

**TC**  
**MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ**  
**Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi**

Yıl: 2017  
Sayı:24

**CİLT II**  
**SOMA**



TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

**Sahibi:**

Yrd. Doç. Dr. Ayla TEKİN  
Yönetim Kurulu Adına  
MCBÜ Soma MYO

**Editörler:**

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ  
Yrd. Doç. Dr. Ayla TEKİN  
Öğr. Gör. Fırat TEKİN

**Yayın Kurulu:**

Prof. Dr. Deniz MAMUREKLİ  
Yrd. Doç. Ayla TEKİN  
Öğr. Gör. Fırat TEKİN  
Öğr. Gör. Erkan HAFIZOĞLU

**Sekreter:**

Öğr. Gör. Fatih SUVAYDAN

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma MYO Teknik Bilimler  
Dergisi yılda iki sayı olarak yayımlanan ulusal hakemli bir dergidir.**



TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi

**BU SAYIDAKİ HAKEM KURULU:**

Prof. Dr. Oğuz BAYRAKTAR  
Prof. Dr. Uğur ÇAM  
Prof. Dr. Mehmet Erkan KARAMAN  
Prof. Dr. Hulusi KARGI  
Prof. Dr. Ramazan YAMAN  
Prof. Dr. Ümran ESENDEMİR  
Yrd. Doç. Dr. Ali Murat ATEŞ  
Yrd. Doç. Dr. Selda KAYRAL  
Yrd. Doç. Dr. İbrahim AYDIN  
Yrd. Doç. Dr. Okan ÜNAL  
Yrd. Doç. Dr. Saim KURAL  
Yrd. Doç. Dr. Hilal Betül Kaya AKKALE  
Yrd. Doç. Dr. Mustafa Berkant SELEK  
Yrd. Doç. Dr. Mehmet Necdet YILDIZ

**Dergide yayınlanan tüm makaleler ve ileri sürülen görüşlerde, sorumluluk yazar ve hakemlere aittir.**

**İletişim Adresi:**

Fırat TEKİN  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Soma Meslek Yüksekokulu, Soma-Manisa /TÜRKİYE  
Tel: 0 236 612 00 63  
Fax: 0 236 612 20 02  
e-mail: [somamyo-dergi@cbu.edu.tr](mailto:somamyo-dergi@cbu.edu.tr)  
[firat.tekin@cbu.edu.tr](mailto:firat.tekin@cbu.edu.tr)



TC  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi  
**İÇİNDEKİLER**

**1- Basics of Heat Exchanger Thermal Design Methodology**

Anıl BAŞARAN, Ali YURDDAŞ.....1-12

**2- Karahayıt (Denizli) Yerleşim Alanındaki Açılma Çatlaklarının İncelenmesi ve Tektonik - Paleosismolojik Yorumlaması**

Mete HANÇER, Erdal AKYOL.....13-28

**3- AA2024 Alüminyum Alaşımında Bilyeli Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisi**

Zehra ALKAN, Remzi VAROL, Ramazan SELVER.....29-38

**4- Soğuk Haddelenmiş Ticari Alüminyum Levhaların Yorulma Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini**

Raif SAKİN, Ayla TEKİN, Nurcan KUMRU.....39-49

**5- Akyaka (Muğla) ve Yakın Dolayındaki Fayların Depremsellik Bakımından İncelenmesi**

Mete HANÇER, Fırat TEKİN.....50-62

**6- Kablo Terminal Çıkarma Aparatlarının İleri Teknolojiler ile Yerli Üretimi**

İsmet ÇELİK, Bünyamin KAYA, N. Çağatay ÜSTÜNDAĞ.....63-73

**7- Tek Serbestlik Dereceli Robot ile Balance Master Test Cihazında Denge ve Performans Ölçümü**

Tolga OLCAY, Ata ELVAN, Cihan DAYANGAÇ, Ahmet ÖZKURT, İbrahim Engin ŞİMŞEK .....74-81





