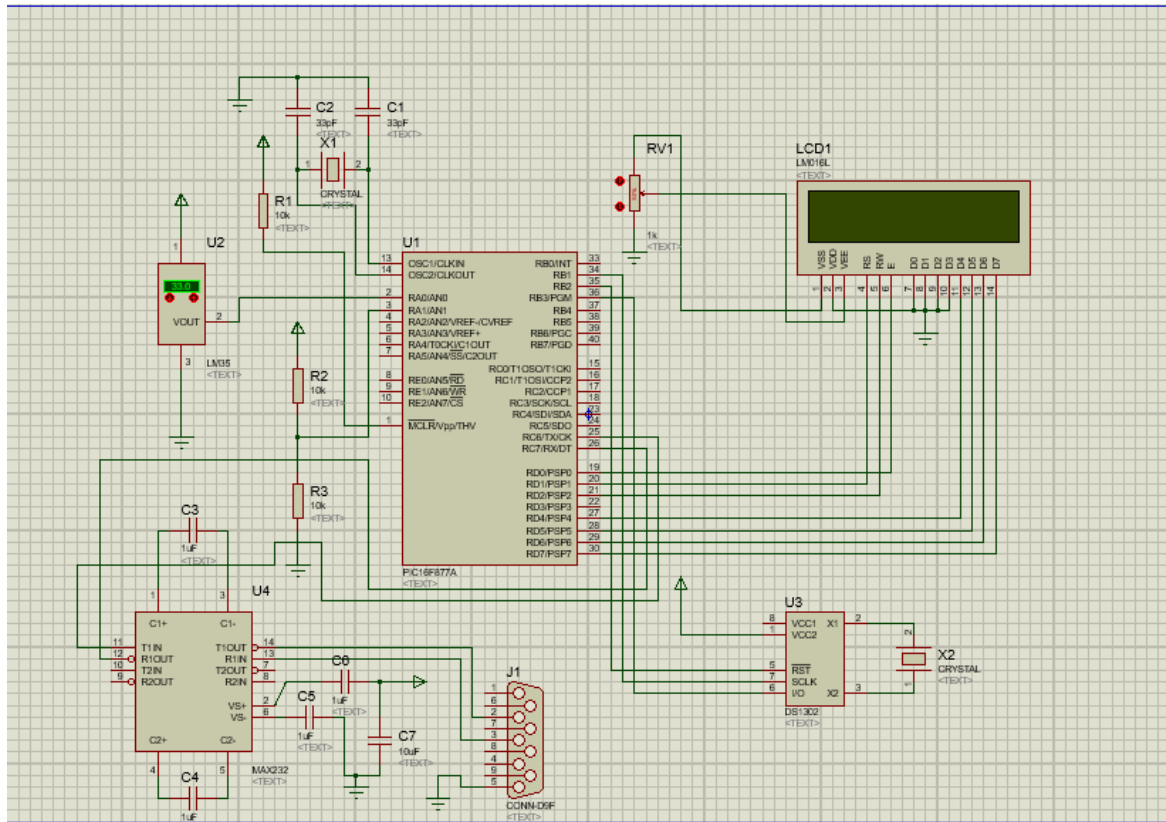
edilebilirler. Bu tür modülleri kontrol etmek için AT komut sistemi kullanılır (https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1302). GSM modüller ile GSM araması ile ses transferi, SMS gönderim ve alımı ile GPRS veri haberleşmesi yapmak mümkündür. Bu çalışmada kullanılan GSM modülünün SMS gönderebilme becerisinden faydalanılmıştır. GSM modülleri RS232 portuna sahiptir. Kullanılan PIC16F877A mikrodenetleyicinin ise dahili UART portu bulunmaktadır.

2.1.6. MAX232 Entegresi

MAX232 entegresi mikrodenetleyiciler ile bilgisayar arasında RS232 iletişim protokolünü kullanarak seri haberleşme yapılmasını sağlayan sinyal eşleyici bir entegredir. UART ile RS232 protokolleri birbirlerine çok benzese bile gerilim seviyeleri birbirlerinden farklıdır. Bu yüzden gerilim adaptasyonu için MAX232 entegresi kullanılarak bir adaptör devresi kurulmuş ve kullanılmıştır (https://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232).

2.2. Sistem Devresi

Şekil 1'de önerilmekte olan sistemin Proteus'ta çizilen şeması görülebilir. Sistemin ölçtüğü iki analog işaret girdisi bulunmaktadır. Bunlardan birisi sıcaklık, diğeri ise elektriksel dirençtir. Bu veriler analog iki girişten (AN0 ve AN1) mikrodenetleyici tarafından okunmaktadır. Kullanılan mikrodenetleyicinin ADC çözünürlüğü 10 bit'tir. Bu iki veri D portuna bağlı LCD ekranda kullanıcı tarafından görülebilmektedir. Sistemin girdilerinden birisi de DS1302 entegresinden elde edilen gerçek zaman bilgisidir. DS1302 mikrodenetleyici ile seri haberleşme protokolü (3 telli - 3 wire) senkron seri haberleşme protokolünü kullanarak veri transferi gerçekleştirmektedir. Sistem kullanıcının seçtiği konfigürasyona bağlı olarak belirlenen bir periyot ile sıcaklık ve elektriksel direnç bilgilerini GSM modülüne transfer etmektedir. DS1302'den elde edilen gerçek zaman bilgisi veri transfer zamanının tespiti için kullanılmaktadır. Şekil 1'de MAX232 entegresini içeren UART/RS232

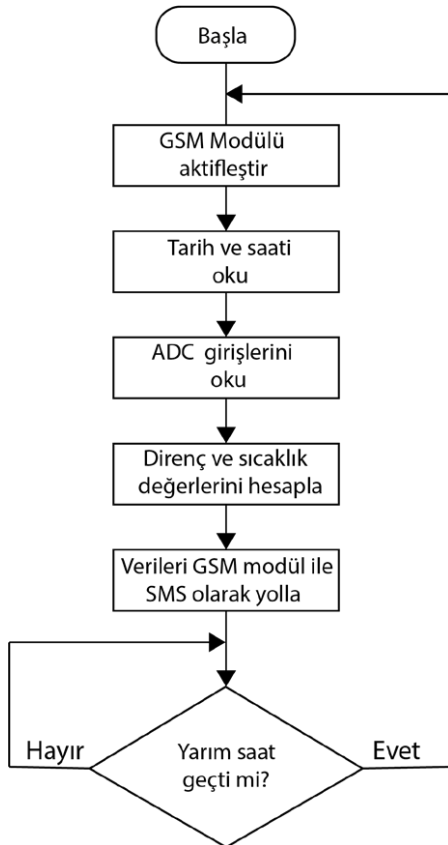


Şekil 1. Proteus'ta çizilen sistem şeması

adaptör devresinin mikrodenetleyicinin UART pinlerine (RX ve TX) bağlı olduğu görülmektedir. J1 konnektörü ile GSM modülüne bağlanmaktadır.

3. Sistem Yazılımı

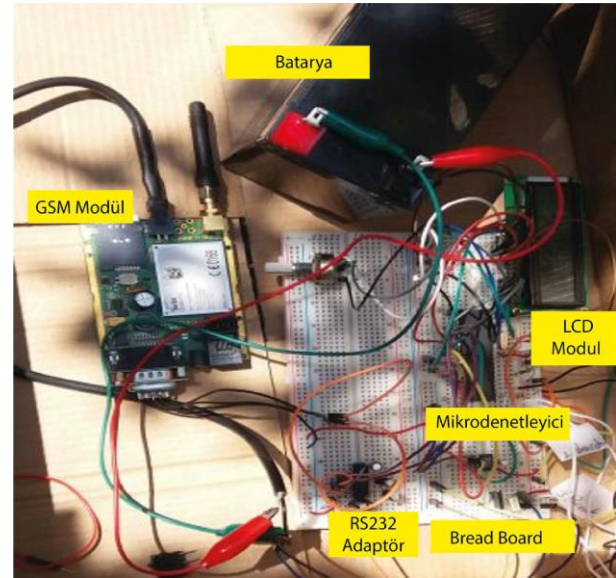
Bu kısımda sistem yazılımı hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Mikrodenetleyici programına ait akış diyagramı Şekil 2’de verilmiştir. Sistem başlatıldıktan sonra GSM modülü aktifleşmektedir. Günü ve saati okuma, ADC uçlarından prob gerilimini ve sıcaklık sensörü gerilimini okuma, direnç hesaplama, hesapladığı direnç ve sıcaklık değerini seçilen bir cep telefonuna GSM modülü kullanarak mesaj atma işlemlerini ard arda gerçekleştirmektedir. Mikrodenetleyici C programı ile programlanmıştır. Mikrodenetleyici yazılımı, her yarım saatte bir derenin sıcaklık ve iletkenlik değerlerinin GSM modülü aracılığıyla SMS mesajı olarak alıcıya iletilmesini sağlayacak şekilde yazılmıştır. Bu süre kullanıcı tarafından değiştirilebilir.



Şekil 2. Sistem Programı Akış Diyagramı

4. Deneysel Sonuçlar

Sıcaklık ve iletkenlik ölçebilen devre bir çalışma tahtasına (protoboarda) kuruldu. Kurulan devre Şekil 3’te görülmektedir. LM35 sensörü 0,5 ° C doğruluğa sahiptir. Sıcak su ve buz kullanarak doğru ölçüm yapıp yapmadığı kontrol edildi. LM35 için başka bir kalibrasyona gerek görülmedi. Direnç sensörü kalibrasyonu bir Avometre ile yapıldı. Yazılımda kullanılan kalibrasyon katsayıları sayesinde en fazla % 5 hata ile dirençleri ölçebildiği görüldü. Daha pahalı sıcaklık sensörü ve lazer eksim dirençler kullanarak bu doğruluk değerleri artırılabilir ama bu prototip çalışması için bu doğruluk değerleri kabul edilebilir bulundu. Sensörlerden okumaların düzgünce yapıldığının görülmesinin ardından, GSM modülünün bağlantıları yapıldı. Sonraki aşamada kodlar yazılarak ISIS’de deneme yapıldı. GSM modül ile mesaj atılabildiği test edildi. Devre ile başarılı bir şekilde sıcaklık ve elektriksel direnç değerleri ölçülmüş ve bir cep telefonuna SMS olarak gönderilerek gerekli ön çalışma testi yapılmıştır.



Şekil 3. Devrenin fotoğrafı

Elektriksel direnç ölçmek için iki tane paralel bakır plakadan oluşan bir sensör yapılmıştır. LM35 sıcaklık sensörü plastik küçük hacimli bir kabın içinde konulmuş ve içine su girerek zarar görmesin diye ağzı

silikonlanmıştır. Derede deneylerin yapılacağı kısmın fotoğrafı Şekil 4'te görülmektedir. Sıcaklık sensörünün bulunduğu kılıf ve direnç sensörü su içine daldırılmış ve bir sopa yardımıyla derenin akıntısı götürmesin diye sabitlenmiştir. Şekil 5'te görüldüğü üzere sensörler kanalın ortasında su içine daldırılmıştır ve bir ağaç kütüğü ile sabitlenmiştir.



Şekil 4. Çorlu Deresinin Deney Yapılan Kısmı

Şekil 6'da görülen cep telefonuna gönderilen ölçümler 12:00'dan 18:00'a kadar altı saat boyunca yapılmıştır.

Saat 13:00'da sıcaklık sensörü henüz suyun üzerindedir, sıcaklık sensörü kılıfı kirli suya iyi temas etmemiştir. Şekil 6.a'da görüldüğü üzere saat 13:00'da sıcaklık yaklaşık 10 °C'tır. Ardından sıcaklık sensörü su ile iyice temas ettirildiğinde, saat 13:30'da sıcaklık yaklaşık 43 °C'ye çıkmış olarak görünmektedir. Sonrasında giderek sıcaklığın düştüğü görülmektedir. Bu ani sıcaklık artışının nedeni fabrikalardan yapılan ve etkisi gecikmeli olarak hissedilen kirli sıcak su deşarjı olarak anlaşılmıştır. Saat 15:30 sonrasında sıcaklık 10 °C civarında dalgalanmaya başlamıştır. Saat 15:30 sonrasında görülen bu sıcaklık dalgalanması yapılan deşarj miktarının mevcut olduğunu ama miktarının (debinin) değiştiğini tam periyodik olmadığını göstermektedir. Sensörün davranışının ısı iletimi analizi ya da ölçülen sıcaklığın zamana göre değişimi, fabrikanın konumu belli ise yapılan sıcak su deşarjı hakkında bilgi verebilir.

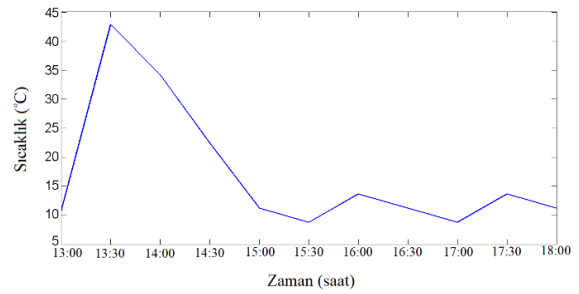


(a)

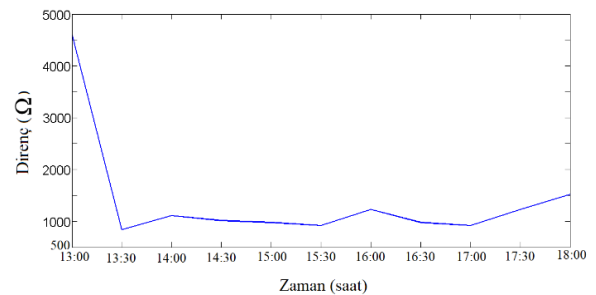


(b)

Şekil 5. a) Sensörlerin Üstten Bağlantısı ve b) Derede Sensörlerin Dere Ortasındaki Konumunu Gösteren Çekilmiş Fotoğraf



(a)



(b)

Şekil 6. a) Sıcaklığın Zamana Göre Değişimi ve b) Elektriksel Direncin Zamana Göre Değişimi

Saat 13:00'da direnç sensörü henüz suyun üzerindedir, direnç sensörünün elektrotları kirli suya iyi temas etmemiştir, bu anda yapılan direnç ölçümü bu yüzden değerce yüksektir ve hatalıdır. Şekil 6.b'de görüldüğü üzere saat 13:30 ve sonrasında, elektrotlar iyice su içine daldırıldığında temas yüzeyi arttığından ölçülen direnç değeri düşmüştür. Genel olarak ölçülen sıcaklık ve dirençin aralarında saat 15:00-18:00 aralığında 18:00'daki data noktası hariç benzer bir davranış bir korelasyon olduğu görülebilir.

5. Sonuç

Bu çalışmada PIC16F877A ve bir GSM Modül kullanılarak bir sıcaklık ve elektriksel direnç ölçümü yapılmıştır. Aşırı kirlenmiş Çorlu Deresinin sıcaklığı ve elektriksel direncinin zamana göre değişimi her yarım saatte bir sistemin GSM modülü kullanılarak atılan SMS mesajı ile izlenmiştir. Gelecekte bu yöntemle ölçülen verilerin izlenilerek Çorlu Deresinin kirliliğinin değişiminin rapor olarak sunulması ayrı bir çalışma olarak planlanmaktadır. Bu ve benzeri sistemler dereye çok sayıda noktada kurularak evsel ve endüstriyel kirlilik kaynaklarının dere kirliliğine olan katkıları incelenebilir, uzaktan takip edilebilir ve gerekirse kirlilik için kanuni yaptırımlar uygulanabilir. Ayrıca dereye daldırılan bunun gibi bir ya da daha fazla sıcaklık sensörünün ısı iletimi hesabı deşarjı yapılan kirli su debisi hakkında bilgi sağlayabilir. Ölçülen sıcaklık ve ölçülen direnç arasında bir korelasyon bulunması da ayrı bir araştırma konusu olabilir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynaklar

Abdullah, U., Ali, A. (2014). GSM based water level and temperature monitoring system. *International Journal of Recent Development in Engineering and Technology*, 3(2), 1-7.

Anonim (2013). Meriç Deltası sulak alanının iyileştirilmesi (rehabilitasyonu) üzerinde araştırmalar. DSİ Edirne.

Baird, R. B., Eaton, A. D., Clesceri, L. S. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Vol. 10). E. W. Rice (Ed.). Washington, DC: American Public Health Association.

Choi, S.U.S., Eastman, J.A. (1995). Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. No. ANL/MSD/CP-84938, CONF- 951135—29, Argonne National Lab., II.

Çora, A.(2005). GSM hücreli hareketli haberleşme sistemi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, EEMB.

Eberspächer, J., Vögel, H.J., Bettstetter, C. (2001). *GSM Switching, Services and Protocols*. Chichester: Wiley.

Güneş, Y., Ekmekyapar, F., Yasavul, E., Ordu, Ş., Karakaya, N. (2001). Çorlu Deresi'ne deşarj olan endüstriyel atıkların meydana getirdiği kirliliğin belirlenmesi. Ulusal Sanayi Çevre Sempozyumu ve Sergisi, Mersin, 844- 847.

Hossain, M.K., Haque, S.A., Bhattacharyya, S. (2013). GSM based wireless sensor network to measure global warming, humidity and CO₂. *International Journal of Computer Applications*, 76(14).

Jordana, J., Reverter, F., Pallàs-Areny, R. (2003). Uncertainty in resistance measurements based on microcontrollers with embedded time counters. In *Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation Technology Conference* (Cat. No. 03CH37412), 2, 1078-1082.

Karakulak, E. (2005). RF ile uzaktaki seviye değişkeninin taşınması ve analizi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

- Kürklü, A., Çağlayan, N. (2007). Mikrodenetleyici ve radyo frekansı kullanılarak alternatif iklim kontrol sisteminin geliştirilmesine yönelik bir çalışma. *Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(2), 229-239.
- Mahmood, S. N. (2018). GSM interaction based real time climate change monitoring technique. *Kirkuk University Journal/Scientific Studies (KUJSS)*, 13.2, 1-17.
- Murugan, T., Periasamy, A., Muruganand, S. (2012). Embedded based industrial temperature monitoring systems using GSM. *International Journal of Computer Applications*, 58(19).
- Mutlu, R., Karakulak, E., Mevsim, E. (2010). Sera sıcaklık ve nem takibi prototip devresi ve bilgisayar yazılımı. 3. İleri Mühendislik Teknolojileri Sempozyumu.
- Ordu, Ş. (2005). Ergene Havzasında yüzeysel su kirlenmesinin çevre bilgi sistemi yardımıyla izlenmesi ve kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Purohit, A., Gokhale, U. (2014). Real time water quality measurement system based on GSM. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, 9(3), 63-67.
- Satyanarayana, G.V., Mazaruddin, S.D. (2013). Wireless sensor based remote monitoring system for agriculture using ZigBee and GPS. In Conference on Advances in Communication and Control Systems, 3, 237-241.
- Sipani, J.P., Patel, R.H., Upadhyaya, T., Patel, V.T. (2017). Temperature & humidity monitoring & control system based on arduino and Sim900a Gsm shield. *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 5(11), 62.
- Sultana, M.A., Islam, M.S.B., Alam, M.M.C. (2019). Study and designing of micro controller based temperature sensing system along with global system for mobile (GSM) interface and alarm mechanism to be used in different temperature sensitive storehouses. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 8(5).
- Şahin, H., Dayanık, A., Altınbaşak, C. (2015). PIC Programlama Teknikleri ve PIC16F877A. (7.baskı). İstanbul: Altaş Yayıncılık.
- Tan, A. (2006). Atık sularda bazı kirlilik parametrelerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Thangarajah, A., Wongkaew, B., Ekpanyapong, M. (2015). Implementation of auto monitoring and short-message-service system via GSM modem. arXiv preprint arXiv:1501.01548.
- Varol, Z. (2019). Tekirdağ Çerkezköy-Çorlu güzergahından geçen Çorlu Deresi suyunda ve yakın çevresi topraklarında ağır metal kirliliğinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Zheng, X.X., Li, L.R., Shao, Y.J. (2016). A GSM-based remote temperature and humidity monitoring system for granary. In MATEC Web of Conferences, 44, 01060, EDP Sciences.
- <https://cevre.erciyes.edu.tr> (Erişim Tarihi: 18/04/2022).
- DS1302 datasheet, <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS1302.pdf>, (Erişim Tarihi: 22/04/2022).
- MAX232 datasheet, <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>, (Erişim Tarihi: 22/04/2022)

HARMONİKLERİN ENDÜSTRİYEL GÜÇ KALİTESİ VE ENERJİ VERİMLİLİĞİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR SAHA İNCELEMESİ VE UYGULAMASI

Levent KILIÇ^{1*}, Gürhan DURAL¹, Mehmet UZALA², Fatih MUTLU³, Anıl KAYAR³, Serkan ŞÜKRÜOĞLU³, Mirbey ÇETİNKAYA³

¹Şişecam Bilim, Teknoloji ve Tasarım Merkezi, Gebze, Kocaeli, TÜRKİYE

²Şişecam Operasyon Teknolojileri Müdürlüğü, Lüleburgaz, Kırklareli, TÜRKİYE

³Şişecam Otomotiv Fabrikası Teknik Müdürlüğü, Lüleburgaz, Kırklareli, TÜRKİYE

Makale Künye Bilgisi: Kılıç, L., Dural, G., Uzala, M., Mutlu, F., Kayar, A., Şükrüoğlu, S., Çetinkaya, M. (2022). Harmoniklerin Endüstriyel Güç Kalitesi ve Enerji Verimliliğine Etkisi Üzerine Bir Saha İncelemesi ve Uygulaması, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2): 73-84.

Öne Çıkanlar

- Harmonik bozulmalarla ilgili verilerin bölgesel ve tesis bazında ortaya konması
- Bozulmuş durumu iyileştirecek yöntem geliştirilmesi ve uygulaması
- Çözümün enerji ve operasyonel etkinliğinin gösterilmesi

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihiçesi: Geliş: 17 Mayıs 2022 Kabul: 24 Ekim 2022	Endüstriyel tesisler gerek bağlı oldukları şebekeden ve gerekse de kendi sistem ve ekipmanlarından doğrusal olmayan yükler nedeniyle yoğun bir harmonik etkiye maruz kalmaktadırlar. Endüstriyel elektrik sistemlerinde aşırı ısınma, bileşenlerin yaşlanması ve kapasite azalması, koruma ve ölçüm cihazlarının arızalanması, güç faktörünün daha düşük olması ve buna bağlı olarak artan kayıplar nedeniyle verimliliğin düşmesi, nedensiz açmalar gibi olaylar güç kalitesi problemlerinden olan harmoniklerin bazı temel etkileridir.
Anahtar Kelimeler: Harmonikler; Endüstriyel tesis; Güç kalitesi; Aktif pasif filtre; Enerji verimliliği.	Bu çalışmada, endüstriyel tesisin şebeke bağlantı noktasında uzun süreli izlenen şebeke olayları istatistikleri ve iç dağıtım sisteminde tespit edilen bozucu olaylar için iyileştirme çözümleri, önceki ve sonraki durumları gösterilerek verilmiştir. İşletme operasyon ve teknik yönetimindeki iyileşme durumu ve enerji verimliliğine etkisi de ayrıca hesaplanmıştır. Literatüre, sektöre, ilgi duyabileceklere ve düzenleyici otoritelere, konuya sahadan ve pratik verilerle katkı sağlamak amaçlanmıştır.

A RESEARCH AND APPLICATION OF HARMONICS EFFECTS ON INDUSTRIAL POWER QUALITY AND ENERGY EFFICIENCY

Highlights

- Long term local and plant harmonic data monitoring
- Solution method and improved implementation against clarified harmonic problems
- Analysing of outputs based for energy and operational efficiency

Article Info	Abstract
Article History: Received: May 17, 2022 Accepted: October 24, 2022	Industrial plants are exposed to an intensive harmonic effects due to non-linear loads from both the network they are connected to and their own systems and equipment. In industrial electrical systems, events such as overheating, aging of components and capacity reduction, failure of protection and measuring devices, lower power factor and consequently decreased efficiency due to increased losses, unexplained tripping are some of the main effects of harmonics, which are among power quality problems.
Keywords: Harmonics; Industrial plant; Power Quality; Active passive filter; Energy efficiency.	In this study, the improvements against clarified harmonic problems are given with the help of the statistics of long-term monitored network events at the grid connection point and of the industrial plant itself. The improvement is also given with before-after operational and technical before in the operation and technical data. It is aimed to contribute to the literature, the sector, those who may be interested and regulatory authorities, with practical data from the field.