**8- Fenolik Bileşiklerin Enkapsülasyonu**

Eylem Atak , Esmâ Yıldız , Mehmet Emin Uslu.....82-92

**9- Ağaçtaki Kirazın Tespit Edilmesi**

Kemal BERKİ, Kadir ARTAN. Mustafa ORHAN .....93-104

**10- Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu**

**Teknik Bilimler Dergisi Yazım Kuralları.....105-106**



## BASICS OF HEAT EXCHANGER THERMAL DESIGN METHODOLOGY

Anıl Başaran<sup>1</sup>, Ali Yurddaş<sup>2</sup>

### ABSTRACT

The present study illustrates certain practical aspect of thermal design of heat exchangers for industrial applications. In general heat exchanger design is made for a special industrial application with its own features. These features of the industrial applications introduce some limitations and problems in the design procedure of heat exchanger. Main purpose of heat exchanger design is to provide solutions to these limitations and problems. Determination of thermal performance of new or existing heat exchanger is the problem commonly encountered in industry. Determination of the heat transfer performance of heat exchangers can be basically defined thermal design of the heat exchanger and is the computational process. Recognizing of basics of thermal design methodology in detail is of great importance in heat exchanger design with regard to making versatile and cost-effective industrial applications. In this respect, the basics of thermal design heat exchangers has been accentuated in this study. With the detailed calculation procedure, the paper provide information about various design approach to define thermal performance of heat exchangers.

Keywords: Thermal design, LMTD method,  $\epsilon$ -NTU method, P-NTU method

## ISI EŞANJÖRÜ ISIL TASARIM METODOLOJİSİNİN TEMELLERİ

### ÖZET

Bu çalışma, endüstriyel uygulamalar için ısı değiştirici ısı tasarımının pratik yönünü ele almaktadır. Genel olarak bir ısı değiştirici tasarımı, kendine has özelliklere sahip özel bir endüstriyel uygulama için yapılmaktadır. Endüstriyel uygulamaların kendine has bu özellikleri, ısı değiştirici tasarım aşamasında bazı sınırlamaları ve problemleri ortaya çıkartmaktadır. Isı değiştirici tasarımının başlıca amacı, bu sınırlamaları ve problemleri ortadan kaldırmaktır. Yeni veya var olan bir ısı değiştiricinin ısı performansının belirlenmesi, endüstride sıklıkla karşılaşılan bir durumdur. Isı değiştiricilerin ısı aktarım performansının belirlenmesi temelde ısı değiştiricilerin ısı tasarımı olarak tanımlanabilmektedir ve bu süreç hesaplamaya dayanan bir süreçtir. Isıl tasarım metodolojisinin temellerini ayrıntılı olarak bilmek, verimli ve maliyet etkin bir endüstriyel sistem ortaya koymak açısından önem arz etmektedir. Bu kapsamda, bu çalışmada ısı değiştiricilerin ısı tasarımları üzerinde durulmuştur. Ayrıntılı hesaplama yöntemleri ile bu çalışma, ısı değiştiricilerin ısı performanslarının belirlenmesi için çeşitli tasarım yaklaşımları hakkında bilgi sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Isı tasarım, LMTD yöntemi,  $\epsilon$ -NTU yöntemi, P-NTU yöntemi

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Şehit Prof.Dr. İlhan Varank Kampüsü- Yunusemre-Manisa- Tel: 0(236) 201 23 82-e-mail: [anil.basaran@cbu.edu.tr](mailto:anil.basaran@cbu.edu.tr) \*iletişimden sorumlu yazar.

<sup>2</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Şehit Prof.Dr. İlhan Varank Kampüsü- Yunusemre-Manisa- Tel: 0(236) 201 23 79-e-mail: [ali.yurddas@cbu.edu.tr](mailto:ali.yurddas@cbu.edu.tr)