1. Giriş

Son yıllarda, güç sistemine bağlanan ve sayıları gittikçe artan konverterler, ark fırınları, güç elektroniği elemanları, hızlı reaktif güç sağlayıcılar gibi doğrusal olmayan yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin sinüzoidal olmamasına, yani harmonik bozulmaya neden olabilirler (B. Kekezoglu, C. Kocatepe, R. Yumurtaci, O. Arıkan, M. Baysal, A. Bozkurt, Y. Akkaya, E. Özdemirci, 2022 ve Emenike Ugwuagbo, Adeola Balogun, Ayobami Olajube, Osita Omeje, Ayokunle Awelewa, Shehu Abba-Aliyu, 2021). Çok sayıda doğrusal olmayan yük, ek kayıpların oluşmasına ve beklenmeyen arızaların yaşanmasına neden olabilen elektrik tesislerinde istenmeyen bir durumdur (IEEE P519.1TM/D12, 2012). Doğrusal olmayan yükler, dağıtım sistemlerine harmonik akımlar enjekte eder. Sinüzoidal bir kaynaktan doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin bir kombinasyonu beslendiğinde, toplam besleme akımı harmonikler içerecektir (IEEE 1531, 2003). Enjekte edilen harmonik akımlar ve ortaya çıkan harmonik gerilimler, güç kalitesi sorunlarına neden olmaktadır.

Ekipmanda aşırı ısınma, bileşenlerin yaşlanması ve kapasite azalması, koruma ve ölçüm cihazlarının arızalanması, güç faktörünün daha düşük olması ve buna bağlı olarak artan kayıplar nedeniyle güç sistemi verimliliğinin düşmesi, güç dağıtım sistemlerinde harmoniklerin bazı temel etkileridir. Harmonik bozulmalar, enerji kayıplarını artırır, ekipmanların ömürlerini azaltır ve fazla arızaya neden olarak sistemlerdeki işletme maliyetlerini artırır. Farklı güç sistemi sektörlerinde kullanılan çok sayıda doğrusal olmayan yüklerin neden olduğu harmoniklerden kaynaklanan enerji kaybı tahmin edilebilir (M. Jawad

Ghorbani, H. Mokhtari, 2015). Üretilen güç ile tüketilen güç arasındaki fark, enerji kaybı olarak kabul edilir. Ancak, dağıtım şebekelerindeki enerji kayıpları, yetersiz ölçüm ve ayrıca yüksek veri toplama maliyeti nedeniyle genellikle ölçülmekten ziyade tahmin edilmektedir. Ayrıca, güç sistemi dağıtım kaybı tahmin yöntemleri, teknik kayıpları belirlemenin güvenilir yollarındandır (Pablo Rodríguez Pajarón, Araceli Hernández Bayo, Jovica V.Milanović 2022, P. Karuppanan, Kamala Manta Mahapatra, 2014, Cigre 313, 2007).

Pratik, teorinin kaynağı ve yeniden denenmesinin ölçüsüdür. Gerçeklik pratikte mevcutsa, teorideki yerini de alacaktır. Endüstride farklı koşullar için yapılmış bu uygulama ile hangi durumlar için hangi çözümlerin uygun olacağı, arıza, operasyon ve enerji verimliliğine etkisi gerçek verilerle ortaya koyulmaktadır. Bu, sektörden sağlanmış bir yenilik olarak öne çıkmaktadır.

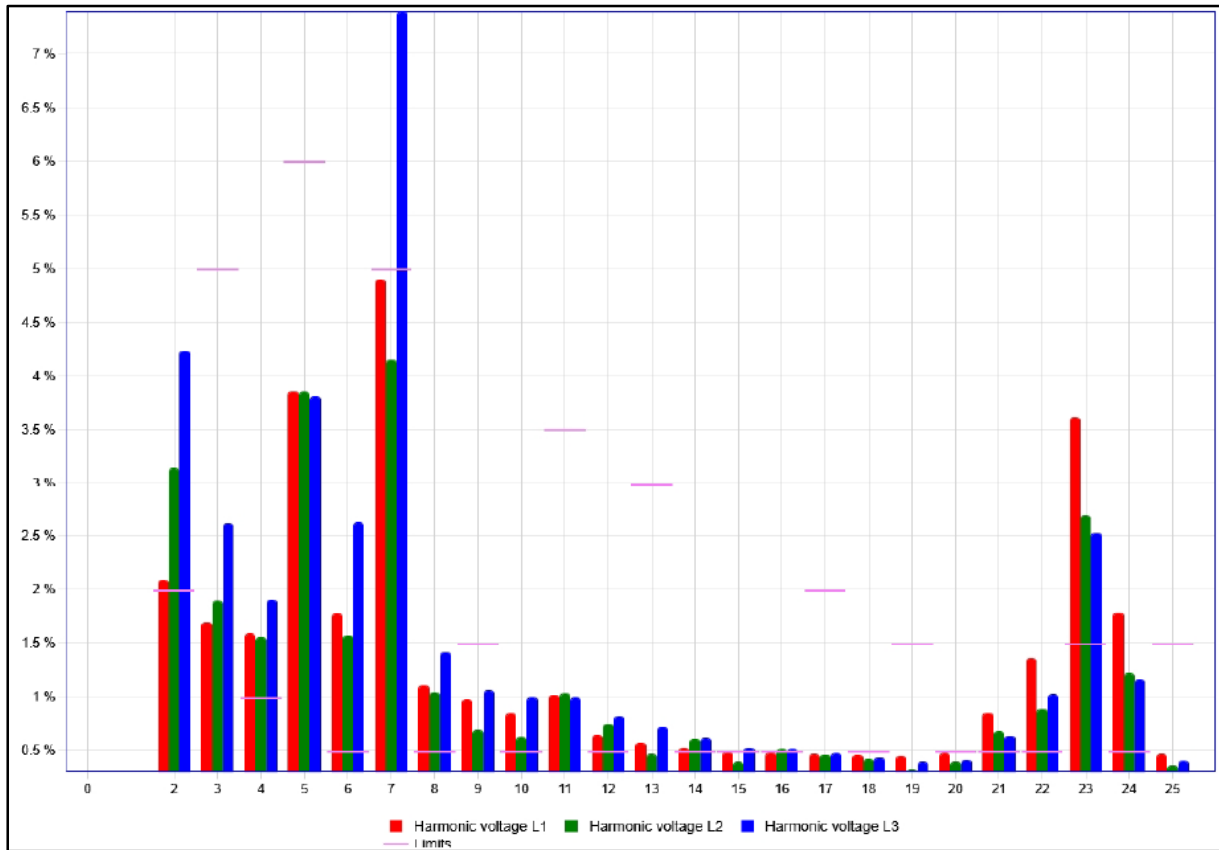
2. Şebeke Güç Kalitesi Olayları

2.1. Şebeke İstatistiksel Analizi

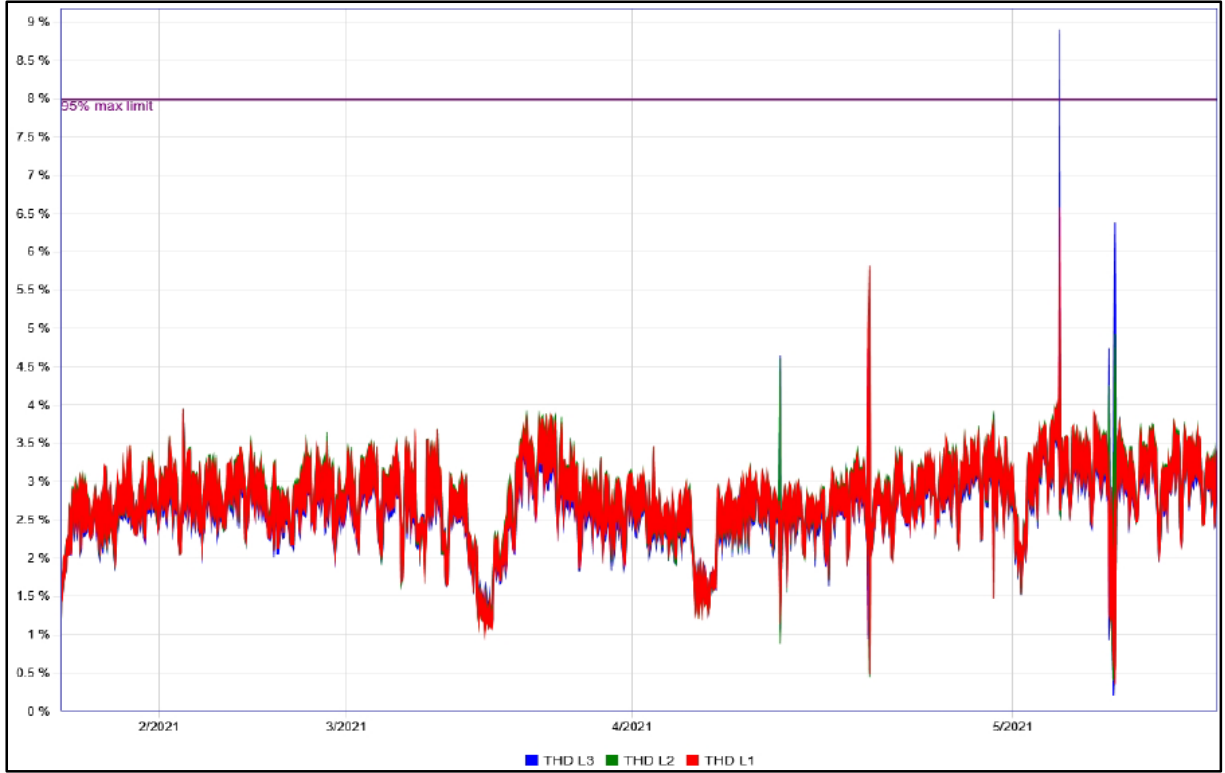
Şebeke bağlantı noktasında yaşanmış olaylar, EN 50160 standartına (EN 50160, 2000) göre kategorize edilmiş olarak Tablo 1’de, gerçek zamanlı güç kalitesi analizöründen 2021 yılına ait harmonik bileşenleri ve bozunum trendleri ise sırasıyla Şekil 1 ve 2’de verilmektedir.

Tablo 1. Güç kalitesi 6 yıllık istatistikleri

Yıl	Kısa süreli kesinti	Uzun süreli kesinti	Gerilim düşmesi	Gerilim yükselmesi
2016	2	9	409	408
2017	0	11	357	355
2018	0	10	659	672
2019	0	7	380	359
2020	1	11	432	369
2021	0	9	378	415



Şekil 1. 2021 yılı gerilim harmoniği bileşenleri



Şekil 2. 2021 yılı gerilim harmoniği bozunumu

2.2. Bara Ölçümleri

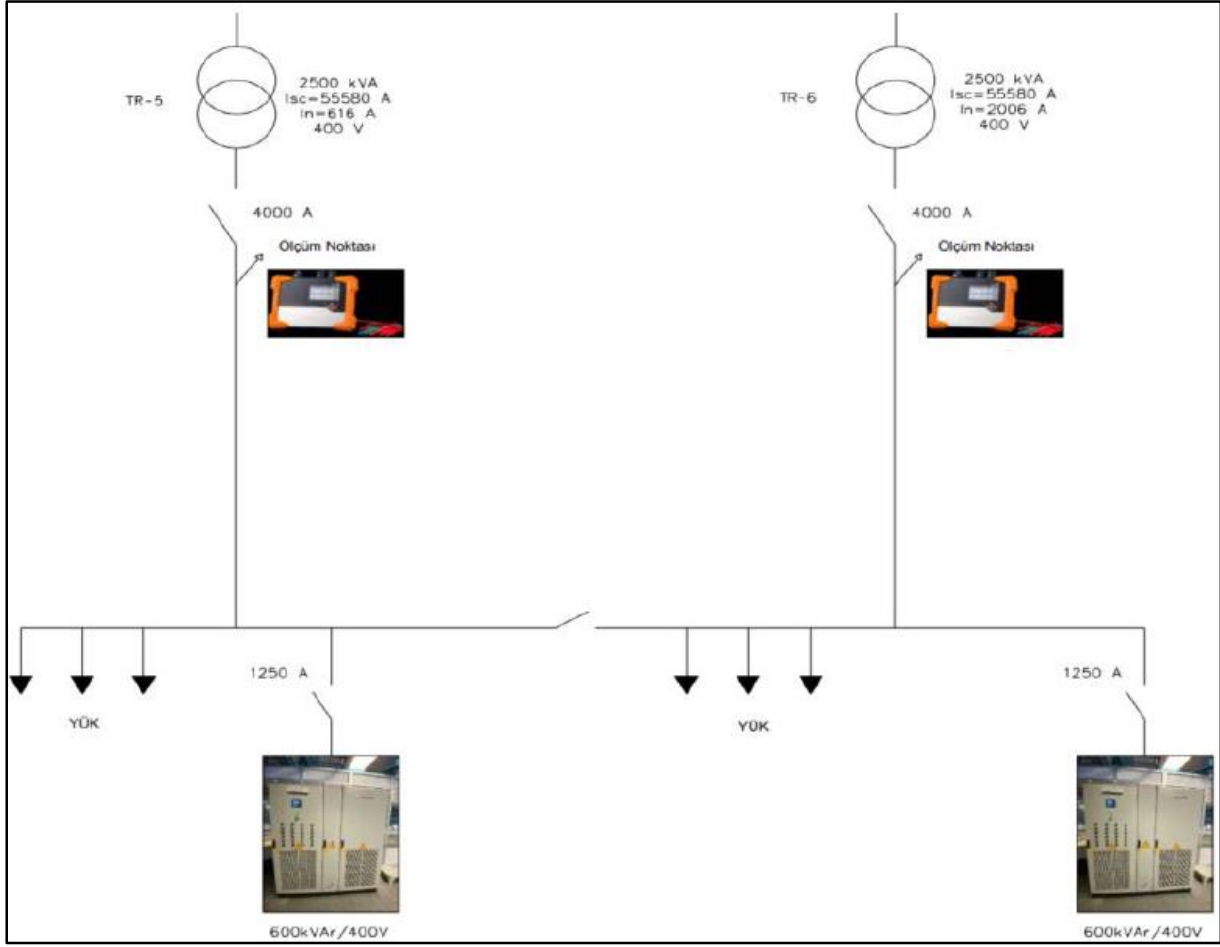
Fabrika dağıtım sisteminin tümünde gerek farklı firmalara yaptırılmış ve gerekse de enerji izleme

sisteminden doğrulanmış, Tablo 2’de görülen verilere göre, bazı noktalarda iyileştirme ihtiyacı olduğu dikkat çekmektedir.

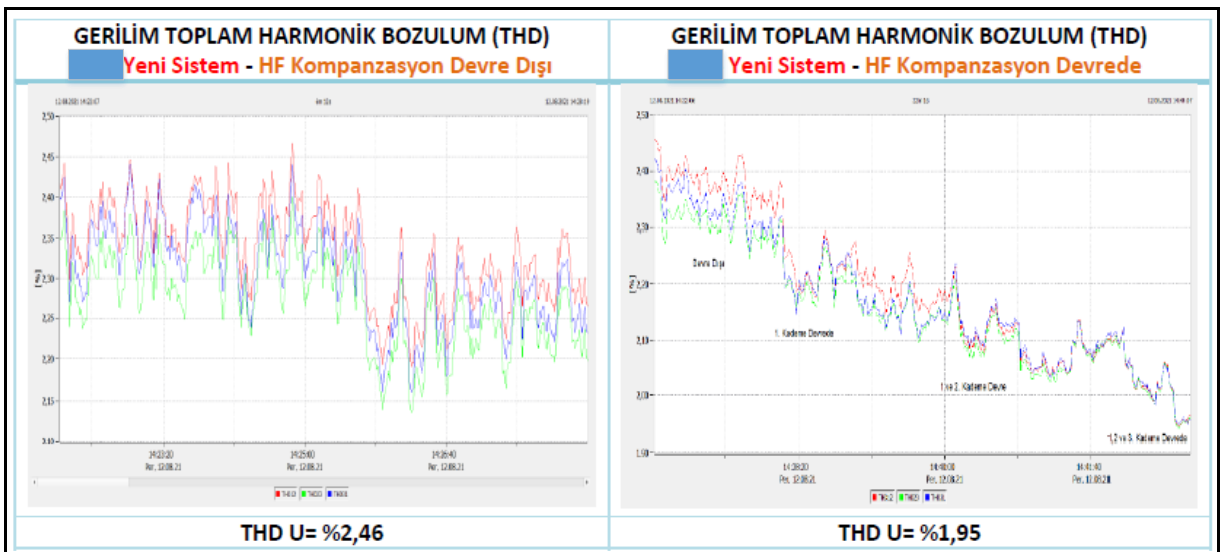
Tablo 2. Dağıtım sistemindeki akım harmonik bozulmaları

Ölçüm Noktası	S_n (kVA)	U_k (%)	I_{sc} (A)	I_n (A)	I_{sc}/I_n	H3 (%)	H5 (%)	H7 (%)	THDI (%)
1. durum: Pasif Filtre	2500	6,5	55580	1781	31,2	0,7<7,0	1,5<7,0	0,6<7,0	3,8<8,0
	2500	6,5	55580	1847	30	0,7<7,0	1,1<7,0	0,6<7,0	2,2<8,0
	2500	6,5	55580	616	90	0,6<10,0	11,7>10,0	6,0<10,0	15,4>12,0
	2500	6,5	55580	2006	27,7	2,4<7,0	12,2>7,0	5,2<7,0	15,2>8,0
	2500	6,5	55580	3166	17,5	0,5<4,0	1,8<4,0	0,3<4,0	2,3<5,0
2. durum: Aktif Filtre	2500	6,5	55580	2390	23,2	0,3<4,0	1,7<4,0	0,1<4,0	1,94<5,0
	2500	6,5	55580	685	81,1	0,9<10,0	1,7<4,0	0,8<4,0	5,6<12,0
	2500	5,7	63380	921	68,8	1,6<10,0	26,3>10,0	6,1<10,0	28,64>12,0
	2500	5,7	63380	568	111,5	3,1<12,0	32,5>12,0	6,9<10,0	34,20>15,0
	2500	6,5	55580	1715	32,4	1<7,0	1,25<7,0	0,9<7,0	2,2<8,0
	2500	6,5	55580	1814	30,6	1,5<7,0	4,4<7,0	0,6<7,0	4,7<8,0
	2500	6,5	55580	2533	21,9	0,5<7,0	1,1<7,0	0,5<7,0	1,8<8,0
	2500	6,5	55580	2492	22,3	0,3<7,0	0,7<7,0	0,7<7,0	2,2<8,0
	2500	6,5	55580	1658	33,5	0,8<7,0	1,6<7,0	1,4<7,0	2,8<8,0
	2500	6,5	55580	321	173,1	1,9<12,0	1,6<12,0	0,7<12,0	7,8<15,0
2500	6,5	55580	280	198,5	0,8<12,0	9,6<12,0	5,4<12,0	11,4<15,0	

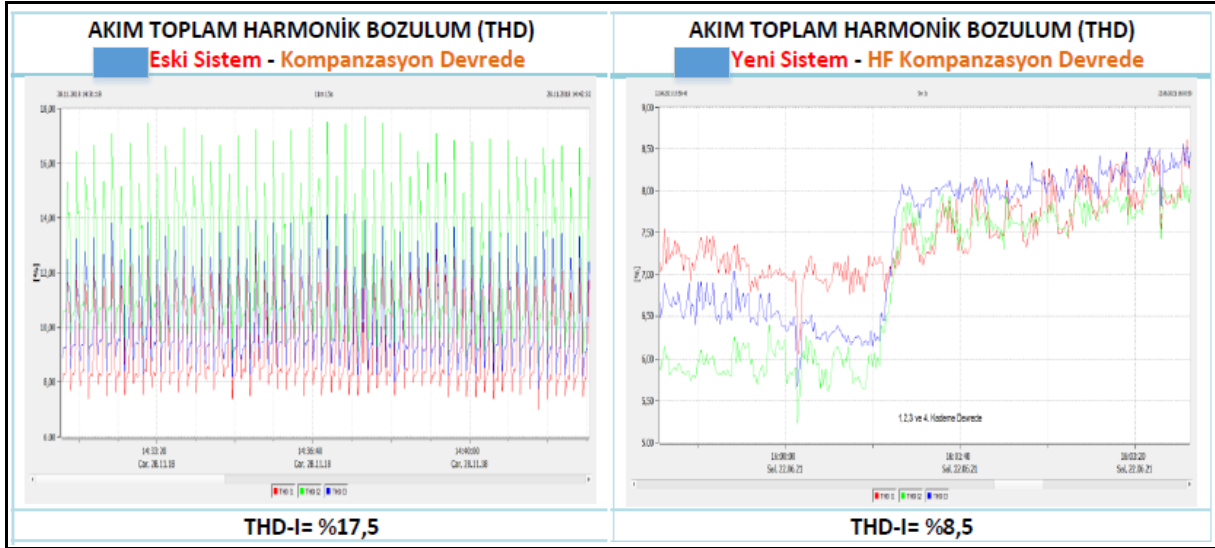
Bozulmaların yüksek olduğu, pasif filtre uygulanan hatın topolojik şekli basitleştirilmiş olarak Şekil 3’de, iyileştirme öncesi ve sonrası ölçümler ise Şekil 4 ve 5’de verilmektedir (Epkom, 2021).



Şekil 3. Birinci uygulama için basitleştirilmiş tek hat çizimi



Şekil 4. Filtre öncesi – sonrası durum



Şekil 5. Filtre öncesi – sonrası durum

Yapılan çalışmadan sağlanan iyileştirmelerin etkisi, sırasıyla Tablo 3 ve 4'te verilmektedir. Akımlardaki ciddi düşme dikkat çekmektedir.

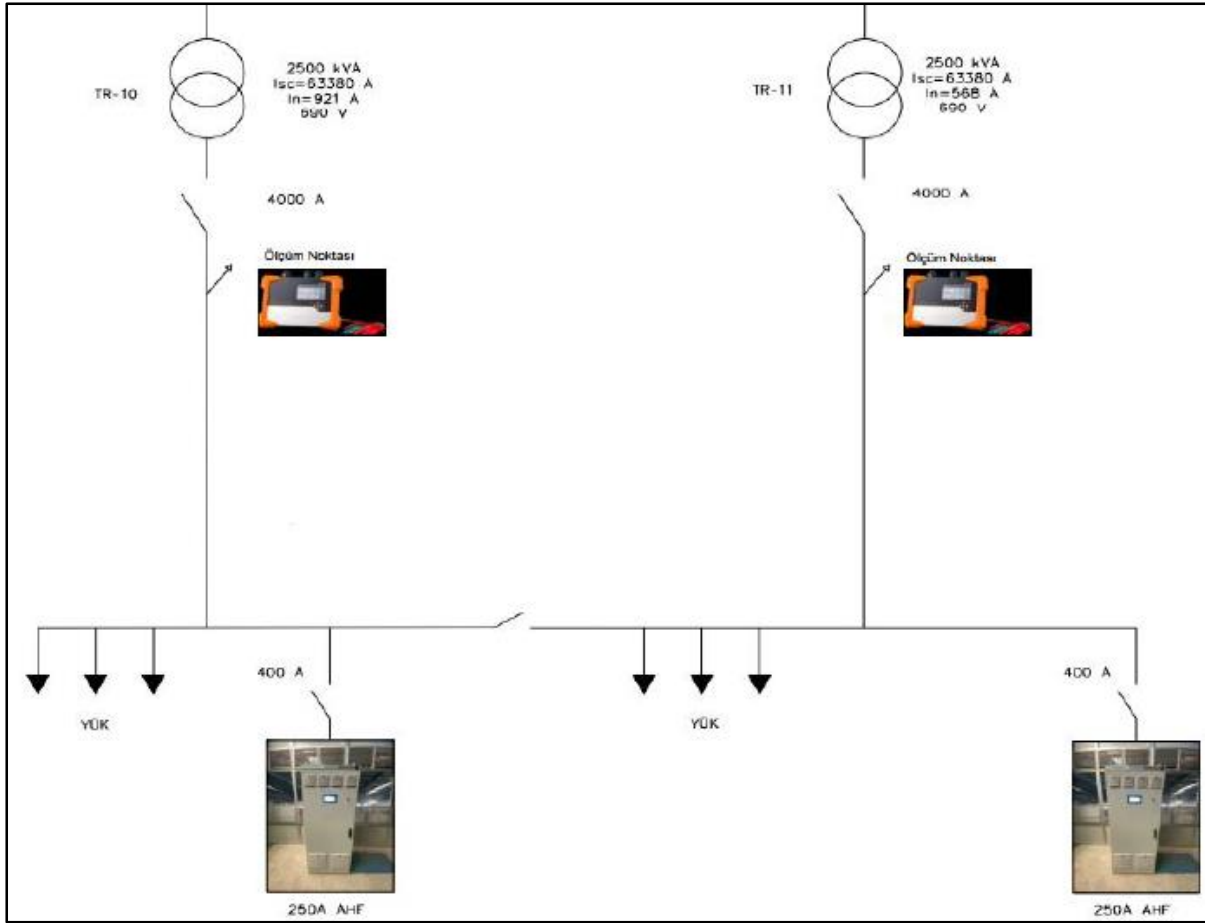
Tablo 3. Eski sistem cevapları

	Kompanzasyon Devrede				Kompanzasyon Devre Dışı			
	Q (kVAr)	I (A)	THD-I (%)	THD-U (%)	Q (kVAr)	I (A)	THD-I (%)	THD-U (%)
	100	1357	17.5	4	350	1550	6.2	3.20
	80	1254	7.7	3.36	160	1358	6.5	2.64

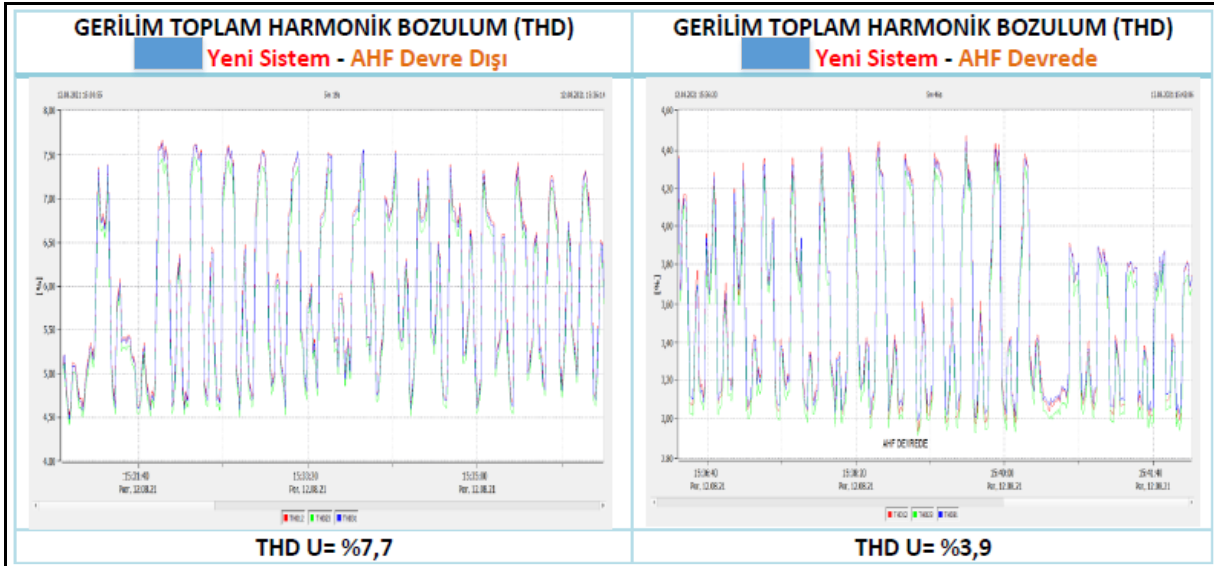
Tablo 4. Yeni sistem cevapları

	Kompanzasyon Devrede							Kompanzasyon Devre Dışı						
	I (A)	THD-I (%)	THD-U (%)	H5-U (%)	H7-U (%)	H11-U (%)	H13-U (%)	I (A)	THD-I (%)	THD-U (%)	H5-U (%)	H7-U (%)	H11-U (%)	H13-U (%)
	618	8,52	2,46	2,35	0,58	0,16	0,09	928	8,18	3,01	2,88	0,76	0,26	0,17
	973	9,62	1,95	1,79	0,55	0,31	0,04	1197	7,61	2,46	2,35	0,68	0,43	0,17

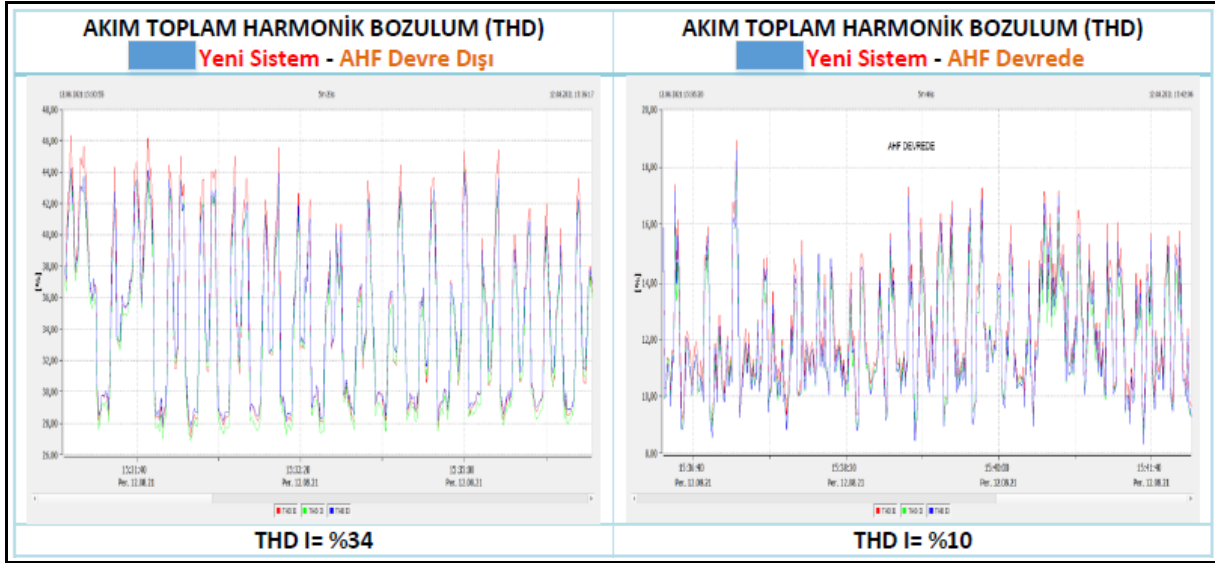
Aktif filtre uygulanan ikinci durum tek hat çizimi Şekil 6'da, iyileştirme öncesi ve sonrası ölçümler ise Şekil 7 ve 8' de verilmektedir. Akım bozulması yarıya düşürüldüğü görülmektedir.



Şekil 6. İkinci uygulama için basitleştirilmiş tek hat çizimi



Şekil 7. Filtre öncesi – sonrası durum



Şekil 8. Filtre öncesi – sonrası durum

Tablo 5. Eski sistem cevapları

Ölçüm Noktası	S_n (kVA)	U_k (%)	I_{sc} (A)	I_n (A)	I_{sc}/I_n	H3 (%)	H5 (%)	H7 (%)	THDI (%)
	2500	5,7	63380	921	68,8	1,6<10,0	26,3>10,0	6,1<10,0	28,64>12,0
	2500	5,7	63380	568	111,5	3,1<12,0	32,5>12,0	6,9<10,0	34,20>15,0

Tablo 6. Yeni sistem cevapları

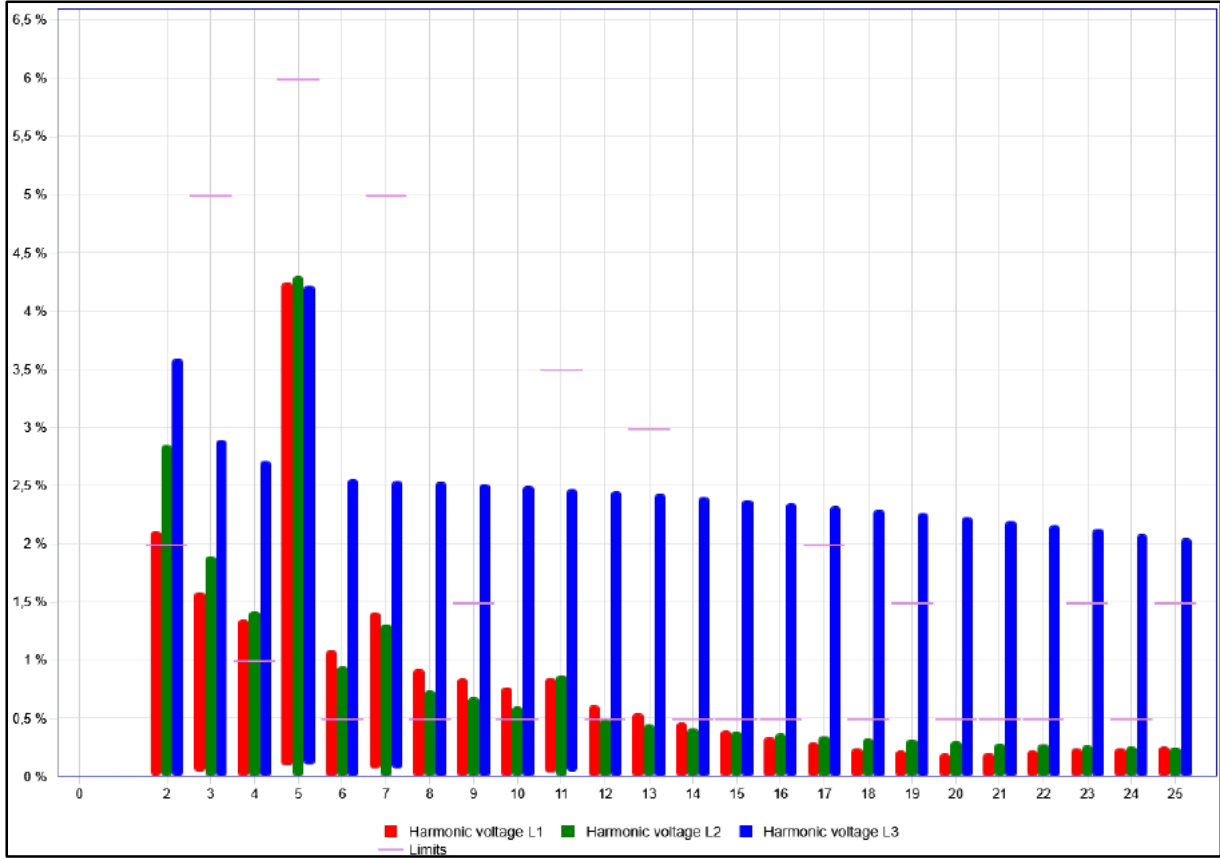
	AHF Devrede							AHF Devre Dışı						
	I (A)	THD-U (%)	THD-I (%)	H5-I (A)	H7-I (A)	H11-I (A)	H13-I (A)	I (A)	THD-U (%)	THD-I (%)	H5-I (A)	H7-I (A)	H11-I (A)	H13-I (A)
	901	3,90	10,3	54,7	22,1	16,07	14,84	1098	7,66	46,05	252,2	77,28	50,01	33,71
	727	3,52	6,91	42,11	16,91	8,61	3,27	770	6,43	35,85	207,52	48,02	39,04	15,84

Yapılan çalışmadan sağlanan iyileştirmelerin etkisi, sırasıyla Tablo 5 ve 6' da verilmektedir. %46 akım harmonik oranının, %10'a düşmesi sağlanmıştır.

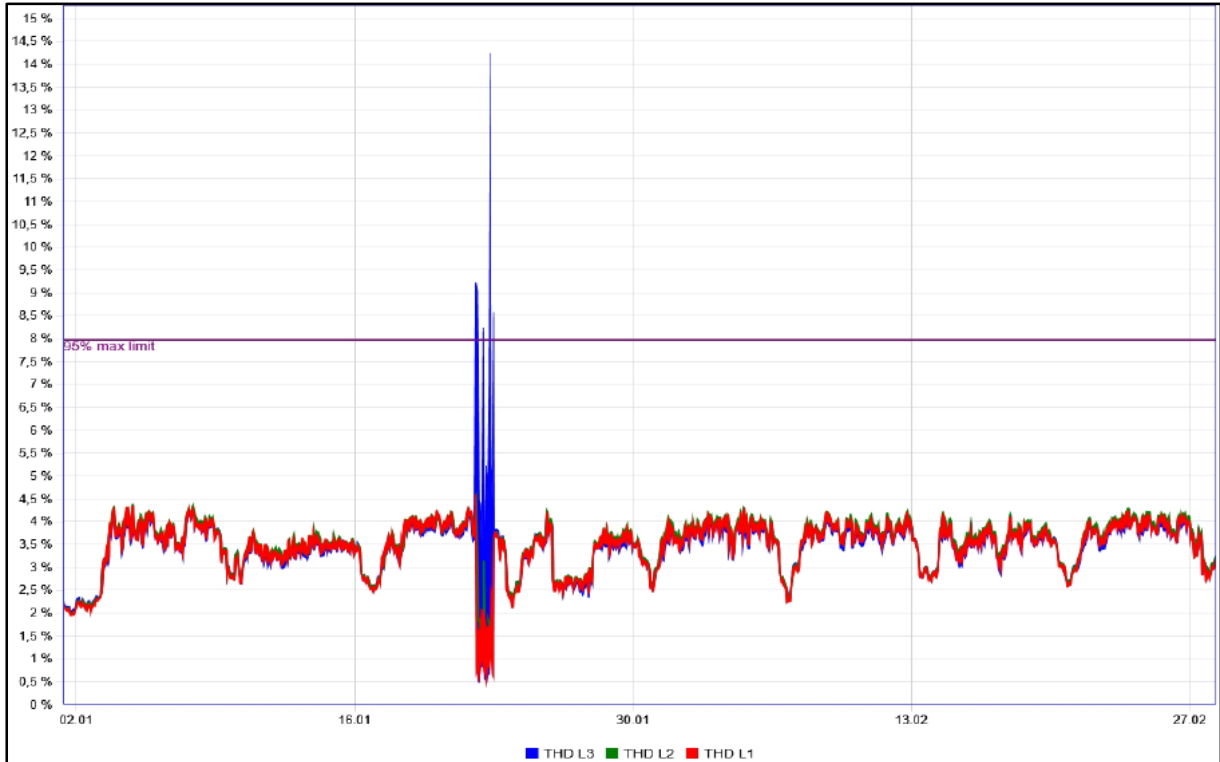
3. Teknik Değerlendirmeler

3.1. Giriş Barasına Etkisi

Giriş barası gerilim harmonik bozulmaları sırasıyla Şekil 9 ve 10' da verilmektedir.



Şekil 9. 2022 yılı gerilim harmoniği bileşenleri (14 Nisan 2022'ye kadar)



Şekil 10. 2022 yılı gerilim harmoniği bozunumu (14 Nisan 2022'ye kadar)

3.2. Enerji Verimliliğine Etkisi

Toplam akım ve gerilim bozulması formülleri denklem 1 ve 2'de sırasıyla verilmektedir (TS EN ISO 50001, 2013 ve TS ISO 5006, 2016).

$$\text{Toplam akım harmonik bozulması} = \frac{I_h}{I_f} \quad 1.$$

$$\text{Toplam gerilim harmonik bozulması} = \frac{V_h}{V_f} \quad 2.$$

5 ve 7. harmoniklerin etkin olduğu devrelerde, birinci durumdaki iki ayrı sistemde uygulanan pasif filtre

çözümü ile, kablo kayıplarında, sırasıyla, $\left(\frac{1197}{973}\right)^2 \cdot \%100 = \%51$ ve $\%25$ iyileşme olduğu hesaplanmaktadır.

Yine aynı harmoniklerin baskın olduğu ikinci durumdaki iki ayrı aktif filtre uygulamasında ise, oranların sırasıyla, $\%49$ ve $\%12$ olduğu görülmektedir.

Devreye alınmış aktif ve pasif filtrelerinin karşılaştırması Tablo 7'de kategorize edilmiştir.

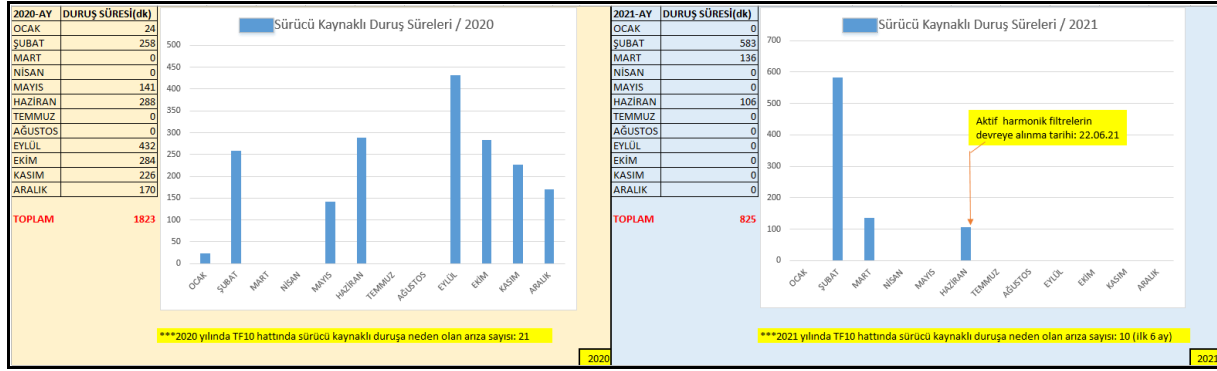
Tablo 7. Aktif ve pasif filtre karşılaştırması

Konu	Pasif filtre	Aktif filtre
Filtrenin ayarlandığı frekans	Bir veya iki frekansa ayarlanabilmektedir.	Birden fazla frekansa ayarlanabilmektedir.
Harmonik değerlerinde değişme	Yeni bir filtre gerektirmektedir	Problem yaşanmayacaktır
Empedans etkisi	Rezonans meydana gelebilmektedir	Etkilemeyecektir
Temel frekans değişmesi	Etkinliği azalabilmektedir	Etkilemeyecektir
Akım yükselmesi	Problem çıkabilmektedir	Aşırı yükleme yaşanmayacaktır
Harmonik sırasının kontrolü	Oldukça zordur	Ayar ile mümkün olabilmektedir

3.3. Teknik Operasyonlara Etkisi

Duruş sürelerinde $\%55$, bakım sürelerinde $\%80$ oranlarında iyileştirmelerin sağlandığı görülmektedir.

Kabloların harmonik akımlarından kaynaklanan sıcaklık artışının $\%32$ düştüğü gözlenmektedir.



Şekil 11. Duruş sürelerindeki iyileşme

4. Sonuç ve Yeni Yatırımlar İçin Öneriler

Devreye alınmış iki pasif, iki de aktif filtreler ile sağlanan ve sağlanabilecek teknik faydalar özetlenmektedir:

- Arıza sıklığı sifıra yakınsamıştır.
- Harmonik filtrelerinin, akımı düşürmesi nedeniyle, hat kayıplarını ve sıcaklıkları azaltılmıştır.
- Özellikle sürücü gereken uygulamalarda, daha kurulum aşamasında düşük harmonik oranına sahip ürün seçiminin yapılması önem taşımaktadır.
- Kompanzasyon sistemi ihtiyacı olan sistemlerin, daha kurulum aşamasında, harmonik filtrelili şekilde düşünülmesi önem arz etmektedir.
- Şebeke sağlayıcılarının, güç kalitesi istatistiklerini sağlama zorunluluğu getirilmelidir. Limitler, her geçen sene iyileştirme yönünde güncellenmelidir.
- Harmonik kaynaklı hat kayıpları azaltılmıştır.

Yapılan uygulama çalışması ile, harmonik bozulmaların yol açtığı sorunlar, tesis ve bölgesel bazlı ortaya konmuş ve tesiste sağlanan teknik ve ekonomik kazançlar karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Kaynaklar

- B. Kekezoglu, C. Kocatepe, R. Yumurtaci, O. Arıkan, M. Baysal, A. Bozkurt, Y. Akkaya, E. Özdemirci, (2008). Investigation of harmonic effect in Turkey's iron – steel industry, *IEEE Power Quality and Supply Reliability Conference*, IEEE Xplore.
- Emenike Ugwuagbo, Adeola Balogun, Ayobami Olajube, Osita Omeje, Ayokunle Awelewa, Shehu Abba-Aliyu, (2021, December). Experimental data on power quality assessment at point of common coupling of a steel mill to an electric power grid, *Data in Brief*, Volume 39, 107681.
- IEEE Power Standards Coordinating Committee (2012, July). *IEEE P519.1TM/D12 Guide for Applying Harmonic Limits on Power Systems*.
- IEEE 1531 IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters (2003). IEEE Power Engineering Society.
- M. Jawad Ghorbani, H. Mokhtari (2015, February) Impact of Harmonics on Power Quality and Losses in Power Distribution Systems, *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, Vol.5, No.1, pp. 166-174.
- Pablo Rodríguez Pajarón, Araceli Hernández Bayo, Jovica V.Milanović, (2022, March). Forecasting

- voltage harmonic distortion in residential distribution networks using smart meter data, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 136, 107653.
- P. Karuppanan, Kamala Manta Mahapatra, (2014, November). Active harmonic current compensation to enhance power quality, *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 62, Pages 144-151.
- Cigre 313, Connection Criteria at the Distribution Network for Distributed Generation, (2007, February). Task Force C6.04.01.
- EN 50160 (2000). Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution systems, European Norm, Brussels.
- www.epkom.com.tr, Ziyaret tarihi: 16.06.2021.
- TS EN ISO 50001 (2013, Şubat). Enerji Yönetim Sistemleri – Şartlar ve Kullanım İçin Kılavuz, TSE – Ankara.
- TS ISO 50006 (2016, Şubat). Enerji Yönetim Sistemleri – Enerji Temel Seviyeleri (ETS) ve Enerji Performans Göstergeleri (EPG) Kullanılarak Enerji Performans Ölçümü – Genel Prensipler ve Kılavuzluk, TSE – Ankara.

SİMETRİK KATMANLI KOMPOZİT KİRİŞLERDE ELYAF YÖNLENME AÇILARININ ÇOK-AMAÇLI OPTİMİZASYONU

Fatih KARAÇAM^{1*}, Taner TİMARCI²

^{1,2}Trakya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Edirne, TÜRKİYE

Makale Künye Bilgisi: Karaçam, F., Timarci, T. (2022). Simetrik Katmanlı Kompozit Kirişlerde Elyaf Yönlenme Açılarının Çok-Amaçlı Optimizasyonu, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 85-96.

Öne Çıkanlar

- Kompozit yapılar farklı mekanik özelliklerde tasarlanabildiklerinden geniş bir uygulama alanına sahiptirler.
- Kompozit yapıların optimizasyonunda elyaf sıralanışları, katman kalınlıkları, farklı geometri ve malzeme özellikleri gibi çok sayıda tasarım parametreleri hesaba katılmaktadır.
- Yapısal optimizasyon problemlerinde çok fazla değişken parametre yer aldığından, bu problemlerin çözümünde matematiksel programlama ve çok-amaçlı optimizasyon yaklaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır.

Makale Bilgileri	Öz
Makale Tarihi: Geliş: 7 Ekim 2022 Kabul: 2 Kasım 2022	Bu çalışmada, farklı sınır koşulları altında simetrik katmanlı kompozit bir kirişte elyaf yönlenme açılarının çok-amaçlı optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Elyaf yönlenme açıları tasarım parametreleri olarak seçilmiş olup, optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritma (GA) kullanılmıştır. Optimizasyon işlemi her nesilde elde edilen minimum çökme, normal ve kayma gerilmesi parametrelerine bağlı olarak önceden tanımlanan bir uygunluk fonksiyonunun maksimize edilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Maksimum uygunluk fonksiyon değerlerini ve bu değerlere karşılık gelen çökme, normal ve kayma gerilmelerini veren elyaf sıralanışları tablolarda sunulmuş, farklı ağırlık katsayıları ve sınır koşulları için uygunluk fonksiyonlarının nesil sayısına bağlı olarak değişimleri grafiklerle gösterilmiştir.
Anahtar Kelimeler: Katmanlı Kompozit Kirişler; Elyaf Sıralanışı; Genetik Algoritma; Çok-Amaçlı Optimizasyon.	