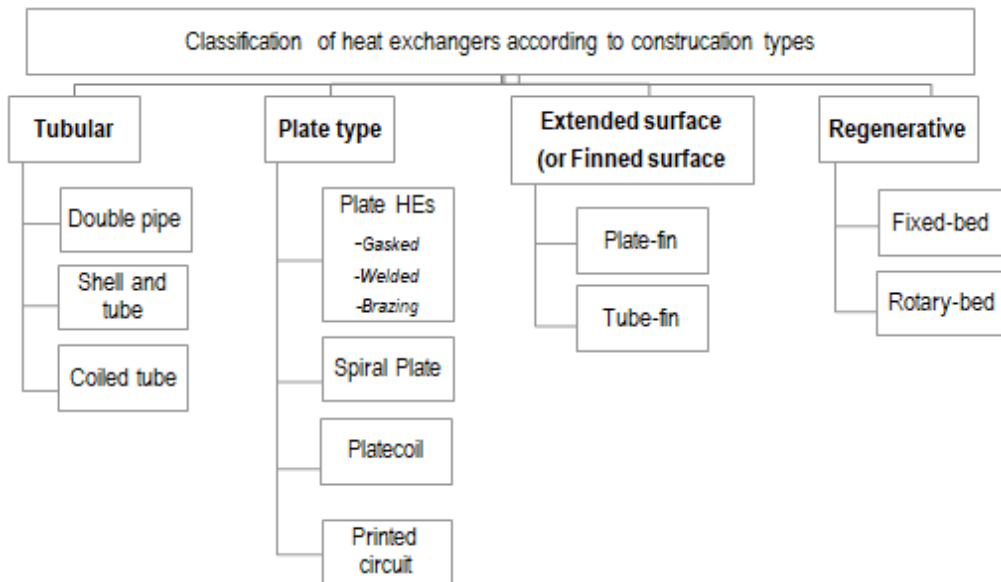
## 1. INTRODUCTION

Environment includes many heat transfer process such as weather cycles and energy exchange between ecosystems. Heat exchange is a natural phenomenon occurring throughout our environment. Controlling over dynamics of heat transfer between two or more fluids has been main focus of industry. Heat exchangers allow operate the dynamics of heat transfer process and are used in widespread applications, such as energy (geothermal, solar, nuclear, co-generation, heat machine/pump, waste heat recovery, power plants, waste water cooling), food processing (oil heating/cooling, juice heating/cooling, sugar processing, protein processing, prepared food, dairy and pasteurization, food additives, beverage), electronic (cooling of electronic devices, computer manufacturing, semiconductor manufacturing, chip manufacturing), chemical process (petrochemical, inorganics, chemical process, dissolution, gasification and liquefaction, chemical reactors), healthy and pharmaceutical (conservation of blood, in morgue, operating theatre, drug and cosmetic production), aerospace ( spacecraft, aircraft, helicopters, scientific studies), residential applications (HVAC-R, refrigerators, district heating).

Nowadays, need of energy has increased in the direct proportion to World population. A great majority of needed energy has been met fossil fuels currently. Fossil fuels usage around the world leads to some environmental problems such as global warming, pollution, ozone depletion. Therefore, productive, correct and wise use of energy resources gain importance in both modern life activities and industrial activities. One of the reasons to usage of heat exchanges is desire of productive and wise use of energy in industry. Therefore, making a correct and versatile heat exchanger design become more of an issue in terms of ascertainment energy efficient industrial applications.

There are innumerable heat exchanger designs in use to meet the numerous heat transfer requirements. Such design can be classified in great number of different ways. Heat exchangers in industrial applications have generally classified according to construction, compactness, transfer process, flow configurations, pass arrangements, heat transfer mechanism and phase of fluids. However, industrial heat exchangers have commonly classified according to geometry of construction. A broad classification of heat exchangers based on their construction is given in Fig. 1. Heat exchangers are generally characterized four major construction type according to the construction geometry: tubular, plate, extended surface and regenerative exchangers (Gupta, 1986). A large variety of heat exchanger designs are available as described in Fig. 1. Meanwhile, there are numerous variable linked with heat exchanger design such as geometrical variables, construction materials properties, operating conditions, size and cost of the heat exchanger. The heat transfer enhancement techniques can be added in these variables (Gupta, 1986). The question involving the selection of the appropriate heat exchanger design for given application appear at this point. It needs to be emphasized that the selection of the heat exchanger design for a given application are of importance in industry in terms of making fertile and cost-effective systems.

It is known that, in industries, heat exchangers are generally characterized and selected as a suitable heat transfer device for applications according to their designs. Therefore, in this study, thermal design of heat exchangers is handled and reviewed. It is aimed to present detailed information about thermal design methodology of heat exchangers in order to make productive and cost effective heat exchanger designs.



**Figure 1-** Classification of heat exchangers according to construction type

### 1.1. Historical background of heat exchanger designs

Efforts to understand what is heat dates back to ancient times. The ancients had the opinion that heat was relevant to fire. After the centuries, in 1761, Scottish chemist Joseph Black (1728-1799) who was the first modern chemist suggest that heat flow like a fluid. In 1789, French chemist Antoine Lavoisier (1743-1794) firstly explained the transfer of heat and formulized the heat-fluid concept into called caloric theory. The caloric theory suggests that caloric was a colorless, massless, tasteless and odorless substance which can be moved from one body to another. Also, the caloric theory asserts that the motion of caloric to a body increased the temperature, and the loss of calorics decreased the temperature correspondingly. American Benjamin Thompson (1753–1814) presented in his papers in 1798, that heat can be generated continuously through friction. But, in 1843, the attentive experiments made by Englishman James P. Joule (1818–1889) eventually convinced the skeptics that heat was not a substance after all, and so lay the caloric theory to rest. In the 19th century the kinetic theory which states that energy or heat is created by the random motion of atoms and molecules put all other theories to rest (Theodore, 2011)(Nagengast, 2011).