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION OF FIBER ORIENTATION ANGLES IN SYMMETRICALLY LAMINATED COMPOSITE BEAMS

Article Info	Abstract
Article History: Received: October 7, 2022 Accepted: November 2, 2022	In this study, multi-objective optimization of fiber orientation angles in a symmetrically laminated composite beam is carried out under various boundary conditions. The fiber orientation angles are chosen as the design parameters and genetic algorithm (GA) is used as the optimization method. The optimization process is performed by maximizing a predefined fitness function depending on the minimum deflection, normal and shear stress parameters in each generation. The stacking sequences giving the maximum fitness function values and corresponding deflection, normal and shear stresses are presented in the tables, the variation of the fitness functions with respect to the number of generations are illustrated in graphics for different weight coefficients and boundary conditions.
Keywords: Laminated Composite Beams; Stacking Sequence; Genetic Algorithm; Multi-Objective Optimization.	

1. Giriş

Son yıllarda kiriş, levha ve kabuk gibi yapısal elemanlarda kompozit malzemeler yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle yüksek özgül modül ve dayanım özellikleri yüzünden bu malzemeler geniş bir kullanım alanına sahiptirler. Kompozit yapılar için optimizasyon kavramı, belirli bir tasarımda istenen bir katman veya katmanlardaki elyaf yönlenme açılarınının, diğer bir deyişle elyaf sıralanışlarının ve/veya katman kalınlıklarının elde edilmesi olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte optimizasyon süreci boyunca malzemenin mekanik ve geometrik özellikleri, üretim yöntemleri ve maliyeti gibi birçok kısıtlayıcı parametre de hesaba katılır. Problemlerinin optimum çözümlerinin elde edilmesinde farklı optimizasyon teknikleri, modelleme ve simülasyon programları kullanılabilir. Optimum çözüm tasarım parametrelerine bağlı olarak değişebilmekte, bu nedenle tasarım parametrelerinin optimizasyon problemlerinde açık bir şekilde ifade edilmesi gerekmektedir. Optimizasyon problemlerinde birden fazla uygunluk fonksiyonu, başka bir deyişle birden fazla tasarım parametresi aynı anda minimize veya maksimize edilmek istenebilir. Bu problemlere çok-amaçlı optimizasyon problemleri adı verilir. Çok-amaçlı optimizasyon, eş zamanlı olarak optimize edilecek birden fazla amaç fonksiyonu içermektedir. Bu yöntem optimum çözüm ihtiyacının kaçınılmaz olduğu birçok mühendislik alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Yapısal optimizasyon problemlerinin çözümünde matematiksel programlama teknikleri ve evrimsel çok-amaçlı optimizasyon yaklaşımı yaygın olarak kullanılan iki yöntemdir.

Jacob ve Senthil (2006) optimizasyon yöntemi olarak genetik algoritmayı kullanarak katmanlı kompozit malzemelerin çok-amaçlı optimizasyonu için bir yöntem sunmuşlar, birincil tasarım değişkenleri olarak katmanların elyaf yönlenmelerini ve elyaf hacim oranlarını seçmişlerdir. Basitleştirilmiş mikromekanik

denklemler aracılığıyla, matris ve elyafların hacim oranları ve malzeme özelliklerini kullanarak her bir katmanın sertlik ve mukavemet değerlerini tahmin etmişlerdir. Rahul ve ark. (2006) darbe yüküne maruz kalan elyaf takviyeli plastik katmanlı plakaların optimizasyonunu incelemişlerdir. Grafit/epoksi ve aramid/epoksi'den üretilen hibrit katmanların maliyetini, ağırlığını veya hem maliyetini hem de ağırlığını minimize ederken, mukavemetini en üst düzeye çıkarabilecek optimum katmanı elde edebilmek amacıyla sonlu elemanlar yöntemi ve genetik algoritmayı kullanmışlardır. Minimum ağırlık ve maliyeti elde edebilecek şekilde bir katmanın optimum tasarımında çok-amaçlı optimizasyon yaklaşımını kullanmışlardır. Karaçam ve Timarcı (2014) basit mesnetlenmiş katmanlı kompozit bir kirişte çok-amaçlı optimizasyon kullanarak optimum elyaf sıralanışlarını araştırmışlardır. Analitik çözüm ve optimizasyon için sırasıyla birleştirilmiş üç-serbestlik-dereceli kayma deformasyon kiriş teorisini ve genetik algoritmayı kullanmışlardır. Çalışmalarında, eş zamanlı olarak çökme parametresini minimize, frekans parametresini ise maksimize ederek, önceden tanımlanmış oldukları bir uygunluk fonksiyonunun maksimizasyonu gerçekleştirmişlerdir. Talic ve ark. (2015) Euler-Bernoulli kirişlerinde bilinmeyen bir eksenel yük ve bilinen bir enine uyarı altında enine kiriş titreşimlerinin fiziksel parametrelerini belirleyebilmek amacıyla çok-amaçlı bir formülasyon önermişlerdir. Çok-amaçlı optimizasyon probleminin çözümünde genetik algoritmayı kullanmışlardır. Ikeya ve ark. (2016) ortotropik malzemelerden üretilen kabuk yapıların şekil ve kalınlık tasarımında kullanılan iki-aşamalı bir optimizasyon yöntemi sunmuşlardır. İlk olarak, kabuk dış yüzeyinin şekil optimizasyonu gerçekleştirilmiş, sonrasında ise yakınsamayı daha fazla arttırabilmek amacıyla kalınlık optimizasyonu uygulanmıştır. Farklı sınır koşulları altında çok-amaçlı bir uygunluk fonksiyonu kullanılmış, hacim ve geometrik denklemler gibi kısıtlayıcı parametreler kullanılarak

uygunluk fonksiyonu minimize edilmiştir. Ho-Huu ve ark. (2018) kafes yapıların tasarım optimizasyonunda kullanılan çok-amaçlı evrimsel optimizasyon ve güvenilirlik analizine yeni bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Optimizasyon iki adımda gerçekleştirilmiştir. İlk adımda, tasarım optimizasyon problemi çok-amaçlı bir evrimsel optimizasyon algoritması ile formüle edilmiş ve çözülmüştür. İkinci adımda ise ilk adımda elde edilen çözümlerin güvenilirliğini hesaplayabilmek için bir güvenilirlik analiz yöntemi kullanılmıştır. Nikbakt ve ark. (2018) kompozit, sandviç ve fonksiyonel olarak derecelendirilmiş malzemelerden inşa edilen yapıların optimizasyonunu incelemişlerdir. Uygunluk fonksiyonları, tasarım değişkenleri, kısıtlayıcı parametreler ve farklı algoritmalar gibi parametrelerini farklı sınır koşulları, elyaf sıralanışları ve malzemeler için kullanıp, çeşitli tasarımlar için geliştirilen bu algoritmaların performanslarını karşılaştırmışlardır.

Son yıllarda yapılan çalışmalarda özellikle çökme, dayanım, frekans, maliyet ve ağırlık gibi tasarım parametrelerinin çok-amaçlı optimizasyonuna ağırlık verilmektedir. Belirli bir hedefi karşılayabilmek amacıyla optimizasyon süreci boyunca farklı katman sayısı, elyaf sıralanışı, katman kalınlığı, sınır koşulları ve yükleme tipi gibi çeşitli tasarım değişkenleri dikkate alınmaktadır.

Saravanos ve Chamis (1992) tasarım değişkenleri olarak sönümlü rezonans genliklerinin, ağırlık ve malzeme maliyetinin minimizasyonunu içeren, hafif ve düşük maliyetli kompozit yapılar için çok-amaçlı bir optimum tasarım yöntemi geliştirmişlerdir. Walker ve ark. (1997) katmanlı kompozit plakalar için minimum çökme ve ağırlık parametrelerini veren optimum tasarımların elde edilmesinde sonlu elemanlar yöntemini kullanmışlardır. Farklı sınır koşullarını göz önünde bulundurarak, farklı en-boy oranları ve yükleme tipleri için sonuçlar elde etmişlerdir. Omark ve ark. (2008) evrimsel bir algoritma kullanarak

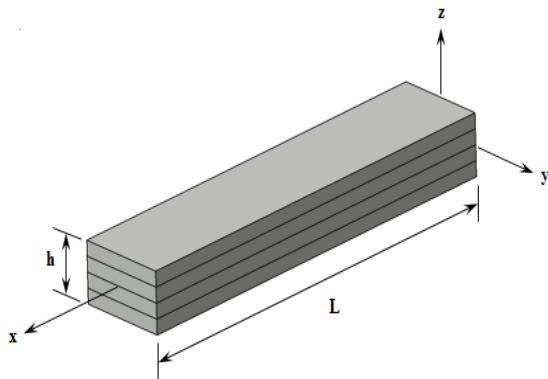
katmanlı kompozit yapı elemanlarının çok-amaçlı tasarım optimizasyonu için yeni bir model sunmuşlardır. Optimizasyon probleminde belirli bir dayanımı sağlayacak şekilde ağırlığı ve toplam maliyeti minimize etmişlerdir. Katman sayısı, katman kalınlığı ve elyaf sıralanışı gibi parametreler öncelikli tasarım değişkenleri olarak seçilmiştir. Optimizasyon süreci boyunca tek eksenli, çift eksenli ve eğilme yükleri gibi farklı yükleme konfigürasyonları uygulanmıştır. Senouci ve Al-Ansari (2009) yük ve direnç faktörü gibi parametreleri dikkate alarak, kompozit kirişlerin maliyet optimizasyonu için bir genetik algoritma modeli sunmuşlardır. Tasarım parametreleri olarak farklı malzeme ve yapı elemanlarına ait maliyet seçilerek, önerilen modelin güvenilirliğini sağlayabilmek amacıyla literatürdeki bazı tasarımlarla karşılaştırmalı analizler yapılmıştır. Gurugubelli ve Kallepalli (2014) maksimum gerilme ve çökme gibi kısıtlayıcı parametreleri hesaba katarak, modifiye edilmiş bir sıralama genetik algoritması kullanarak ankastre bir kirişin eşzamanlı olarak ağırlık ve çökme optimizasyonunu araştırmışlardır. De Munck ve ark. (2015) iki-amaçlı bir boyutsal optimizasyon yöntemi kullanarak, hem maliyetin hem de kütlenin minimize edildiği çok-amaçlı bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Vo-Duy ve ark. (2017) katmanlı kompozit kirişlerin çok-amaçlı optimizasyonunu incelemişlerdir. Amaç fonksiyonu kirişin tüm ağırlığını minimize, doğal frekansını da maksimize edecek şekilde seçilmiştir. Sırasıyla, serbest titreşim analizi için Bernoulli-Euler kiriş elemanı, çok-amaçlı optimizasyon için ise baskın olmayan bir sıralama genetik algoritması kullanılmıştır. Fagan ve ark. (2018) kompozit bir rüzgar türbini kanadının yapısal optimizasyonunu araştırmışlardır. Optimizasyon işleminde çok-amaçlı bir genetik algoritma kullanılmış ve optimum yapısal tasarım da sonlu elemanlar modeli ile elde edilmiştir. Optimum tasarım kütle, ağırlık merkezinin konumu, çökme, genleme ve doğal frekans gibi birçok yapısal parametre için test edilmiştir.

Shrivastava ve ark. (2018) klasik bir genetik algoritma yöntemi kullanarak havacılık endüstrisinde kullanılan çok katmanlı yapılarının ağırlığını minimize etmeyi amaçlamışlardır. Ağırlık minimizasyonu, istenen mukavemet ve sertlik tasarım gereksinimlerini karşılayacak şekilde çok-amaçlı bir optimizasyon problemi olarak kabul edilmiştir.

Bu çalışmada, çok-amaçlı optimizasyon kullanılarak katmanlı kompozit kirişe ait elyaf sıralanışları simetrik dizilimi verecek şekilde optimize edilmiştir. Farklı sınır koşulları altında, her nesilde minimum çökme, normal ve kayma gerilmesi parametrelerine bağlı olarak seçilmiş olan bir uygunluk fonksiyonunu maksimize edebilecek elyaf sıralanışları araştırılmıştır.

2. Analitik Yöntem

Çalışmada, üst yüzeyinden üniform bir “ $q(x)$ ” yayılı yükü etki eden, dikdörtgen kesitli, birim genişlikte, “ L ” uzunluğunda ve “ h ” yüksekliğinde olan katmanlı bir kiriş ele alınmıştır (Şekil 1). Koordinat sistemi, $0 \leq x \leq L$ ve $-h/2 \leq z \leq h/2$ olacak şekilde kirişin orta düzlemine yerleştirilmiştir.



Şekil 1. Kiriş geometrisi ve koordinat sistemi

Analitik çözüm için üniform kayma deformasyon kiriş teorisi kullanılmıştır. Bu teoride, bir şekil fonksiyonu yardımıyla klasik ve kayma deformasyon teorileri özel bir durum olarak elde edilebilmektedir. Kullanılan yer değiştirme alanları, genel kayma deformasyon teorisine

paralel olacak şekilde ilk olarak kompozit kabuk yapılara uygulanmıştır (Soldatos ve Timarcı, 1993).

$$\begin{aligned} U(x, z) &= u(x) - z w_{,x} + \phi(z) u_1(x) \\ W(x, z) &= w(x) \end{aligned} \quad (1)$$

“ U ” ve “ W ” terimleri x – ve z – eksenini boyunca yer değiştirme alanlarını temsil ederken, “ u ”, “ u_1 ” ve “ w ” orta düzlemin yer değiştirme alanlarını, alt indis ile verilen kesme işareti ise karşılık gelen eksene göre türevi belirlemektedir. Çalışmada, katman yüksekliğinin kübik fonksiyonu olan parabolik bir şekil fonksiyonu ($\phi(z)$) seçilmiş ve aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

$$\phi(z) = z \left(1 - \frac{4z^2}{3h^2} \right) \quad (2)$$

Kinematik ilişkiler, Hooke Yasası (Jones, 1975) ve gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin kuvvet ve moment denklemlerinde kullanılmasıyla bünye denklemleri aşağıdaki gibi elde edilir;

$$\begin{bmatrix} N_x \\ M_x \\ M_x^a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & B_{11} & B_{111} \\ B_{11} & D_{11} & D_{111} \\ B_{111} & D_{111} & D_{1111} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{,x} \\ -w_{,xx} \\ u_{1,x} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$Q_x^a = A_{55} u_1 \quad (4)$$

“ A_{ij} ”, “ B_{ij} ” ve “ D_{ij} ” sırasıyla uzama, birleşme ve eğilme rijitliklerini, “ a ” üst simgesi kayma deformasyon etkilerini, “ Q_x^a ” ise bileşke kesme kuvvetini ifade etmektedir. İkienden fazla alt indise sahip rijitlikler kayma deformasyon teorilerine karşılık gelirken, iki indisli olanlar klasik teorilere karşılık gelmektedir. Üniform yayılı bir yük altında katmanlı kompozit kirişlerin eğilme davranışlarını ifade eden ana denklemler aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} N_{x,x} &= 0 \\ M_{x,xx} &= q(x) \\ M_{x,x}^a - Q_x^a &= 0 \end{aligned} \quad (5)$$

Basit, ankastre ve serbest sınır koşulları sırasıyla aşağıdaki gibi verilmiş olup, $x = 0$ ve $x = L$ olacak şekilde kirişin her iki kenarından uygulanmıştır.

$$\begin{aligned} N_x = w = M_x = M_x^a &= 0 \\ u = w = w_{,x} = u_1 &= 0 \\ N_x = M_x = M_{x,x} = M_x^a &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

Bünye denklemlerinin ana denklemler içerisinde kullanılması ve eş zamanlı olarak çözülmesiyle içerisinde toplamda sekiz integral sabiti bulunan (C_k , $k = 1, \dots, 8$) ve bu integral sabitlerinin her iki kenarda sınır koşullarının uygulanmasıyla hesaplanabildiği, orta düzleme ait üç yer değiştirme fonksiyonu aşağıdaki gibi elde edilir:

$$\begin{aligned}
 u_1(x) &= C_1 e^{-px} + C_2 e^{px} - (qx \\
 &\quad + C_3) \frac{D_{111}}{A_{55} D_{11}} = 0 \\
 u(x) &= -\frac{B_{111}}{A_{11}} u_1(x) + C_7 x + C_8 = 0 \\
 w(x) &= \frac{D_{111}}{p D_{11}} \left[-C_1 e^{-px} + C_2 e^{px} \right. \\
 &\quad \left. - \frac{p}{A_{55}} \left(\frac{qx^2}{2} + C_3 x \right) \right] \\
 &\quad + \frac{1}{D_{11}} \left(\frac{qx^4}{24} + C_3 \frac{x^3}{6} \right) \\
 &\quad + C_4 \frac{x^2}{2} + C_5 x + C_6
 \end{aligned} \tag{7}$$

“ p ”, malzeme rijitliklerine bağlı olarak tanımlanmış olan bir katsayıdır ve aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$p = \sqrt{\frac{-A_{55} A_{11} D_{11}}{D_{111}^2 A_{11} - D_{1111} A_{11} D_{11}}} \tag{8}$$

3. Optimizasyon Yöntemi

Kompozit yapıların optimizasyonu, genellikle katman kalınlığının, katman sayısının ve elyaf yönlenme açılarının tasarım değişkenleri olarak kabul edildiği sürekli bir optimizasyon problemi olarak düşünülmüştür. Bununla birlikte, birçok problemin pratik çözümleri için katman kalınlıkları sabit tutulmuş ve elyaf yönlenme açıları 0° , 90° ve $\pm 45^\circ$ gibi açı değerleri ile sınırlandırılmıştır (Lin ve Lee, 2004). İstenen katmanın veya katmanların tasarımı bir elyaf sıralanış optimizasyon problemi haline dönüşeceğinden, belirli bir evrimsel optimizasyon tekniğinin kullanılması kaçınılmaz bir hal alacaktır. Çalışmada optimizasyon tekniği olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Yöntem optimizasyon problemlerinde ilk kez Holland tarafından önerilen

evrimsel bir optimizasyon yöntemidir (Holland, 1995). Bu yöntemde, tek bir çözüm üretmek yerine, farklı çözümler içeren bir dizi çözüm üretilir ve bu süreçte üretilen çözüm kümesindeki tüm parametreler birbirinden bağımsızdır (Coello ve ark., 2007). Algoritma içerisinde yakınsama oranını arttırabilmek amacıyla durdurma kriterlerine ulaşıncaya kadar üreme, çaprazlama ve mutasyon adı verilen genetik operatörler kullanılmıştır. Uygunluk fonksiyonunu maksimize edebilmek amacıyla tasarım parametreleri olarak elyaf sıralanışları seçilmiştir. Uygunluk fonksiyonu (UF), her nesil için minimum çökme ve gerilme parametrelerini içerecek şekilde tanımlanmış ve aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$(UF)_i = \alpha (CF)_i + \beta (1 - GF(j))_i \tag{9}$$

$$\beta = 1 - \alpha \tag{10}$$

$$(CF)_i = \frac{(\delta_i - \delta_{min})}{(\delta_{max} - \delta_{min})} \tag{11}$$

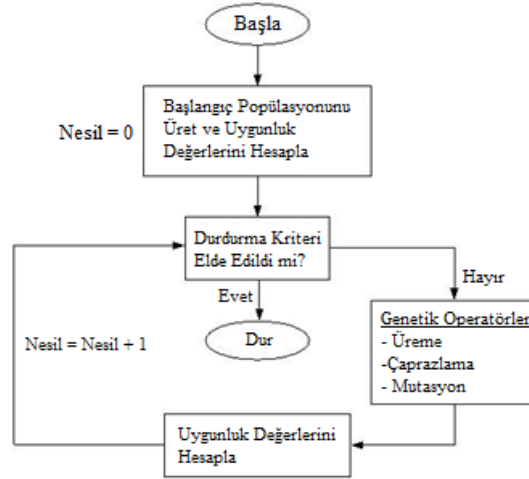
$$(GF(1))_i = \frac{(\sigma_i - \sigma_{min})}{(\sigma_{max} - \sigma_{min})} \tag{12}$$

$$(GF(2))_i = \frac{(\tau_i - \tau_{min})}{(\tau_{max} - \tau_{min})} \tag{13}$$

“ α ” uygunluk fonksiyonunun içerisinde belirli bir parametreye diğerlerinden daha fazla ağırlık veya etki verebilmek için kullanılan bir ağırlık katsayısıdır ve optimizasyon probleminde genellikle 0 ile 1 arasında değişmektedir. “ $(CF)_i$ ”, “ $(GF(j))_i$ ” ($j = 1, 2$) terimleri sırasıyla her nesildeki i . birey için çökme, normal ve kayma gerilmesi parametrelerinin uygunluk fonksiyonlarını temsil etmektedir. “ δ_i ”, “ σ_i ” ve “ τ_i ” nesil içerisinde ait oldukları bireylere ait çökme, normal ve kayma gerilmesi değerlerini temsil ederken “ max ” ve “ min ” alt indisleri nesil içerisindeki maksimum ve minimum değerleri ifade etmektedir. Başlangıç popülasyonu oluşturulduktan sonra her bir bireye ait uygunluk değeri hesaplanmaktadır. Her nesilde, uygunluk değerleri ve bu değerlere karşılık gelen elyaf sıralanışları maksimum değerden minimuma gidecek şekilde sıralanır, en iyi uygunluk değerlerine sahip ilk iki bireyden başlayarak, ardışık bireylere çaprazlama uygulanarak yeni popülasyon

oluşturulur. Genetik çeşitliliği koruyabilmek amacıyla her iki bireye ait belirli elyaf yönlenme açıları çaprazlama ile değiştirilmiş ve mutasyon oranı 0.01 olarak seçilmiştir. Belirli bir nesil sayısı için durdurma

kriterine ulaşılan kadar genetik operatörlerin kullanımına devam edilmiştir. Şekil 2’de çalışmada kullanılan GA akış şeması gösterilmiştir.



Şekil 2. Genetik algoritma akış şeması

Optimizasyon probleminin amacı, belirli bir elyaf yönlenme açısı aralığında, seçilmiş olan uygunluk fonksiyonunu maksimize edecek şekilde optimum elyaf sıralanışının elde edilmesidir.

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Optimizasyon sürecinde kompozit kirişin $q(x) = 1000 N/m$ 'lik üniform bir yayılı yükün etkisi altında olduğu varsayılmıştır. Kiriş malzemesi olarak grafit/epoksi kullanılmış olup, bu malzemeye ait mekanik özellikler aşağıdaki gibi verilmiştir (Karama et al, 2003):

$$E_{11} = 241.5 \text{ GPa},$$

$$E_{22} = E_{33} = 18.89 \text{ GPa}$$

$$G_{23} = 3.45 \text{ GPa},$$

$$G_{12} = G_{13} = 5.18 \text{ GPa}$$

$$\nu_{23} = 0.25,$$

$$\nu_{12} = \nu_{13} = 0.24$$

Kiriş uzunluğunun $L = 1 \text{ m}$, yüksekliğinin $h = 0.02 \text{ m}$ olduğu ve sekiz katmandan oluştuğu kabul

edilmiştir. Optimizasyon işlemi 20 nesil boyunca, her nesilde 100 bireylik bir popülasyon olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 30° veya 45° ile kıyaslandığında, 10° 'lik bir artım için daha fazla olası elyaf sıralanışı söz konusu olacağından, elyaf yönlenme açıları $0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$ aralığında 10° 'lik bir artımla sürekli olarak değiştirilmiştir. Çökme ve gerilme parametrelerine bağlı olarak uygunluk fonksiyonunun maksimizasyonu, normal gerilmeler için $x = L/4$ ve $z = -h/2$, kayma gerilmeleri için ise $x = L/4$ ve $z = 0$ olacak şekilde kirişin belirli noktalarında seçilmiştir. Optimizasyon süresince üç farklı ağırlık katsayısı kullanılmıştır. Böylece, maksimum uygunluk fonksiyonu değerini veren optimum ağırlık katsayısı elde edilmiş, çeşitli sınır koşulları altında farklı ağırlık katsayılarının çökme ve gerilme parametrelerine etkileri araştırılmıştır. Tablo 1’de, farklı sınır koşulları ve ağırlık katsayıları için maksimum uygunluk fonksiyonları, çökme ve normal gerilme değerleri ve karşılık gelen elyaf sıralanışları verilmiştir. Elde edilen değerler karşılaştırıldığında, ağırlık katsayısıyla

birlikte uygunluk fonksiyon değerinin de arttığı, her durumda maksimum uygunluk değerinin $\alpha = 0.75$ ağırlık katsayısı için elde edildiği görülmüştür.