The earliest heat exchanger was stones. Ancient people used stones for the heat transport from hot springs to indoor air. The large part of early equipments from the point of view heat transfer equipments involved the transfer of heat across pipes. The history of utilization of pipes for various purposes dates back to the Roman Empire at first, pipe systems was made of the materials like stone and wood, and gravity was the driving force of fluid. Various developments have been made to the piping system over time. The pipes have progress in many aspects such as shape, size, material, etc. and nowadays they are made from different materials such as metals and plastic, and even glass for some applications, with different diameters and wall thicknesses. Over the past several hundred years' copper pipes and copper alloys used in heat exchangers design have evolved associated with heat transfer technologies.

In 1769, copper tubes were first used as condenser for steam engines. The first regenerator was invented by Robert Stirling in 1816, and is commonly found as a component of his Stirling engine. In 1863 Robert Briggs and Joseph Nason patented a new design which is vertical wrought iron tubes screwed into a cast iron base, thus they firstly introduced radiators. In 1874, the first popular cast iron radiator was invented by Nelson. The cast iron segmental radiators have become very common by the 1880s (Gulben, 2011). Plate heat exchanger was first patented by Albrecht Darche in Germany, in 1878. In 1890s, plate heat exchangers were improved by Langen and Hundhausen as device which transfers heat between two fluids have different temperature throughout plane and square plates (Saari, 2001). Because of that steam power plants, steam generators, and locomotives and ships powered by steam became common at the beginning of 20th century, heat exchangers which were important components of these systems developed rapidly. Afterwards, the rapid growth of petrochemical and petroleum industries began to require durable and large-scale heat exchangers for various processes. The main forms of the numerous heat exchangers used today were improved and bettered between 1920 and 1950. These heat exchangers still remain the choice for most process applications (Nagengast, 2011). Increasing energy cost due to the energy crisis of 1970s and being competitions between firms obligate to design more efficient heat exchangers. Especially after 1980s, efforts of designing of new efficient heat exchanger increased with research funds in the matter of heat exchanger design. These efforts have already continued in these days when energy is precious.

## **2. MAIN OBJECTIVES OF HEAT EXCHANGER DESIGN**

Every heat transfer application requires different type equipments and different configurations of heat transfer device. The essaying to meet the heat transfer requirements within the specified restriction with the heat transfer equipments has led to numerous types of heat exchanger designs (Theodore, 2011). Proliferation of heat exchangers utilization in widespread applications and industries put forward requirement of new heat exchanger designs or of enhancing available heat exchanger designs. Designing of heat exchanger primarily include all the necessary information to feature on demand of heat exchanger, objectives of heat exchanger usage, operating conditions and working fluids. In the heat exchanger design, there are worthy of notice parameters such as types, flow rates, thermo-physical properties, inlet and outlet temperatures, fouling characteristics of working fluids, types, heat load, number of passes, allowable pressure drop, maximum operating pressure of heat exchanger and temperature, pressure, moisture context of operating environment. These parameters can be classified as limiting parameters which restrict selection of heat exchanger, unalterable parameters necessary to achieve objectives of heat exchanger usage and alterable parameters preferred for applications (Puttevar and Andhare, 2015). Among the parameters heat transfer, pressure losses, efficiency and cost of heat exchanger are vital parameters in terms of heat exchanger design. In many industries, the designing and thermal rating of heat exchanger are carried out in order to reduce cost, material and energy consumption and to obtain maximum heat transfer. The main challenge in heat exchanger design is to make it compact, to get maximum heat transfer in minimum space and to get minimum pressure drop (Shah and Sekulic, 2003). In terms of energy saving with increasing heat exchanger effectiveness, the most effective methods are to enhance heat transfer that is primary objective of heat exchanger usage and to reduce pressure losses that is basically conducive energy consumption.