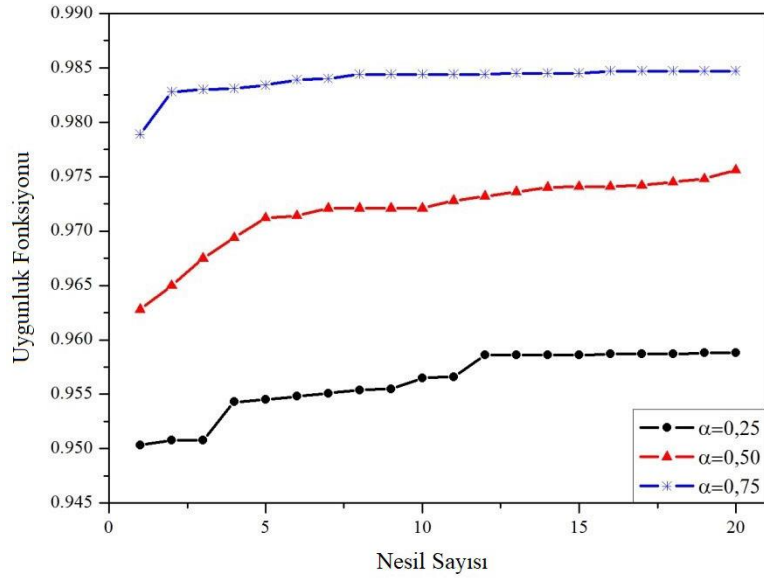
Tablo 1

Farklı sınır koşulları ve ağırlık katsayıları için maksimum uygunluk fonksiyonları, çökme ve normal gerilme değerleri ve karşılık gelen elyaf sıralanışları

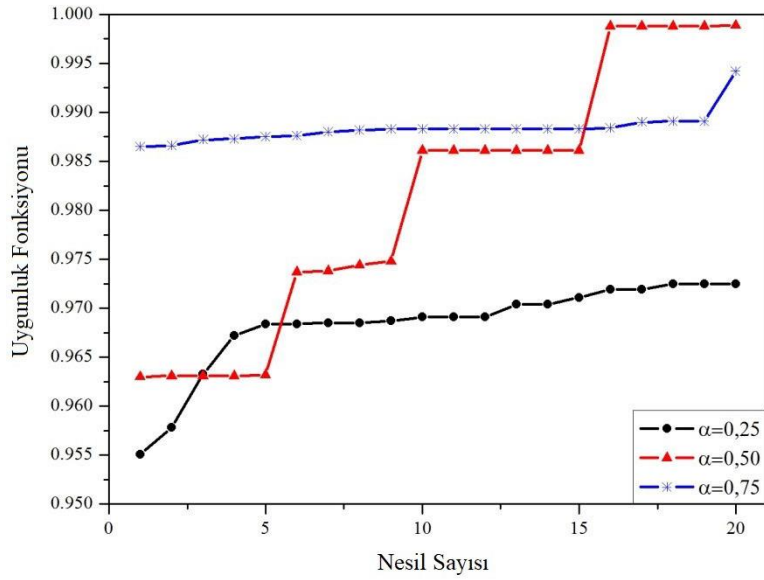
Sınır Koşulları	α	UF	$w (\times 10^{-5})$ [m]	σ_{xx} [MPa]	Elyaf Sıralanışı
A-A	0.25	0.9588	1.6502	2.7713	$[0^\circ/80^\circ/80^\circ/50^\circ]_s$
	0.50	0.9756	1.6612	2.7894	$[0^\circ/80^\circ/70^\circ/80^\circ]_s$
	0.75	0.9847	1.6424	2.7533	$[0^\circ/90^\circ/60^\circ/70^\circ]_s$
A-S	0.25	0.9726	9.7880	9.8349	$[0^\circ/30^\circ/0^\circ/70^\circ]_s$
	0.50	0.9891	13.7201	13.7420	$[0^\circ/90^\circ/70^\circ/60^\circ]_s$
	0.75	0.9942	13.7334	13.7590	$[0^\circ/80^\circ/70^\circ/60^\circ]_s$
B-B	0.25	1	8.3360	1.9090	$[30^\circ/50^\circ/10^\circ/50^\circ]_s$
	0.50	1	10.9652	2.5077	$[0^\circ/40^\circ/10^\circ/90^\circ]_s$
	0.75	1	17.5708	1.5411	$[30^\circ/40^\circ/10^\circ/30^\circ]_s$

Şekil 3-4-5'te sırasıyla A-A, A-S ve B-B sınır koşulları ve farklı ağırlık katsayıları için minimum çökme ve normal gerilme değerlerine bağlı olarak elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin nesil sayısına göre değişimi sunulmuştur. Ağırlık katsayısındaki değişime bağlı olarak A-A sınır koşulu için uygunluk fonksiyonu

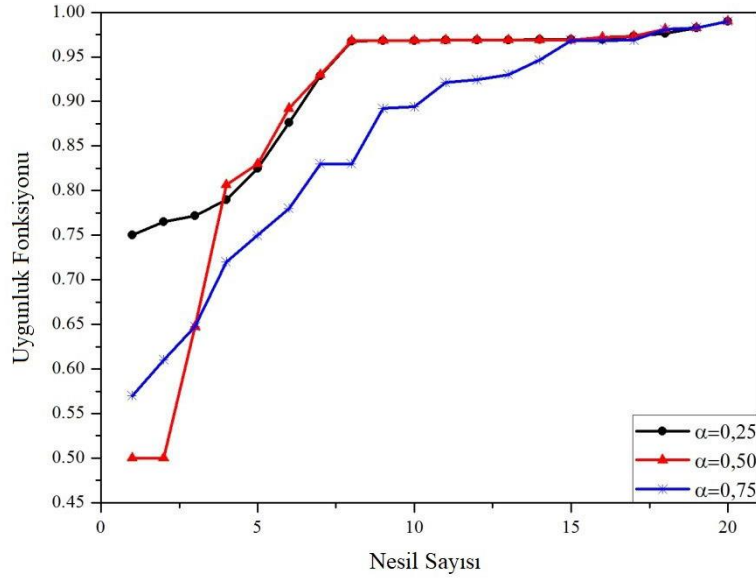
değerlerinde de bir artış gözlenmiştir. A-S ve B-B sınır koşullarında ise yine ağırlık katsayısı değerlerinin artmasıyla birlikte uygunluk fonksiyonu değerlerinde de keskin bir artış meydana gelmiş, B-B sınır koşulunda ise tüm ağırlık katsayıları için uygunluk fonksiyonları maksimum değere yakınsamışlardır.



Şekil 3. A-A sınır koşulu için uygunluk fonksiyonun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.



Şekil 4. A-S sınır koşulu için uygunluk fonksiyonun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.



Şekil 5. B-B sınır koşulu için uygunluk fonksiyonunun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.

Tablo 2’de, farklı sınır koşulları ve ağırlık katsayıları için maksimum uygunluk fonksiyonları, çökme ve kayma gerilmesi değerleri ve karşılık gelen elyaf sıralanışları verilmiştir. Ağırlık katsayısıyla birlikte

uygunluk fonksiyon değerinin de arttığı, her durumda maksimum uygunluk değerinin $\alpha = 0.75$ ağırlık katsayısı için elde edildiği görülmüştür.

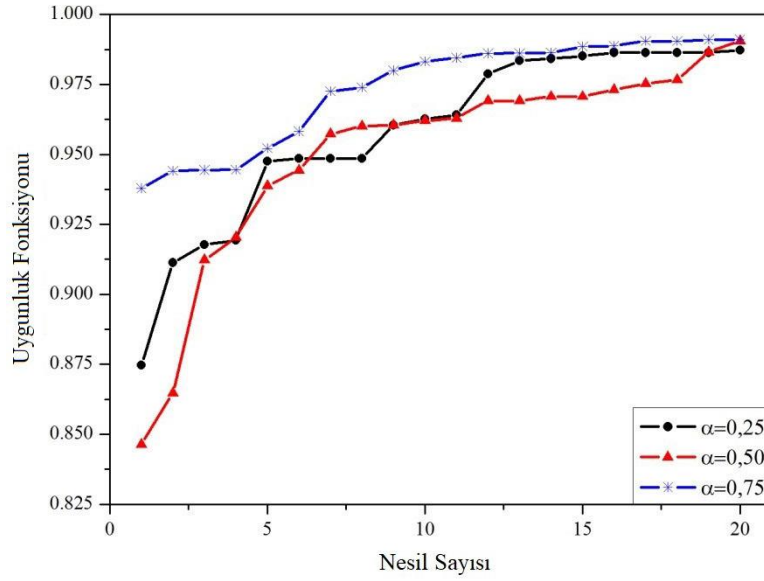
Tablo 2

Farklı sınır koşulları ve ağırlık katsayıları için maksimum uygunluk fonksiyonları, çökme ve kayma gerilmesi değerleri ve karşılık gelen elyaf sıralanışları

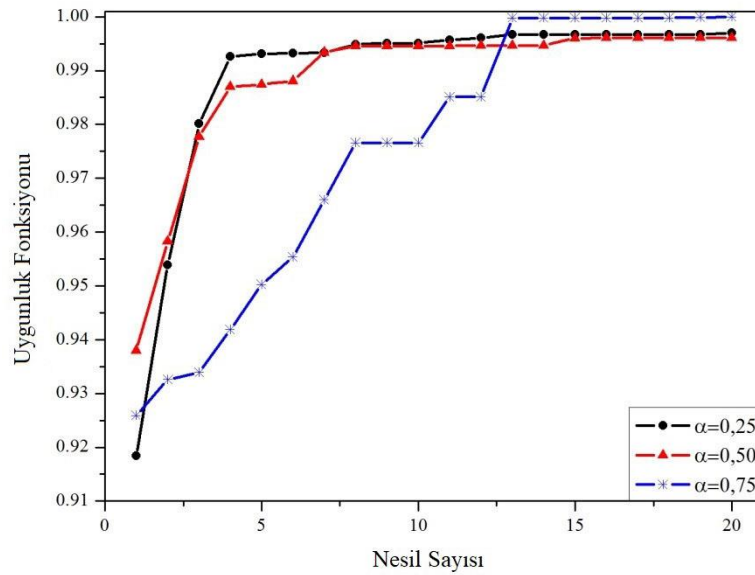
Sınır Koşulları	α	UF	$w (\times 10^{-5})$ [m]	τ_{xz} [MPa]	Elyaf Sıralanışı
C-C	0.25	0.9873	1.2549	0.0245	$[0^\circ/30^\circ/40^\circ/0^\circ]_s$
	0.50	0.9906	1.1234	0.0218	$[10^\circ/10^\circ/30^\circ/0^\circ]_s$
	0.75	0.9910	1.5341	0.0260	$[10^\circ/50^\circ/50^\circ/0^\circ]_s$
C-F	0.25	0.9970	9.2150	0.0696	$[0^\circ/0^\circ/50^\circ/0^\circ]_s$
	0.50	0.9961	11.517	0.0755	$[0^\circ/0^\circ/50^\circ/50^\circ]_s$
	0.75	1	18.531	0.0767	$[40^\circ/30^\circ/40^\circ/10^\circ]_s$
S-S	0.25	1	4.4753	0.0570	$[80^\circ/20^\circ/0^\circ/20^\circ]_s$
	0.50	1	5.8390	0.0311	$[10^\circ/60^\circ/20^\circ/0^\circ]_s$
	0.75	1	9.1448	0.0406	$[10^\circ/10^\circ/30^\circ/20^\circ]_s$

Şekil 6-7-8’de sırasıyla A-A, A-S ve B-B sınır koşulları için simetrik katmanlı kompozit bir kirişte minimum çökme ve kayma gerilmesi değerlerine bağlı olarak elde edilen uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi sunulmuştur. A-A ve B-B sınır koşullarında ağırlık katsayısındaki artışa bağlı olarak uygunluk fonksiyonu

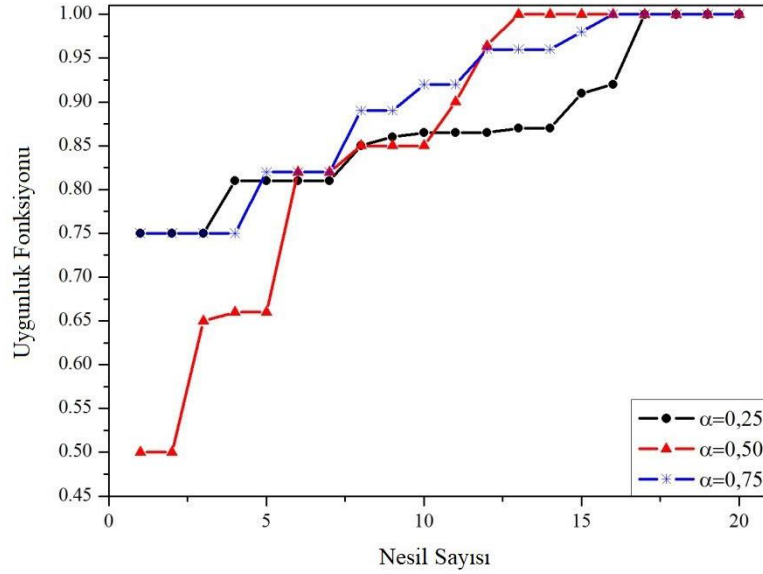
değerlerinde de artış gerçekleşmiştir. Genellikle 5. ve 10. nesil aralığında uygunluk fonksiyonu değerlerinde keskin bir artış gerçeklemiştir. Tüm sınır koşullarında özellikle son beş nesil içerisinde maksimum uygunluk fonksiyonu değerlerine yakınsama gerçekleşmiştir.



Şekil 6. A-A sınır koşulu için uygunluk fonksiyonunun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.



Şekil 7. A-S sınır koşulu için uygunluk fonksiyonunun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.



Şekil 8. B-B sınır koşulu için uygunluk fonksiyonunun nesil sayısına bağlı olarak değişimi.

Çalışmada, farklı sınır koşulları altında simetrik katmanlı kompozit kirişlerin elyaf sıralanışları optimize edilmiştir. Optimizasyon tekniği olarak genetik algoritma kullanılmıştır. Belirli bir nesil sayısı boyunca her nesilde minimum çökme, normal ve kayma gerilmesi parametrelerini içeren bir uygunluk fonksiyonunu maksimize eden elyaf sıralanışlarını verecek şekilde optimizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Çökme ve normal gerilme, çökme ve kayma gerilmesi değerlerinin dahil edildiği her iki durumda da uygunluk fonksiyonu değerlerinin maksimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Maksimum değerlere yakınsamanın genellikle üç farklı sınır koşulu için de son beş nesilde gerçekleştiği görülmüştür. İleriye dönük olarak doğal frekans, burkulma yükleri, katman sayıları gibi farklı tasarım parametrelerinin dahil edilmesiyle; farklı malzeme ve geometrik özellikler, katman kalınlıkları, optimizasyon teknikleri ve sınır koşulları altında çok-amaçlı optimizasyon kullanılarak katmanlı kompozit kirişlere ait dinamik analiz gerçekleştirilebilir.

Referanslar

- Coello, C. A. C., Lamont, G. B., Van Veldhuizen, D. A., (2007). Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems. ISBN 978-0-387-33254-3, Springer, Second Edition, New York, USA.
- De Munck, M., De Sutter, S., Verbruggen, S., Tysmans, T., Coelho, R. F., (2015). Multi-objective weight and cost optimization of hybrid composite-concrete beams. *Composite Structures*, 134, 369-377.
- Fagan, E. M., De La Torre, O., Leen, S. B., Goggins, J., (2018). Validation of the multi-objective structural optimisation of a composite wind turbine blade. *Composite Structures*, 204, 567-577.
- Gurugubelli, S., Kallepalli, D., (2014). Weight and deflection optimization of cantilever beam using a modified non-dominated sorting genetic algorithm. *IOSR Journal of Engineering*, 4 (3), 19-23.

- Ho-Huu, V., Duong-Gia, D., Vo-Duy, T., Le-Duc, T., Nguyen-Thoi, T., (2018). An efficient combination of multi-objective evolutionary optimization and reliability analysis for reliability-based design optimization of truss structures, *Expert Systems With Applications*, 102, 262-272.
- Holland, J. H., (1995). Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control and artificial intelligence. *MIT Press*, Cambridge, MA, USA.
- Ikeya, K., Shimoda, M., Shi, J. X., (2016). Multi-objective free-form optimization for shape and thickness of shell structures with composite materials. *Composite Structures*, 135, 262-275.
- Jacob, L. P., Senthil, S. V., (2006). Multi-objective optimization of fiber reinforced composite laminates for strength, stiffness and minimal mass. *Computers and Structures*, 84, 2065-2080.
- Jones, R. M., (1975). Mechanics of composite materials. *McGraw-Hill*, New York, USA.
- Karaçam, F., Timarcı, T., (2014). Multi-objective optimization of stacking sequences for laminated composite beams by genetic algorithm. *Applied Mechanics & Materials*, 729, 89-94.
- Karama, M., Afaq, K. S., Mistou, S., (2003). Mechanical behaviour of laminated composite beam by the new multi-layered laminated composite structures model with transverse shear stress continuity. *International Journal of Solids and Structures*, 40, 1525-1546.
- Lin, C. C., Lee, Y. J., (2004). Stacking sequence optimization of laminated composite structures using genetic algorithm with local improvement. *Composite Structures*, 63, 339-345.
- Nikbakt, S., Kamarian, S., Shakeri, M., (2018). A review on optimization of composite structures part I: Laminated composites. *Composite Structures*, 195, 158-185.
- Omkar, S. N., Khandelwal, R., Yathindra, S., Naik, G. N., Gopalakrishnan, S., (2008). Artificial immune system for multi-objective design optimization of composite structures. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, 1416-1429.
- Rahul, S. G., Chakraborty, D., Dutta, A., (2006). Multi-objective optimization of hybrid laminates subjected to transverse impact. *Composite Structures*, 73 (3), 360-369.
- Saravanos, D. A., Chamis, C., (1992). Multiobjective shape and material optimization of composite structures including damping. *AIAA Journal*, 30 (3), 805-813.
- Senouci, A. B., Al-Ansari, M. S., (2009). Cost optimization of composite beams using genetic algorithms. *Advances in Engineering Software*, 40, 1112-1118.
- Shrivastava, S., Mohite, P. M., Yadav, T., Malagaudanavar, A., (2018). Multi-objective multi-laminate design and optimization of a carbon fibre composite wing torsion box using evolutionary algorithm. *Composite Structures*, 185, 132-147.
- Soldatos, K.P., Timarcı, T., (1993). A unified formulation of laminated composite, shear deformable, five-degrees-of-freedom cylindrical shell theories. *Composite Structures*, 25, 165-171.
- Talic, E., Schirrer, A., Kozek, M., Jakubek, S., (2015). Multi-objective parameter identification of Euler–Bernoulli beams under axial load. *Journal of Sound and Vibration*, 341, 86-99.
- Vo-Duy, T., Duong-Gia, D., Ho-Huu, V., Vu-Do, H.C., Nguyen-Thoi, T., (2017). Multi-objective optimization of laminated composite beam structures using NSGA-II algorithm. *Composite Structures*, 168, 498-509.
- Walker, M., Reiss, T., Adali, S., (1997). Optimal design of symmetrically laminated plates for minimum deflection and weight. *Composite Structures*, 3 (3-4), 337-346.

MECHANICAL AND MICROSTRUCTURAL COMPARISON OF WIRE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING, LASER BEAM AND PLASMA ARC CUTTING PROCESSES

Gürkan İRSEL^{1*}, Betül Nur GÜZEY¹, Bilgin KARA²

¹ Trakya University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Edirne / TURKEY

² İnan Makina Industry and Trade Inc., Tekirdağ / TURKEY

Cite this article as: Irsel, G., Güzey, B.N., Kara, B. (2022). Mechanical and Microstructural Comparison of Wire Electrical Discharge Machining, Laser Beam and Plasma Arc Cutting Processes, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 97-107.

Highlights

- Comparison of industrial methods used in cutting sheet metal.
- Cutting is one of the most basic processes of production and directly affects the next process.
- Plasma, laser, and wire electrical discharge machining methods affect the microstructure and mechanical properties of metals.

Article Info	Abstract
Article History: Received: November 15, 2022 Accepted: December 5, 2022	In this study, laser, plasma, and wire electrical discharge machining (WEDM) cutting methods were experimentally investigated by cutting S355JR structural steel and Hardox 450 martensitic steel. The effects of cutting processes on production speed, edge quality, surface quality and production tolerances are presented. The mechanical and microstructural effects of the cutting method on the cut samples were investigated.
Keywords: Material cutting technologies; Laser beam; Plasma arc cutting; Wire electrical discharge machining; Microhardness; Microstructure.	Laser beam, plasma arc cutting methods are widely used in industry. The WEDM method, on the other hand, has a more limited area of use compared to these two methods. It has been observed that the strength values of the samples cut from S355JR and Hardox 450 steels with these three methods affect the tensile and bending strengths depending on the cutting process. The maximum hardness values detected on the surfaces cut by WEDM, laser and plasma methods are 435, 440 and 481 HV, respectively. It was determined that $5 \pm 0.72^\circ$ vertical inclination (conicity) occurred on the cut surfaces of 8 mm thick sheets in plasma cutting, while a vertical inclination of $0.3 \pm 0.15^\circ$ occurred in laser cutting. In the WEDM method, it was determined that the cut edge did not form in this way. When the cut surface is examined, it can be sorted as Wire electrical discharge machining, plasma cutting, laser method in terms of dimensional tolerances and surface roughness success.

1. Introduction

The cutting processes of metal materials form the essence of industrial production processes. The material and geometry of the object are two important parameters in the cutting process (İrsel & Güzey, 2021)(Yilbas, 2008). In many steel structures, cutting edge quality affects production efficiency. Surface and dimensional irregularities accelerate the formation of damage in systems (Klimpel et al., 2017). Cost, dimensional accuracy, cutting speed, microstructural and mechanical effects after the cutting process are the main factors determining the industrial applicability and selection of the cutting method. These factors also directly affect the manufacturing stages following the cutting process. Laser and plasma cutting methods are widely used in the cutting process of sheet metal materials (Boujelbene, 2018)(P. Patel, Nakum, Abhishek, & Rakesh Kumar, 2018)(Celik, Rennie, & Akinci, 2017). WEDM, on the other hand, has a more limited use. The workpiece obtained after WEDM processing has superior surface properties and dimensional accuracy. For this reason, it is used in the manufacture of molds, the manufacture of aerospace, medical and surgical instruments, the automobile industry (P. Patel et al., 2018)(Karpas & Yuce, 2020). The WEDM method, which is an unconventional cutting method, is gaining popularity today. In these three methods, in which designs created with computer aided engineering software are cut using numerical workbenches, it is carried out automatically (Ho, Newman, Rahimifard, & Allen, 2004). In these three methods, there are differences in terms of production speed, mechanical and microstructure of the parts obtained after the cutting process.

Plasma cutting is one of the most common cutting processes for cutting flat parts or blanks from sheet materials. In the plasma cutting method, it is cut with the plasma formed with electrically conductive materials by means of an accelerated hot plasma jet. Depending on the type of plasma, this method is

suitable for cutting metals such as carbon, high alloy steels, aluminum, copper, wear-resistant plates. The plasma torch contains a jet of ionized gas and a temperature of approximately 20.000 to 50.000 °C is reached. Plasma cutting is still the most economical heat cutting method for cutting (Barényi, 2016)(Masoudi et al., 2019). The selection of the parameters of the plasma cutting process changes the surface roughness of the material, the cutting angle (taper), the burr formation, the size of the heat affected zone (HAZ), the material removal rate, the cut surface quality and the metallurgical effects of the cutting. Barenyi et al. (Barényi, 2016) investigated the effect of cutting temperature on microstructure and mechanical properties in plasma and laser cutting process of armox steels. They concluded that the apparent HAZ depth of plasma cutting surfaces is significantly greater compared to laser cutting. Thomas et al. (Thomas, 2011) investigated changes in surface properties and microstructure near the cutting edge using laser and plasma cutting machining of 8 mm thick S355 steel. Plasma arc cutting and laser beam cutting methods are two cutting methods that are technically very close to each other. Laser beam cutting technology is essentially a thermal process in which a focused laser beam is used to melt material in a localized area. The processing of metals by laser cutting method has a wide application area in the industry. The high-energy focused laser beam ensures fast processing and excellent precision in operation. Because laser processing involves a high temperature gradient, mainly depending on the laser power, cutting speed, laser beam diameter, pulse frequency and focus position. This causes a thermal stress in the irradiated area. In addition, high cooling rates cause stress formation in this region (Boujelbene, 2018)(Boujelbene, Alghamdi, Miraoui, Bayraktar, & Gazbar, 2017)(Miraoui, Boujelbene, & Bayraktar, 2015). Klimpel et al. (Klimpel et al., 2017) determined that the cutting method and cutting parameters significantly affect the surface quality, microstructural

and mechanical properties. Gostimirović et al. (Gostimirović, 2020) determined that in the cutting process of low carbon steels, plasma cutting is not suitable for final machining. In the two methods, the melted material is removed from the cut plate on the line to be cut and a gap is created. These methods are called thermal cutting methods and the surface quality does not give the expected result if high temperature and cutting parameters are not selected appropriately during cutting. WEDM is a form of EDM in the non-traditional machining process category (Kumar & Singh, 2012)(Verma, Upadhyay, & Rizvi, 2021). WEDM process, also known as spark erosion process used to create very intricate and complicated shapes on electrically conductive workpieces through a wire. In this method, cutting is carried out with the help of a wire with a high-intensity current (S. S. Patel & Patel, 2021). One of the advantages of WEDM is that hardened steel can be easily machined to micron precision with high precision and smooth surface finish (Ho et al., 2004). Altuğ et al. (Altuğ, 2019) investigated the effect of WEDM machinability on the mechanical and microstructural properties of Hardox 400 steel. Bobbili et al. (Bobbili, Madhu, & Gogia, 2013) applied the cutting process with the help of WEDM and as a result confirmed the effect of this cutting process on the mechanical and microstructural properties of high strength armor steel such as surface roughness, material removal rate. Borchers et al. (Borchers et al., 2020) examined the resulting cut surfaces mechanically and microstructurally after cutting AISI 4140 steel with seven different cutting methods. They attributed the hardness of the surface cut by the EDM method to the formation of martensite, which is why it is harder. Göğüş et al. (Göğüş, Cabiroğlu, Ekmekyapar, & Özakça, 2014) investigated the laser cutting, plasma cutting and WEDM cutting methods of structural steel on the tensile specimen and they obtained different heat effects and roughness values by performing mechanical

tests on the cutting surface of these effects on the specimen.

In this study, the success of WEDM, plasma and laser cutting methods in sheet metal cutting processes was compared in terms of processing speed, dimensional accuracy after cutting, mechanical and microstructural changes. For experimental studies, samples were cut from S355JR and Hardox 450 steels with three different cutting methods. Metallographic and mechanical tests such as FESEM, tensile, bending, microhardness tests were performed and cutting methods were compared for two different materials.

2. Materials and Method

For the current study, S355JR general structural steel with ferrite (α) and small amount of perlite ($\alpha + \text{Fe}_3\text{C}$) microstructure and martensitic Hardox 450 plates with high wear resistance were cut by laser, plasma and WEDM cutting methods. The chemical composition and mechanical properties of these two materials are presented in Table 1 and Table 2. Elemental measurement was carried out with the Spectrotest brand TXC35 model portable metal analyzer.

Table 1. Chemical composition of the S355JR and Hardox 450 steel (wt. %).

Malzeme	S355JR	Hardox 450
C	0.20	0.19
Mn	1.60	1.50
Si	0.25	0.30
Cr	0.24	0.10
Ni	-	0.10
Mo	-	0.05
P	0.035	0.02
S	0.032	0.005
Fe	Balanced	Balanced

Table 2. Mechanical properties of the S355JR and Hardox 450 steel (wt. %).

Mechanical properties	S355JR	Hardox 450
Yield strength (MPa)	381 ± 55	1200 ± 50
Tensile strength (MPa)	595 ± 55	1400 ± 50
Elongation%	22 ± 3	10 ± 4
Elastic modulus (N/mm ²)	200000	200000
Charpy V-Notch impact toughness (J)	27 (-20 °C)	27 (-40 °C)

Test specimens were cut from 8 mm thick plates. For both S355JR and Hardox 450 materials, 20 mm length and 15 mm width tensile test specimens, 20 mm x 150 mm bending specimens, microhardness and microstructure inspection specimens were prepared.

For WEDM processing, tensile and bending samples were cut with Charmilles brand, Robofil 440 model at 4 mm/min speed with distilled water and 0.25 mm brass wire as electrode (Fig. 1). The cutting process occurs with the arc that occurs when the wire touches the part, and a heat of 8000~12000 °C occurs at the time of the arc. The samples are positioned in pure water and cut with a brass wire. Wire is a consumable here and is supplied from a coil. The S355JR and Hardox 450 materials were cut with a Plasma arc (Brand: Yıldırım Knuth) and a Laser beam (Brand: BYSTRONIC BYSPEED 3015 5200W).

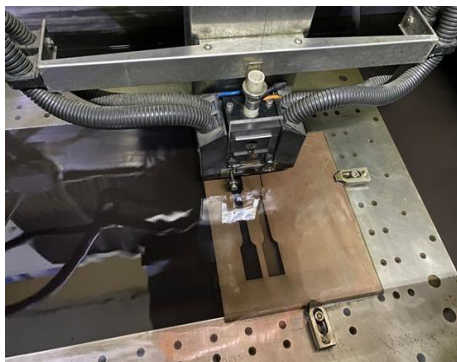


Fig 1. Wire electrical discharge machining.

Tensile test specimens of 220 mm length and 15 mm width were cut according to ASTM E8 standard (Fig 2). Bending test samples shown in Fig 3. Cutting operations were performed with the cutting parameters seen in Table 3, Table 4, and Table 5 for all samples. After the cutting process, section measurement, tensile test, bending test, microhardness measurement, microstructure analysis, FESEM and mechanical tests were performed on the specimens.



Fig 2. Tensile test samples.



Fig 3. Bending test samples.

Table 3. Cutting parameters of plasma.

Cutting thickness (mm)	8
Cutting speed (mm/min)	2400
Current I, A	135
Power (W)	8500
Nozzle diameter (mm)	1.2

Table 4. Cutting parameters of laser beam cutting.

Cutting thickness (mm)	8
Lens type	7.5
Laser power (W)	3250
Nozzle diameter (mm)	NK1515
Cutting speed (mm/min)	1700

Table 5. Cutting parameters of Wire electrical discharge method.

Cutting thickness (mm)	8
Cutting speed mm/min	60
Nozzle diameter /mm	1.4
Oxygen pressure /bar	6-7

Tensile, bending, microhardness and microstructure inspection specimens were prepared for both S355JR and Hardox 450 materials. For metallurgical examination, samples were cut with a Struer brand discotom-100 model diamond cutter precision cutting device and samples were prepared in bakelite with a Struer brand CitoPress-5 model device. The sanding process was carried out using the Struer brand Tegramin 25 model sanding and polishing device. First, sandpaper: MD-Piano 220 was carried out with water for 2:30 minutes with 40 N pressing force and 150 rpm speed. Washing was done, in the second operation sandpaper: MD-Allegro, DiaDuo-2 9 μm was polished with 40N pressing force and 150 rpm for 4:30 minutes, and then washing was performed. Sanding: MD-Dac was carried out with DiaDuo-2 3μm for 4:30 minutes at 35 N pressure and 150 rpm speed. Finally, sandpaper: MD-Nap, DiaDuo-2 1 μm 2:30 minutes, 30 N pressing force was applied and the polishing process was carried out at 150 rpm. After the base metals were prepared to obtain a mirror-like surface for metallographic analysis, the surface was cleaned with pure ethanol. After mechanically polishing the surface, it was etched with 3% nital (97 ml ethanol + 3 nitric acid) etching

solution for 15 seconds. Field emission scanning electron microscopy (FESEM) provides essential information on topographic, morphological and microstructure at magnifications from 10x to 300,000x with virtually unlimited depth of field. The cutting surfaces of S355JR and Hardox 450 steels, which were cut with different methods at 1.00KX and 3.00KX magnification, were visualized using the Carl Zeiss Gemini 500 FESEM device. The Vickers microhardness test was measured using a microhardness tester (Brand: Delhi Metko) at 0.5 mm intervals from the cut edge to the center in samples cut with laser beam and plasma arc (Fig 4). Tensile tests were carried out for S355JR and Hardox 450 samples in three repetitions at 5 mm/min tensile speed with ALŞA tensile tester according to ASTM A370 standard. Bending tests of Hardox 450 and S355JR steels cut with different cutting methods were carried out according to TS EN ISO/IEC 17025:2017.

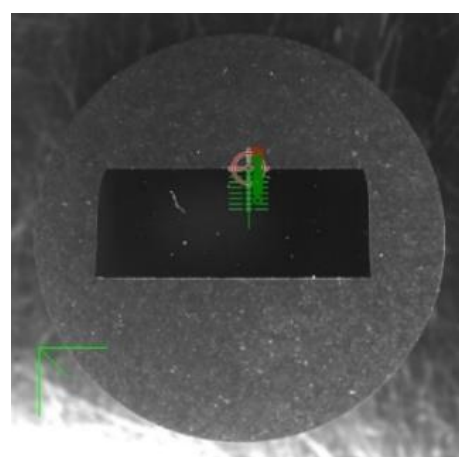


Fig 4. Vickers microhardness measuring points.

3. Experimental Findings and Discussion

In the manufacturing processes in which sheet metal plates are used, the first operation is the cutting of the plates. This cutting process greatly affects the production quality, cost, production time (Ho et al., 2004)(Harničárová, Zajac, & Stoić, 2010). In this study, wire electrical discharge machining, laser and plasma cutting methods are discussed in detail in terms of processing speed, microstructural and mechanical

differences after cutting, and geometric precision. When the microstructures of S355JR and Hardox 450 steels were examined after cutting, it was seen that each cutting method affected the microstructure differently.

The first success criterion expected from the cutting process is that the cut plate dimensions are compatible with the targeted geometric dimensions. In plasma cutting, a conical cut occurred due to intense heat and plasma formation. While the upper surface of 8 mm thickness was 12.81, the lower surface was measured as 12.08 mm, which is a taper of $5 \pm 0.72^\circ$. Moreover, in a linear progression, a dimensional fluctuation of about 0.15 mm at 8 mm wall thickness was also detected with the effect of intense plasma. This value will change with the sheet thickness. An angle of $0.3 \pm 0.15^\circ$ was formed at the edges of the plate cut with the laser. This value is such a small error that it does not require any editing on the cut plates.

After the cutting processes, the effect of different cutting methods on the same materials was investigated microstructurally by FESEM analysis. α -ferrite and pearlite phases are seen in S355JR steel. Laser and WEDM at 1.00KX magnification were similar to base metal, but dimensional growth was observed. In plasma cutting, elongation and needle-like structures were formed in the grains (Fig 5-7). It has been determined that Hardox 450 steel has a martensitic structure. When the surface of Hardox 450 steel is examined with FESEM after cutting with wire electrical discharge machining and laser beam cutting methods, a martensitic structure is observed (Fig 8-9). The maximum hardness of Hardox 450 steel, which is cut with the plasma cutting method, is based on the denser martensitic structure due to the temperature during cutting (Fig 10). For S355JR steel, grain geometries in

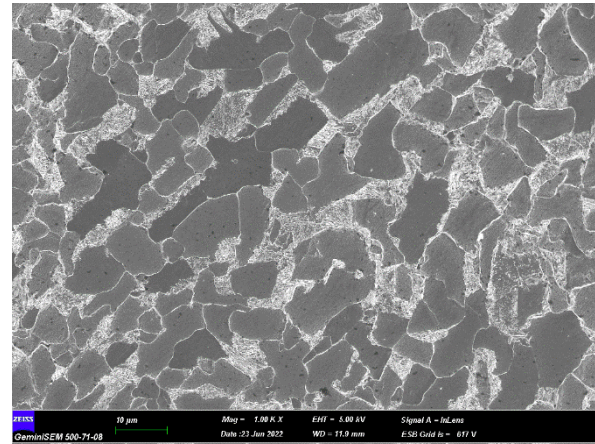


Fig 5. S355JR surface after WEDM at 1.00KX magnification.

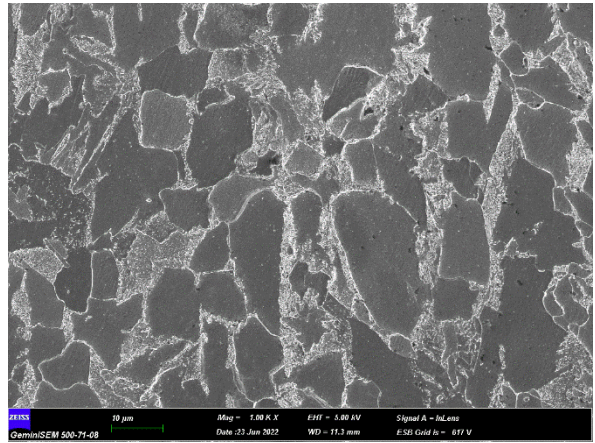


Fig 6. S355JR surface after laser cutting process at 1.00KX magnification.

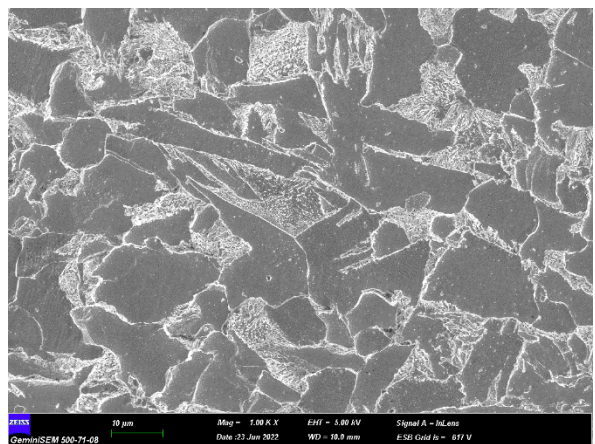


Fig 7. S355JR surface after plasma cutting process at 1.00KX magnification.

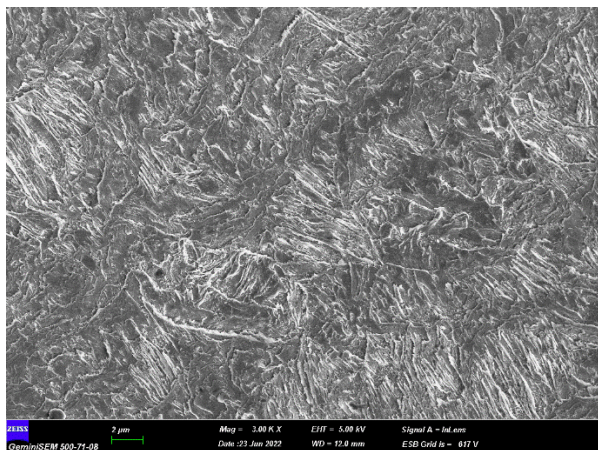


Fig 8. Hardox 450 surface after WEDM at 3.00KX magnification.

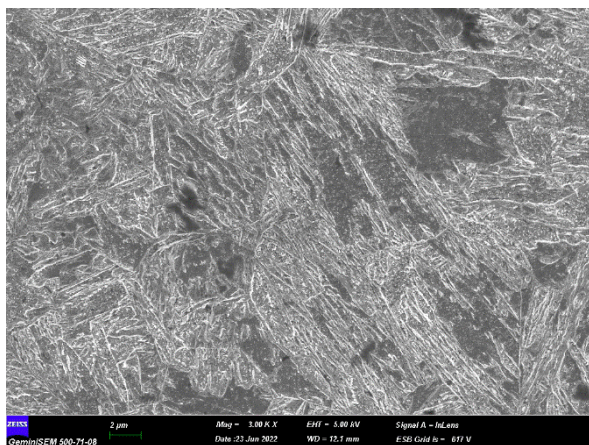


Fig 9. Hardox 450 surface after laser cutting process at 3.00KX magnification.

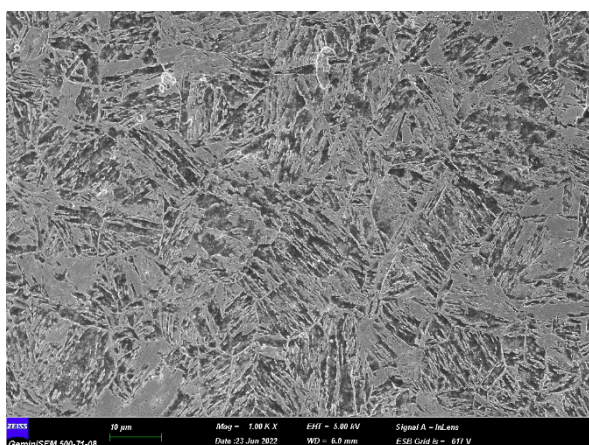


Fig 10. Hardox 450 surface after plasma cutting process at 3.00KX magnification.

The tensile test was applied to the specimens cut with three different methods. The highest tensile strength was obtained in the sample no. 1 in Fig 11 of the Hardox 450 sample cut by the plasma cutting method. The graphs of the tensile tests performed are shown in Fig 12.



Fig 11. Fracture after tensile testing.

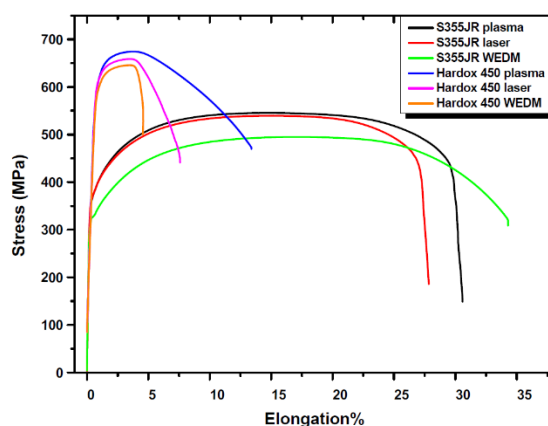


Fig 12. Tensile test graph.

The bending test was applied to the specimens cut with three different methods. According to the bending test results, the highest bending strength was obtained as 34.729 kN in the plasma cutting method of Hardox 450 steel (Fig 13). The reason for this maximum value is not due to the superiority of the cutting method, but the effect of high temperature and rapid cooling at the

sample edge (Fig 10). However, no cracks or defects were observed in the specimens after bending (Fig. 14-15). Fig 14a shows the fluctuation indicated in plasma cutting.

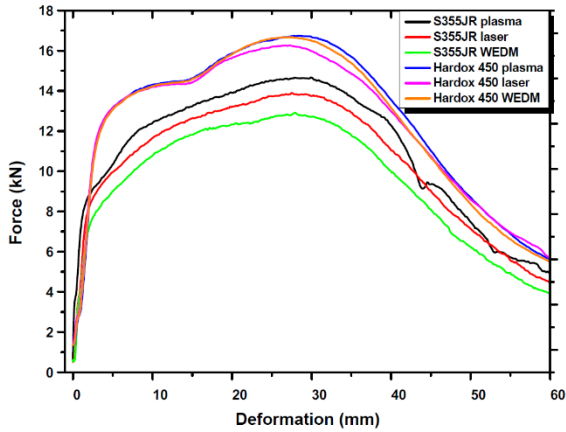


Fig 13. Bending test graph.

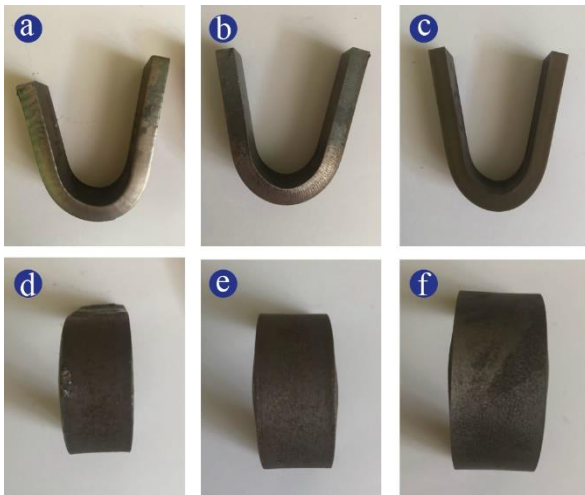


Fig 14. S355JR steel after bending test a-d) Plasma, b-e) laser beam, c-f) WEDM process.

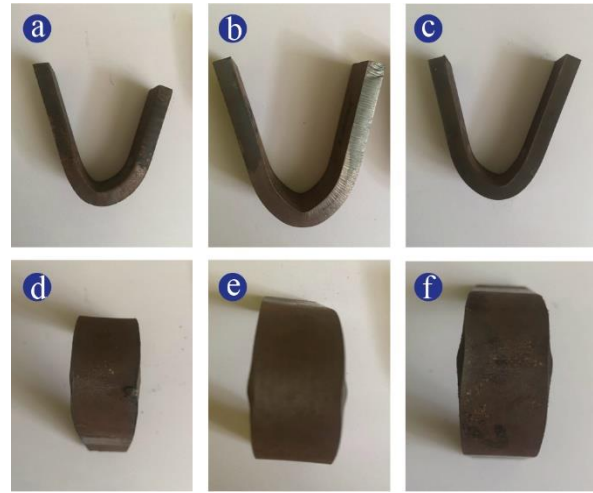


Fig 15. Hardox 450 steel after bending test a-d) Plasma, b-e) laser beam, c-f) WEDM process.

The highest hardness value was determined as 481 HV in Hardox 450 material cut with plasma. Hardness decreased as it progressed from the edge to the center and averaged 400 HV. In laser beam cutting, the maximum hardness in Hardox 450 was 440 HV, and the average hardness value of the sample was 430 HV as it went towards the center. In the wire electrical discharge machining, the maximum hardness value measured at the edge was 435 HV, while the average hardness value measured towards the center was 415 HV (Fig 16).

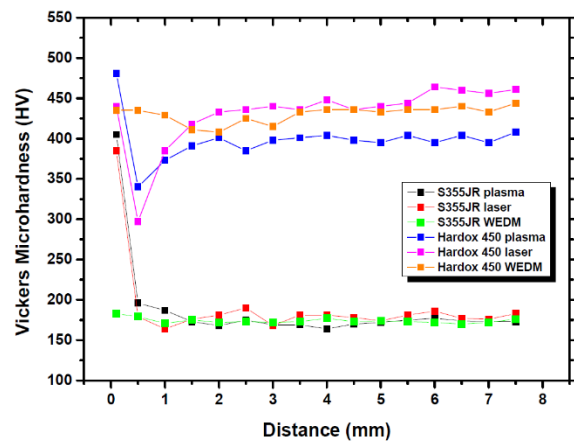


Fig 16. Vickers Microhardness graph.

4. Conclusion

Laser, plasma and WEDM methods were investigated experimentally by cutting S355JR and Hardox 450 steels. The effects of cutting process on production speed, edge quality, surface quality and production tolerances are presented. The mechanical and microstructural effects caused by the cutting methods were investigated by mechanical and microstructural tests. The findings obtained result of the tests are as follows:

1. The cutting speeds in the three methods were 60 mm/min for WEDM, 1700 mm/min for laser and 2400 mm/min for plasma. Wire electrical discharge machining has a very low processing speed compared to the other two methods. In the WEDM method, it is necessary to drill a hole through which the wire will pass before the cutting process.
2. According to the dimensions of the cut samples, an inclination of $5^\circ \pm 0.7$ in plasma with a wall thickness of 8 mm and an inclination of $0.3^\circ \pm 0.15$ in laser cutting were observed. In the WEDM method, there was no edge bevel due to cutting.
3. The surface formed after the plasma arc cutting process is often too hard for machining. In this respect, laser cutting method is more convenient than plasma cutting. The final product processed with WEDM has a better surface as it is precision cut and does not require machining after cutting.
4. Plasma cutting process (for 8 mm plate thickness) is 40 times faster than the WEDM method and 1.42 times faster than the laser cutting method.
5. According to the tensile test results, the highest tensile strength was determined as 1417.395 MPa in Hardox 450 steel in plasma cut sample and 545.470 MPa in plasma cut sample in S355JR steel.
6. According to the results of the bending test, the maximum force was determined as 34.729 kN in Hardox 450 steel cut by plasma cutting method.
7. It can be relatively assumed that WEDM always leads the way and performs better in processing a difficult and advanced material with precision and better surface quality.
8. Different cutting methods are effective in terms of microstructure and mechanical properties in carbon steels such as S355JR and Hardox 450, especially the plasma cutting method adversely affects the microstructure at the cutting edge.

References

- Altuğ, M. (2019). Investigation of Hardox 400 Steel exposed to heat treatment processes in WEDM Investigation of Hardox 400 Steel Exposed to Heat Treatment Processes in WEDM, 9(1), 237–244. Retrieved from <https://doi.org/10.2339/politeknik.417764>
- Barényi, I. (2016). Microstructure changes in cut face obtained by plasma and laser cutting of selected high strength steels. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, 78(1), 233–240.
- Bobbili, R., Madhu, V., & Gogia, A. K. (2013). Effect of wire-EDM machining parameters on surface roughness and material removal rate of high strength armor steel. Materials and Manufacturing Processes, 28(4), 364–368. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10426914.2012.736661>
- Borchers, F., Clausen, B., Eckert, S., Ehle, L., Epp, J., Harst, S., Strunk, R. (2020). Comparison of different manufacturing processes of aisi 4140 steel with regard to surface modification and its influencing depth. Metals, 10(7), 1–27. Retrieved from <https://doi.org/10.3390/met10070895>
- Boujelbene, M. (2018). Influence of the CO2 laser cutting process parameters on the Quadratic Mean Roughness Rq of the low carbon steel. Procedia Manufacturing, 20, 259–264. Retrieved from

- <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.038>
- Boujelbene, M., Alghamdi, A. S., Miraoui, I., Bayraktar, E., & Gazbar, M. (2017). Effects of the laser cutting parameters on the micro-hardness and on the heat affected zone of the mi-hardened steel. *International Journal of ADVANCED AND APPLIED SCIENCES*, 4(5), 19–25. Retrieved from <https://doi.org/10.21833/ijaas.2017.05.003>
- Celik, H. K., Rennie, A. E. W., & Akinci, I. (2017). Design and structural optimisation of a tractor mounted telescopic boom crane. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 39(3), 909–924. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40430-016-0558-y>
- Göğüş, M. T., Cabiroğlu, A., Ekmekyapar, T., & Özakça, M. (2014). Effect of Specimen Preparation Methods for Tension Test on Design of Cold-Formed Steel Members, 126–130.
- Gostimirović, M. (2020). An Experimental Analysis of Cutting Quality in Plasma Arc Machining, 1(June). Retrieved from <https://doi.org/10.24867/ATM-2020-1-001>
- Harničárová, M., Zajac, J., & Stoić, A. (2010). Comparison of different material cutting technologies in terms of their impact on the cutting quality of structural steel. *Tehnicki Vjesnik*, 17(3), 371–376.
- Ho, K. H., Newman, S. T. Ā., Rahimifard, S., & Allen, R. D. (2004). State of the art in wire electrical discharge machining (WEDM), 44, 1247–1259. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ijmachtools.2004.04.017>
- İrsel, G., & Güzey, B. N. (2021). Comparison of laser beam, oxygen and plasma arc cutting methods in terms of their advantages and disadvantages in cutting structural steels. *Journal of Physics: Conference Series*, 2130(1), 012022. Retrieved from <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2130/1/012022>
- Karpat, F., & Yuce, C. (2020). Experimental measurement and numerical validation of single tooth stiffness for involute spur gears, 150. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.107043>
- Klimpel, A., Cholewa, W., Bannister, A., Luksa, K., Przystała, P., Rogala, T., ... Martín-Meizoso, A. (2017). Experimental investigations of the influence of laser beam and plasma arc cutting parameters on edge quality of high-strength low-alloy (HSLA) strips and plates. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 92(1–4), 699–713. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0119-2>
- Kumar, R., & Singh, S. (2012). Current Research Trends in Wire Electrical Discharge Machining: An Overview. *International Journal on Emerging Technologies*, 3(1), 33–40.
- Masoudi, S., Mirabdolahi, M., Dayyani, M., Jafarian, F., Vafadar, A., & Dorali, M. R. (2019). Development of an intelligent model to optimize heat-affected zone, kerf, and roughness in 309 stainless steel plasma cutting by using experimental results. *Materials and Manufacturing Processes*, 34(3), 345–356. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/10426914.2018.1532579>
- Miraoui, I., Boujelbene, M., & Bayraktar, E. (2015). Analysis of cut surface quality of sheet metals obtained by laser machining: thermal effects. *Advances in Materials and Processing Technologies*, 1(3–4), 633–642. Retrieved from <https://doi.org/10.1080/2374068X.2016.1147759>

- Patel, P., Nakum, B., Abhishek, K., & Rakesh Kumar, V. (2018). Machining performance optimization during plasma arc cutting of AISI D2 steel: application of FIS, nonlinear regression and JAYA optimization algorithm. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 40(4). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s40430-018-1087-7>
- Patel, S. S., & Patel, D. M. (2021). Investigation of machining characteristics of SKD 11 in WEDM. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.468>
- Thomas, D. J. (2011). The influence of the laser and plasma traverse cutting speed process parameter on the cut-edge characteristics and durability of Yellow Goods vehicle applications. *Journal of Manufacturing Processes*, 13(2), 120–132. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2011.02.002>
- Verma, R. K., Upadhyay, R. K., & Rizvi, S. A. H. (2021). Modeling of kerf width during WEDM of die steel D3. *Materials Today: Proceedings*, (xxxx). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.115>
- Yilbas, B. S. (2008). Laser cutting of thick sheet metals: Effects of cutting parameters on kerf size variations. *Journal of Materials Processing Technology*, 201(1–3), 285–290. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2007.11.265>

DİREKSİYON MAFSAL PARÇASININ STATİK ANALİZİ ve TOPOLOJİ OPTİMİZASYONU

Recep KARA¹, Vedat TAŞKIN², Pınar Aydan DEMİRHAN^{2*}

¹Tekyaz Teknolojik Yazılımlar Ve Makina Tic. A.Ş. İstanbul/Türkiye

²Trakya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Makale Künye Bilgisi: Kara,R.,Taşkın,V., Demirhan,P.A.(2022). Direksiyon Mafsalları Parçasının Statik Analizi ve Topoloji Optimizasyonu, *Trakya Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 109-119.

Öne Çıkanlar

- Direksiyon Destek Parçası Tasarımı ve Statik Analizi
- Direksiyon Destek Parçası Topoloji Optimizasyonu
- Direksiyon Destek Parçası Son Tasarımı ve Statik Analizi

Makale Bilgileri	Özet
Makale Tarihi: Geliş: 6 Aralık 2022 Kabul: 17 Aralık 2022	Gelişen teknoloji ile birlikte tasarımlardaki hatalar üretim hızına bağlı olarak artmaktadır. Günümüzde CAD programları ve Topoloji optimizasyonu gibi yöntemler kullanılarak minimum hata ile tasarımlar geliştirmek mümkündür. Topoloji optimizasyonu sayesinde otomotiv, makine, endüstriyel vb. alanlarda tasarımsal optimizasyon çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmada direksiyon sistemine ait bir oto yedek parça elemanı olan direksiyon mafsalı incelenmiştir. Bu parça tekerleklerin dönmesini sağlayan direksiyon sisteminin pivot noktasıdır. Yönlendirme ihtiyacı duyulan tüm araçlarda bu parça kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı direksiyon mafsalı için emniyet katsayısı yüksek ve araç süspansiyon sisteminden kaynaklı oluşabilecek gerilmelere dayanıklı bir tasarım geliştirmektir. Ayrıca analiz programları kullanılarak bu parçanın yapı itibarı ile hafif olacak şekilde tasarlanmasını başarmaktır. Analizler sonucunda direksiyon mafsalları parçasının ağırlığı %75 oranında azalmıştır. Emniyet katsayısı 2 kat olacak şekilde bir tasarım optimizasyonu çalışması yapılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Optimizasyon; Topoloji; Statik Analiz; Direksiyon Mafsalları	

STATIC ANALYSIS AND TOPOLOGY OPTIMIZATION OF THE STEERING KNUCKLE PART

Highlights

- Steering Knuckle Design and Static Analysis
- Steering Knuckle Topology Optimization
- Steering Support Part Final Design and Static Analysis

Article Info	Abstract
Article History: Received: December 6, 2022 Accepted: December 17, 2022	With the developing technology, the errors in the designs increase depending on the production speed. Today, it is possible to design with minimum error using methods such as CAD programs and Topology optimization. Thanks to topology optimization, design optimization studies are carried out in the fields such as automotive, machinery, industrial. In this study, we examined the steering knuckle, is an auto spare part element of the steering system. It is the pivot point of the steering system that allows the wheels to turn. This part is used in all vehicles that need steering. The purpose of this study is to develop a design of a steering knuckle with a high safety coefficient and resistant to the stresses that may arise from the vehicle suspension system. Also, it is aimed to achieve light in structure by using the analysis programs of this steering joint part used in vehicles. The weight of the steering knuckle piece was reduced by 75%. A design optimization study was carried out with a factor of safety of 2.
Keywords: Optimization; Topology; Static Analysis; Steering Knuckle	

1. Giriş

Son yıllarda mekanik ve tasarım projelerinde özellikle otomotiv sektöründe model hafifletme çalışmaları hız kazanmıştır. Model ağırlığında yapılacak iyileştirmelerle birlikte yakıt tasarrufunda fayda sağlanacağı gibi karbon salınım oranlarında da düşüş meydana gelecektir. Trafığe çıkan araç sayısının artması ile birlikte bu alanlarda yapılan topoloji optimizasyonu çalışmaları önem kazanmaktadır.

Topoloji Optimizasyonu belirlenen sınır koşullara uygun olacak şekilde tasarımların yapılmasıdır. Ayrıca tasarım optimizasyonu ele alınan bir modeli minimize etmek olarak da tanımlanabilir. Günümüz şartlarında hammadde miktarını azaltmak ve sistemin verimliliğini artırmak önem taşıyan kavramlardır. Topoloji optimizasyonu hammadde maliyetlerini azaltmayı hedefleyen bir teknoloji olarak karşımıza çıkmaktadır. (Türkey 2018)

Parça tasarımının belirlenen sınır koşullara göre modellenmesi, ergonomik açıdan kullanışlı olması ve uzun dönem ihtiyacı karşılayacak şekilde yapılması gerekmektedir. Tasarımsal modellemeler çoğunlukla prototip çalışmalar üzerinden gerçekleştirilmektedir. (Düzcan 2019)

Belirli sınır koşullarda tasarlanan modellerin minimum ağırlıkta olması beklenmektedir. Optimizasyon teknikleri sayesinde maksimum performans sergileyen modellerin oluşturulması önem arz etmektedir. (Lee vd. 2007).

Araştırmacılar topoloji optimizasyonu kullanılarak ağırlık azaltma sağlanırken, mukavemet değerlerinin de arttığını ortaya koymuşlardır. Krishna ve Anderson (2000), süspansiyon sisteminde kullanılan salıncak kolunun iyileştirmesinde topoloji optimizasyonunu kullanmışlardır. ADAMS programını kullanarak modelden boşaltılması gereken alanları tespit etmişlerdir. Analiz çalışmaları sonucunda model ilk haline göre %15 hafiflerken, %29 oranında maksimum

gerilmelerin azaldığı görülmüştür. Teknolojik yazılımlar kullanılarak araç ekipmanlarında bu tarz iyileştirmelerin yapılması üretim açısından ayrıca önem kazanmaktadır. Süspansiyon tasarımı sonrası yapılan analiz sonucu ile hem hafif hem de mevcut hammaddeler gereksiz yere kullanılmamaktadır.

Bölükbaş (2012), Otobüslerde yer alan çekme kancası üzerinde topoloji optimizasyonunu incelemiştir. Aşırı zorlanmalar sonucunda malzemenin akma değerlerinin aşması sonucunda yapıda meydana gelen kırılmaları önlemek için yeni bir tasarım geliştirmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre maksimum gerilmelerde %32,45 oranında azalırken son nihai tasarımın ağırlığı ise %45,49 oranında azalmıştır.

Motor braket parçasının model testlerinden kötü sonuçlar almaları nedeni ile Pan vd. (2007) topoloji optimizasyonu metodunu kullanmışlardır. Motor braket parçası üzerinde tasarımsal değişiklikleri sonlu analiz yöntemi ile optimizasyon çalışması yapılmıştır. Topoloji optimizasyonunda parçanın son nihai hali belirlenmiştir. Model ilk haline göre %12 hafif olurken, mukavemeti %50 oranında artmıştır.

Sunulan bu çalışmada direksiyon mafsal parçasının ağırlığı %75 oranında hafifletme hedefi ile birlikte emniyet katsayısı 2 kat olacak şekilde bir tasarım optimizasyon çalışması yapılacaktır. Bu çalışma ile üretimde meydana gelecek malzeme israfının önüne geçilmesi ve tasarımın bir CAD programı tarafından belirli şartlarda otomatik olarak oluşturulması hedeflenmektedir.

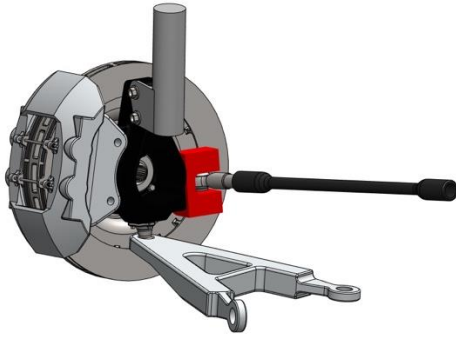
2. Materyal&Metod

Direksiyon destek parçası SOLIDWORKS programında tasarlanarak SOLIDWORKS Simulation programında statik analizi yapılmıştır. SOLIDWORKS Simulation Professional kullanılarak Topoloji optimizasyonu yapılmıştır. Topoloji optimizasyonu sonucu elde edilen model Geomagic for SOLIDWORKS programı aracılığıyla tersine

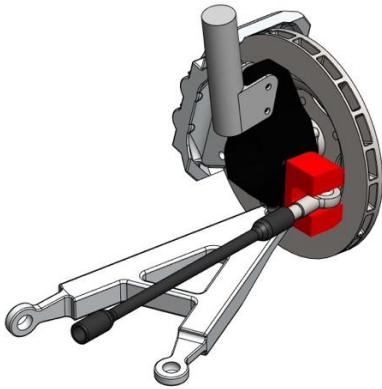
mühendislik yapılmıştır. Nihai tasarlanan model üzerinden statik analiz çalışması gerçekleştirilmiştir.

2.1. Araç Süspansiyon Sistem Tasarımı

Araç süspansiyon sistemi SOLIDWORKS CAD ortamında diğer aksamaları da içerecek biçimde tasarlanmıştır. Sistem montaj olarak tasarlanmış olup fren diski, fren kaliperi, tekerlek göbek parçası, bağlantı çubuğu, direksiyon bağlantı parçası, direksiyon rodu, alt kontrol kolu, alt kontrol mafsalı, dikme parçası ve eklem boğum parçalarından oluşmaktadır. Şekil 1 ve Şekil 2’de sistem tasarımı gösterilmektedir.



Şekil 1: Araç Süspansiyon Sistem Tasarımı Genel Görünüm



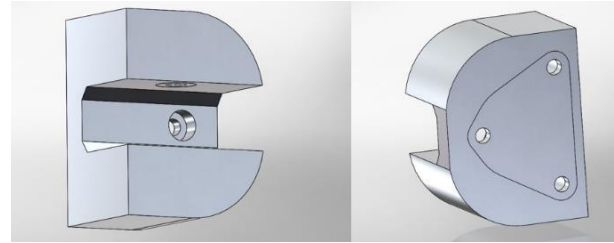
Şekil 2: Araç Süspansiyon Sistemi Fren Disk ve Kaliper Görünümü

Süspansiyon sistem tasarımı içerisinde yer alan bileşenlerin tasarımı ile birlikte kullanılan malzemeler de atanmıştır. Bileşenler içinde yer alan direksiyon destek parçası (Steering knuckle) analizin tasarıma

etkimesi ile yeni bir tasarım yaklaşımı olarak ele alınacaktır.

2.2. Direksiyon Destek Parçası ve Statik Analizi

Direksiyon destek parçası süspansiyon sistemi içinde kaba bir model olarak montaj yapılmıştır. Bu bağlamda tasarım olarak ağırlık ve hacim olarak yüksek değerlere sahiptir. Modelin mukavemeti ele alınarak topoloji optimizasyonu ile daha düşük kütle ve hacimde benzer mukavemet özellikleri ile yeni bir tasarım elde edilecektir. Direksiyon destek parçası modeli Şekil 3’te gösterilmiştir.



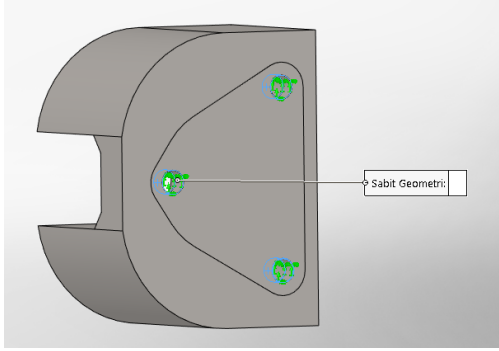
Şekil 3: Direksiyon Destek Parçası (Steering Knuckle) Modeli

Direksiyon destek malzemesi AISI 304 çelik malzemesi tanımlanmıştır. Malzeme özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1: AISI 304 Çelik Malzemesin Özellikleri

Elastik Modülü	190 Gpa
Poisson Oranı	0.29
Yoğunluk	8000 Kg/M ³
Akma Gerilmesi	207mpa
Çekme Gerilmesi	517 Mpa

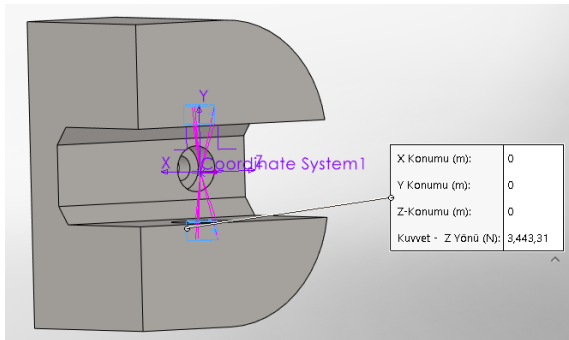
Modelin topoloji optimizasyonu yapılmadan önce mukavemet özellikleri statik analiz yapılarak incelenecektir. Model destek parçası üzerinde yer alan 3 adet bağlantı noktasından sabitlenmiştir.



Şekil 4: Modelin 3 Delik Yüzeyinden Mentеше Sabiti Yapılması

Khode, Patil ve ark., yaptığı çalışmada araç brüt ağırlığı $R=1350$ Kg (yolcu ve aksesuar ağırlığı dikkate alındığında) Newton cinsinden toplam ağırlık $W=1350 \times 9,81=13243$ N olmak üzere motorun ön tarafa montajından dolayı ağırlığın %52'si ön aks tarafından alındığı varsayılmaktadır. Kalan %48 ağırlık arka aks tarafından alındığı kabul edilmiştir (Khode ve diğ., 2017). Bu nedenle ön aks üzerindeki ağırlık (F_1) = $0,52 \times 13243,5=6886,62$ N. Her bir ön tekerlekteki tepki kuvveti, $R_w = \text{Ön ağırlık aks}/2 = 6886,62/2=3443,31$ N olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışmada destek parçasına etki eden kuvvet değeri $3443,31$ N olarak referans alınmıştır. Şekil 5'te gösterilmiştir.



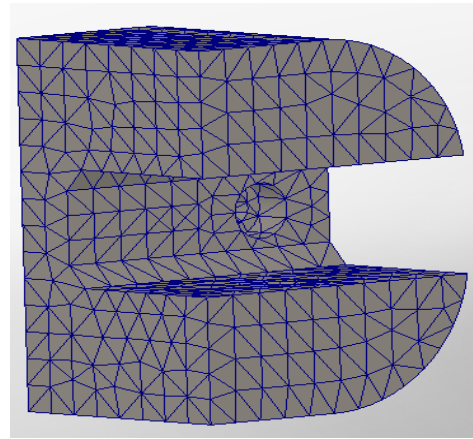
Şekil 5: Modelin Birbirine Paralel 2 Delik Yüzeyinden Eksen Takımıyla Kuvvet Uygulanması

Şekil 6'da mesh detayları gösterilmiştir.

Etüt adı	Static 5* (-Topology Study-)
DetaylarMesh tipi	Kati Mesh
Kullanılan Meshleyici	Standart
Otomatik Geçiş	Kapalı
Mesh Otomatik Döngülerini Ekle	Kapalı
Yüksek kaliteli mesh için jakoben noktalar	16 nokta
Eleman boyutu	7,62767 mm
Tolerans	0,381383 mm
Mesh kalitesi	Yüksek
Toplam düğüm	9934
Toplam eleman	6156
Maksimum En Boy Oranı	6,5491
En Boy Oranı < 3 olan elemanların yüzdesi	98,5
En Boy Oranı > 10 olan elemanların yüzdesi	0
Şekli bozulmuş elemanların yüzdesi	0
Bozulmuş eleman sayısı	0
Mesh tamamlama süresi (sa:dk:sn)	00:00:01
Bilgisayar adı	RKARAN

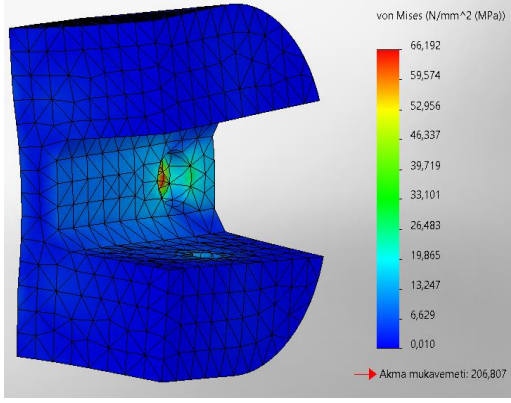
Şekil 6: Mesh Detayları

Tetrahedron mesh tipi ile model analizi gerçekleştirilmiştir. Şekil 7'de model mesh yapısı gösterilmiştir.

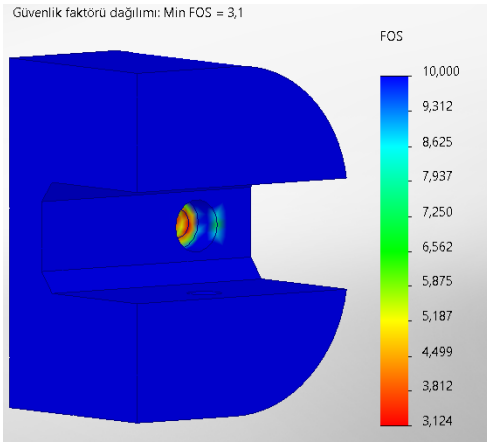


Şekil 7: - Model Mesh Yapısı

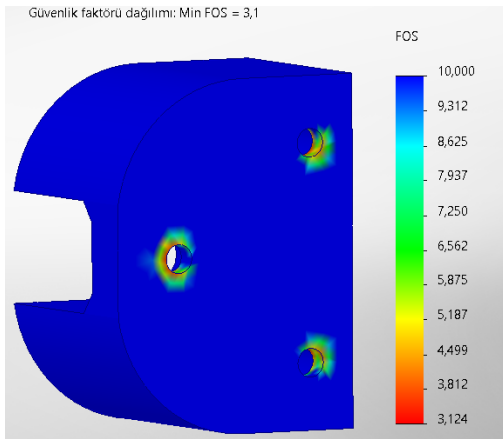
Model bu koşullar altında statik-mukavemet analizi yapıldığında Maksimum Von-Mises Gerilmesi $66,2$ MPa ölçülmüştür. AISI 304 çelik malzemesinin akma mukavemeti $206,8$ MPa'dır. Şekil 8'de gerilme değerleri gösterilmektedir. Bu sonuçlar ile model yaklaşık $3,12$ kat güvenli çıkmaktadır. Şekil 9 ve Şekilde 10'da güvenlik faktörü (emniyet katsayısı) gösterilmiştir.



Şekil 8: Model Von-Mises Gerilme Değerleri

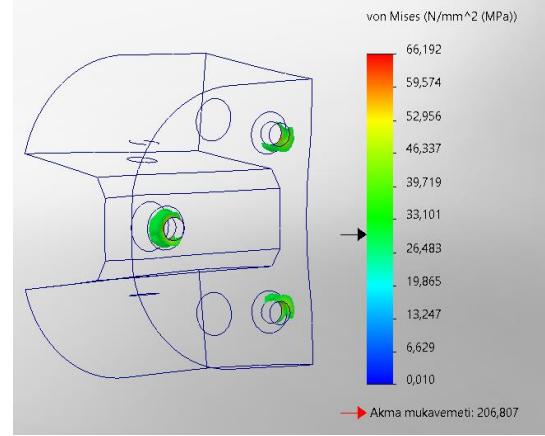


Şekil 9: Güvenlik Faktörü Dağılımı

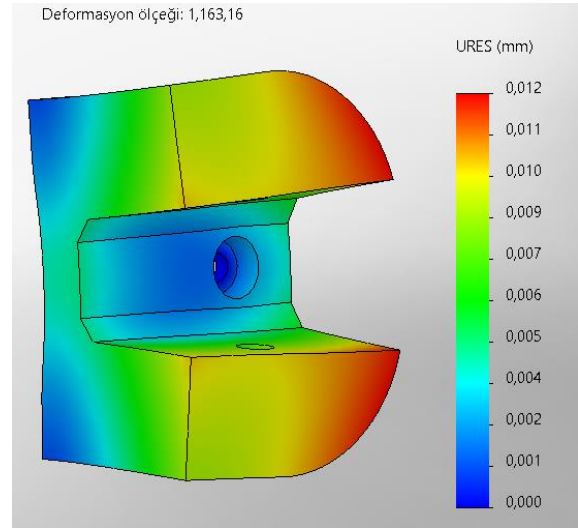


Şekil 10: Güvenlik Faktörü Dağılımı

Modelin büyük bir kısmında gerilme değerleri düşük çıkmıştır. En yüksek gerilme değerleri modelin mesnetlendiği deliklerde ortaya çıkmaktadır. Bu değerleri gerilme değer grafiğinde izo kırpmayla daha rahat görmek mümkündür. Şekil 11'de söz konusu gerilme değerleri gösterilmektedir

Şekil 11: Model Bölgesel Gerilme Değerleri
30MPa'dan Yüksek Gerilmeler

Statik analiz ile birlikte modelin aynı zamanda deformasyon değerleri de gözlemlenmiştir. Modelde oluşan en yüksek toplam deformasyon değeri 0,012mm'dir. Şekil 12'de bu değer gösterilmektedir.



Şekil 12: Model Toplam Deformasyon Değerleri

2.3. Direksiyon Destek Parçası Topoloji Optimizasyonu

Topoloji optimizasyonunda başlangıçta belirlenen kısıtlamalar göz önünde bulundurularak optimizasyon gerçekleştirilir. Program içerisinde emniyet katsayısı, doğal frekansı ve minimum ağırlık gibi kısıtlamalar yer almaktadır. Modelde yapılan boşaltma işlemleri ile

birlikte optimum tasarımlar ortaya çıkmaktadır. (Düzcan, 2019).

Optimizasyon çalışması sonucunda ortaya çıkan model belirlenen sınır koşulları sağlamak zorundadır. Modelin hesaplanmasında sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Analizin çözümlenebilmesi için ilgili malzemenin mekanik özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Elastisite Modülü, yoğunluk ve Poisson oranı malzemenin mekanik özellikleridir. (Aslan, 2019)

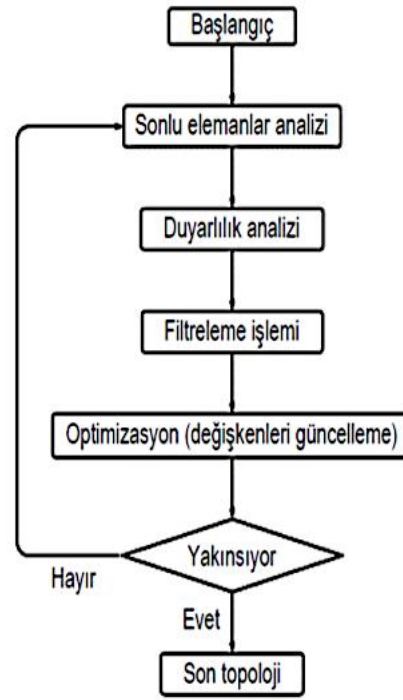
Topoloji optimizasyonunu geliştirmek için bazı etkin metotlar sunulmaktadır. Bunlardan bazıları aşağıdaki sıralanabilir (Göv ve Kütük, 2007), (Aslan, 2019).

- Optimizasyon Kriterleri Metodu (OCM)
- Penalizasyon ile Katı İzotropik Malzeme Metodu (SIMP)
- Seviye Kümesi Yaklaşımı (LSA)
- Homojenleştirme Metodu (HM)
- Evrimsel Yapı Optimizasyonu (ESO)

Bu çalışmada SIMP metoduna göre topoloji çalışması yapılmıştır.

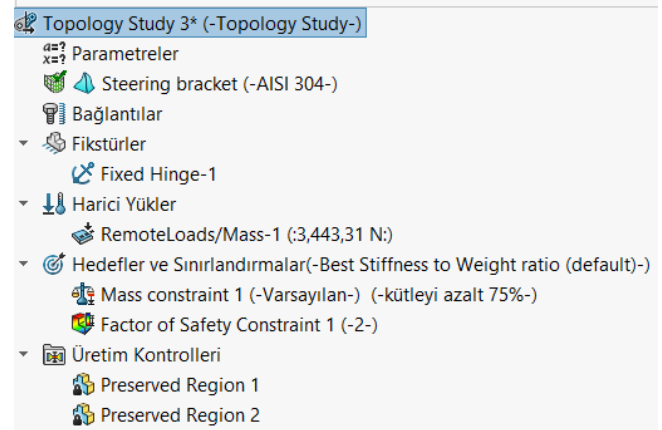
SIMP ile optimizasyon problemini çözmenin yoğunluk ve homojenleştirme yöntemi gibi iki ana çözüm yolu bulunmaktadır (Hatipoğlu, 2015).

Şekil 13'de (SIMP metodu) topoloji optimizasyonu işlem basamakları görülmektedir.



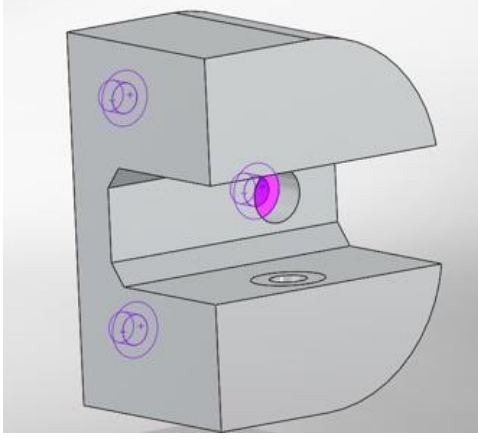
Şekil 13: Topoloji Optimizasyonu İşlem Basamakları (SIMP Metodu) (Topaç ve diğ., 2017)

Bölüm 2.2'de direksiyon destek parçasının yüksek mukavemet ve düşük sehim değerlerine sahip olduğu irdelenmiştir. Bu bağlamda modelin daha hafif ve küçük ebatlı tasarlanabilir olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumdan yola çıkarak destek parçasında topoloji optimizasyonu yöntemi uygulanmıştır. Güvenlik katsayısı 2, %75 oranında kütle azaltma hedefi belirlenerek analiz gerçekleştirilmiştir. Şekil 14'de Topoloji Optimizasyonu sınır koşulları gösterilmektedir



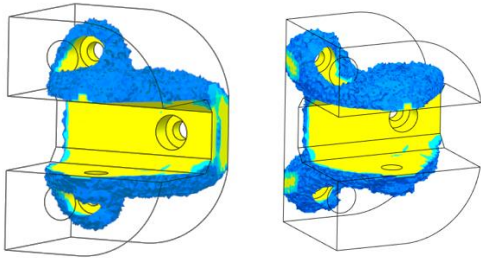
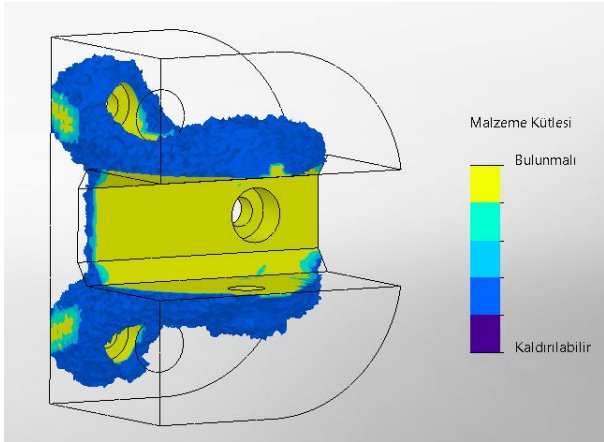
Şekil 14: Topoloji Optimizasyonu Sınır Koşulları

Sabitlenen bölgelerde herhangi bir şekilde sadeleştirme işleminin yapılmaması için bu bölgelerin seçimi yapılarak korunması gerektiği programa belirtilmiştir. Şekil 15'te korunan bölgeleri gösterilmiştir.



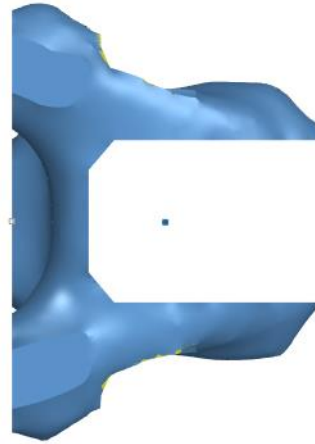
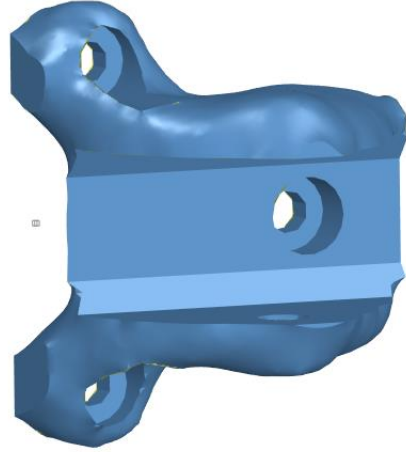
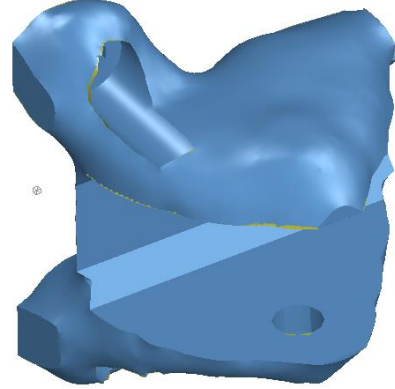
Şekil 15: Modelde Korunan Bölgeler

Belirlenen bu sınır koşulları neticesinde topoloji optimizasyonu ile belirlenen hedeflere ulaşılmış olup Şekil 16'deki gibi bir model ortaya çıkmıştır.



Şekil 16: Topoloji Optimizasyonu Sonucu Model Kalan ve Çıkarılabilir Bölgeler

2.3. Direksiyon Destek Parçası Son Tasarımı ve Statik Analizi

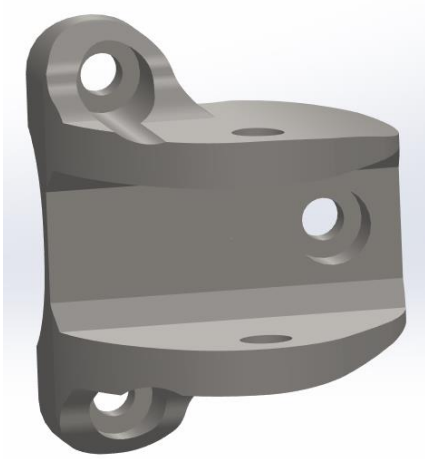


Şekilde 17: Topoloji Optimizasyonu Sonucu Elde Edilen Model Çalışması

Topoloji optimizasyonu sonucunda oluşan model, mesh data (STL) olarak kayıt edilebilmektedir. Bu model Geomagic for SOLIDWORKS programı

sayesinde katı model çalışması yapılacaktır. Şekilde 17'de topoloji sonrası elde edilen model gösterilmiştir.

Topoloji sonuçlarına göre model yeniden tasarlanmıştır. Şekil 18'de yeniden tasarlanmış halini gösterilmiştir.



Şekil 18: STL Modelden CAD Tasarımı Oluşturulması

Şekil 19'da yeni tasarlanan modelin kütleli özellikleri gösterilmiştir.

Mass properties of Parça8
Configuration: Varsayılan
Coordinate system: -- default --
Density = 0.01 grams per cubic millimeter
Mass = 577.90 grams
Volume = 72237.80 cubic millimeters
Surface area = 21797.75 square millimeters
Center of mass: (millimeters)
X = 0.95
Y = 0.01
Z = 3.35

Şekil 19: Yeni Tasarlanan Modelin Kütleli Özellikleri

Şekilde 20'de ilk modelin kütleli özellikleri gösterilmiştir.

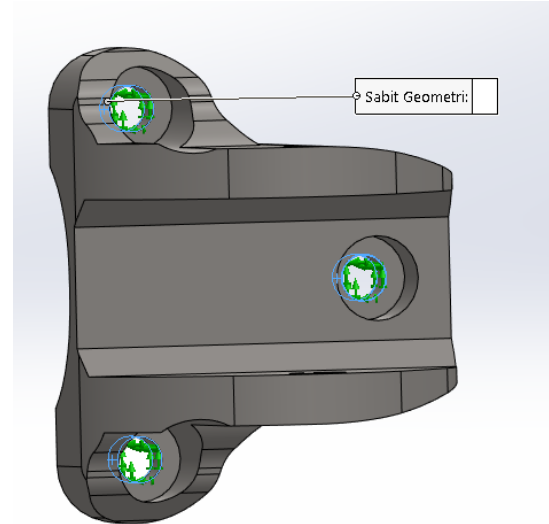
Mass properties of Steering bracket
Configuration: Topology Study
Coordinate system: -- default --
Density = 0.01 grams per cubic millimeter
Mass = 2332.47 grams
Volume = 291559.18 cubic millimeters
Surface area = 40650.67 square millimeters
Center of mass: (millimeters)
X = 27.61
Y = 0.00
Z = -29.47

Şekil 20: İlk Modelin Kütleli Özellikleri

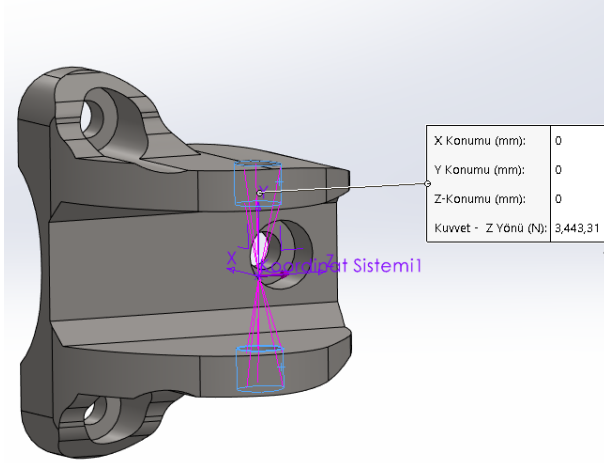
Topoloji optimizasyonu sonrası tasarlanan model 2 kat emniyetli ve %75 oranında ilk modele göre hafif olduğu gözlemlenmiştir.

Yeni model üzerinden aynı şekilde statik analiz gerçekleştirilip beklenen değerleri gösterip göstermediği irdelenmiştir.

Model aynı sınır koşulları ve AISI 304 çelik malzemesi ile statik analize tabi tutulmuştur. Şekil 21'de sınır koşulları gösterilmiştir.

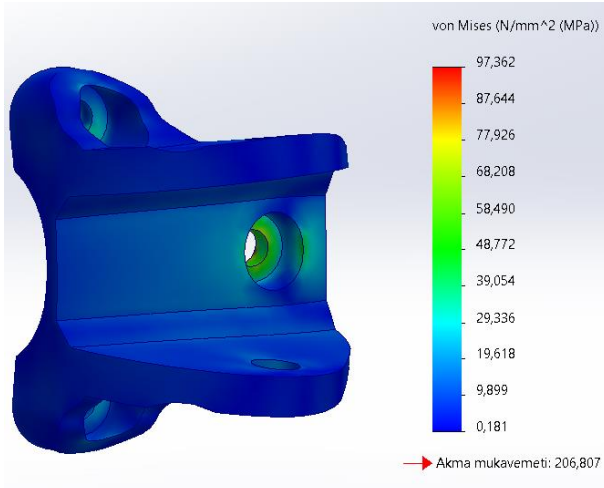


Şekil 21: Model Sabitlenen Bölgeleri



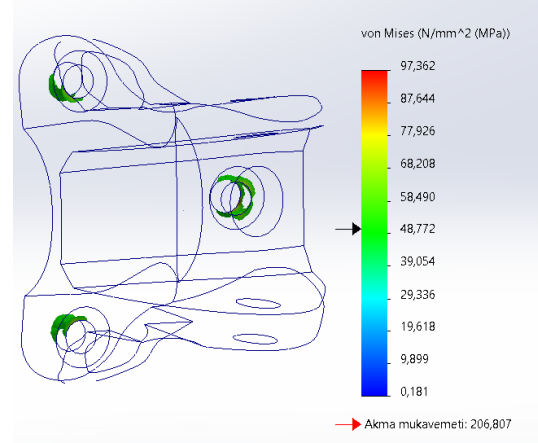
Şekil 22: Yeni Model Kuvvet Sınır Koşulu

Belirlenen sınır koşullar altında statik analiz çözdürüldüğünde modelde oluşan maksimum Von-Mises gerilme değeri 97,3 MPa ölçülmüştür. AISI 304 çelik malzemesinin akma mukavemeti 206,8 MPa'dır. Bu değerler birbirine oranlandığında güvenlik katsayısı 2.12 çıkmakta olup topoloji optimizasyonu mukavemet verileri doğrulanmıştır. Model gerilme değerleri Şekil 23'te gösterilmiştir.



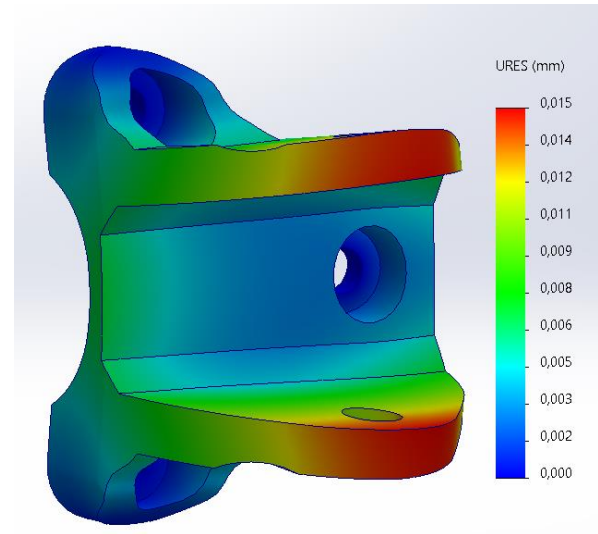
Şekil 23: Yeni Model Von-Mises Gerilme Değerleri

Yeni modelde eski modele benzer şekilde mesnetlenen delik yerlerinde yüksek gerilmeler çıkmıştır. İlgili değerler izo kırpmaya metodu ile gözlemlenebilmektedir. Şekil 24'de bölgesel gerilme değerleri gösterilmiştir.

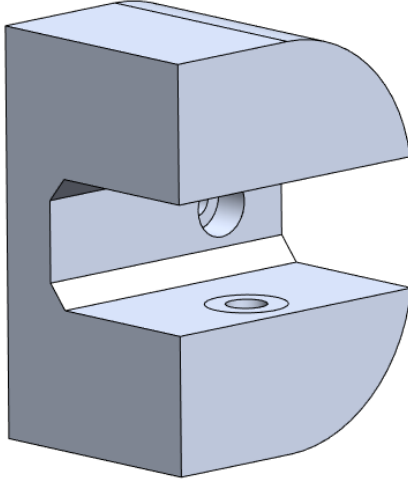


Şekil 24: Yeni Model 50 MPa Üstünde Olan Von-Mises Gerilme Değerleri

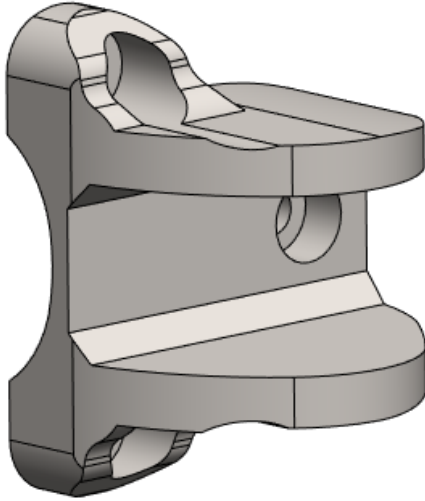
Yeni model deformasyon değerleri düşük çıkmıştır. En yüksek toplam deformasyon değeri 0,015 mm ölçülmüştür. Şekil 25'te toplam model deformasyonu gösterilmiştir.



Şekil 25: Yeni Model Toplam Deformasyon Değerleri



Şekil 26: Destek Parçasının İlk Hali



Şekil 27: Tasarlanan Destek Parçasının Son Hali

Tablo 2’de topoloji optimizasyonu yapılan modelin optimizasyon öncesi ile karşılaştırması yer almaktadır.

Tablo 2: İlk Model ile Tasarlanan Modelin Karşılaştırması

	Topoloji Öncesi	Topoloji Sonrası
Model Ağırlık (Gr)	2332,5	577,9
Emniyet Katsayısı	3,12	2,12
Yer Değiştirme (Mm)	0,012	0,015

Yapılan çalışmalar sırasında yer değiştirmeler birbirine yakın değerler gözlenmiştir. Tablo 2’de bu değerler gösterilmiştir.

Destek parçasının ilk ve son hali Şekil 26 ve Şekil 27’de gösterilmiştir.

3.Sonuç

Bir araç süspansiyon modeli tasarımı ele alınarak bu montaj tasarımı içindeki direksiyon destek parçası (Steering Knuckle) için topoloji optimizasyonu methodu yapılmıştır. Modelin ilk hali statik analiz testine tabi tutularak belirlenen kütle ve mukavemet hedefleri doğrultusunda topoloji çalışması yapılarak yeni model elde edilmiştir.

Topoloji optimizasyonu çalışmasında modelin 2 kat emniyetli olması ve %75 ağırlık azaltma koşulu sınır koşul olarak verilmiştir. Elde edilen yeni model statik analiz testine tabi tutularak topoloji optimizasyonu çalışmasında elde edilen verilerin doğrulanması sağlanmıştır.

Tasarım için SOLIDWORKS CAD ve Geomagic for SOLIDWORKS programları kullanılmıştır. Geomagic for SOLIDWORKS programı STL dosyalarında çalışmada kolaylık sağlamaktadır. Statik analiz ve topoloji optimizasyonu için SOLIDWORKS Simulation Professional programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kaynaklar

Türkay, M. 2018. Optimizasyon modelleri ve çözüm metodları.<http://home.ku.edu.tr/~mturkay/indr501/Optimizasyon.pdf> (Erişim tarihi: 12.03.2019)

Düzcan Y.2019. Yapısal Optimizasyon Teknikleri İle Taşıt Süspansiyon Bileşenlerinin Geliştirilmesi, Yüksek Lisan Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Bursa.

- Krishna, M. M., Anderson, S. V. 2000. Shape optimization application in upper control arm design. SAE technical paper, No. 2000-01-3445. <https://doi.org/10.4271/2000-01-3445>
- Lee, S., Lee, D., Lee, J., Han, C., Hedrick, K. (2007). Integrated process for structural – topological configuration design of weight-reduced vehicle components. *Finite Elements in Analysis and Design* 43, 620-629.
- Pan, X. Y., Zonni, D., Chai, G. Z., Zhao, Y. Q., & Jiang, C. C. 2007. Structural optimization for engine mount bracket. SAE Technical Paper. No. 2007-01-2419. <https://doi.org/10.4271/2007-01-2419>
- Bölükbaş, T. 2012. Otobüslerde kullanılan arka çeki kancası taşıyıcı yapısının optimum tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Gebze.
- Khode, S., Patil, N., ve Gaikwad, B. (2017). Design Optimization of a Lower Control Arm of Suspension System in a LCV by using Topological Approach. *International Journal of Innovative Research in Science*. Maharashtra
- Aslan, B. (2019). Yenilikçi Tasarım Yöntemleri Kullanarak Eklemeli İmalata Yönelik Optimum Ürün Geliştirilmesi. Bursa: Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
- Göv, İ., ve Kütük, M. A. (2007). Topoloji Optimizasyonunda Eleman Silme Metodunun Uygulanması. *XV. Ulusal Mekanik Kongresi*, (s. 438-446). Isparta.
- Hatipoğlu, M. (2015). Topology Optimization Method And Automotive Bracket Optimization. İstanbul: İstanbul Technical University Department of Mechanical Engineering.
- Topaç , M. M., Bahar, E., Kaplan, A., ve Sarıkaya, E. Z. (2017). Topoloji Optimizasyonu Yardımıyla, Askeri Taşıt Bağımsız Ön Süspansiyonu için Alt Salıncak Tasarımı. *İdefis 2017*. Uluslararası Savunma Sanayi II. Sempozyumu.