### 3. HEAT EXCHANGER THERMAL DESIGN METHODOLOGY

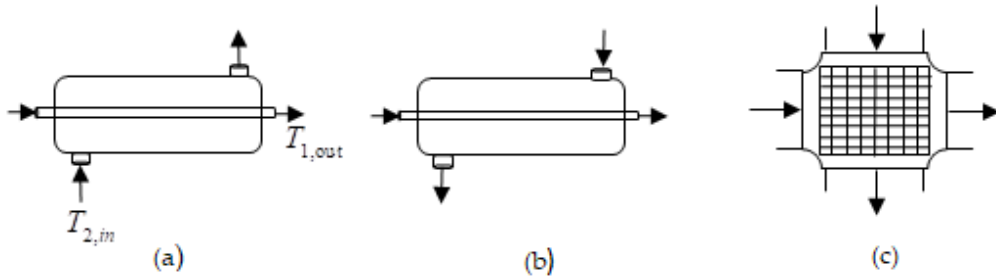
The design methodology of heat exchanger is quite complex because of that heat transfer applications have specifically design constraints and requirements. Heat exchanger design concept consist of various design considerations. One of the major design considerations is design and process specifications involve type of exchanger, flow arrangement, construction materials, operating conditions, and design/manufacturing considerations. Another major design consideration is thermal and hydraulic design which include rating which mean quantitative heat transfer and pressure drop computation and/or heat exchanger sizing. Beside this major considerations, in heat exchanger design, various considerations can be taken account according to the need of the industry: Mechanical design consideration is important to provide the mechanical unity of the exchanger during exchanger design life under steady-state or transient, startup or shutdown, part-load, and upset operating conditions. Manufacturing considerations that include manufacturing equipment considerations, processing considerations, etc. and cost estimates are made in consideration of optimized solutions acquired from thermal and mechanical design considerations data. The total cost of a heat exchanger can be categorized into three main groups: the capital, installation, operating, and sometimes also disposal costs. In heat exchanger design, trade-off analysis which developed to costs heat transfer performance, pressure drop, envelope size, weight, leakage, initial cost versus life of the exchanger for corrosion, fouling, and fatigue failures, and the cost of a one-of-a-kind design versus a design with a large production run is an important design consideration (ASHRAE, 2008).

#### 3.1. Thermal design of heat exchangers

Basically, heat exchangers can be defined as the devices that enable the heat transfer between two or more fluids that are at different temperature with mixing or without mixing each other. The heat transfer in heat exchangers is caused by temperature difference of fluids. During the heat transfer, phase change like fluid changing from liquid to vapor, vapor to liquid can be occurred or phase change do not occur. In practice, heat exchangers are designed or selected to transfer either sensible heat or latent heat. In sensible heat applications, heat is transferred from one liquid to another without phase change. Latent heat application involves phase change of one of the liquids. Heat exchangers can be considered as steady-flow device due to the fact that they generally operate without any change in operating conditions for long time periods. For many requirements of applications, heat exchangers are design various flow configurations; parallel, counter and cross flow configurations are common examples. Fig. 2 indicates schematically these flow configurations. In parallel flow configuration, fluid streams parallel to each other and in the same direction. In counter flow configuration, shown schematically in Fig. 2 (b), fluid streams are parallel to each other, but the direction of the streams is opposite. In cross flow configuration, the two fluid streams flow at right angles to each other (Kacar and Erbay, 2013).

In heat exchangers encountered in many applications, fluids are generally separated by a heat transfer surface to exchange the heat between fluids through this separating wall with no mixing of fluids each other. Such heat exchanger devices are named as direct transfer type, or recuperators (Thulukkanam, 2013). This type exchangers usually involve convection in each

fluid and conduction through the separating wall. In contrary to recuperators, in heat exchangers referred to as indirect transfer type or regenerators, heat is intermittently transferred between hot and cold fluids by the way of thermal energy storage during hot fluid passing and release during cold fluid passing through the exchanger surface or matrix. A regenerator usually composed of a heat transfer surface named as matrix and hot fluid and cold fluid periodically and alternatively flow through this matrix. Initially the hot stream surrender its



**Figure 2-** Schematic representation of (a) parallel flow, (b) counter flow, (c) cross flow heat exchangers

heat to the regenerative matrix. Then the cold stream flows through the same passage to gather the store heat given up by hot fluid (Schlinder, 1983).

During heat exchange, local temperature difference of fluid differs along the flow path due to heat exchange between two fluids flowing through heat exchanger (Roetzel et al.). The local heat transfer rate between the two streams is expressed as

$$dQ = U(T_h - T_c)dA \quad (1)$$

where  $T_h$  and  $T_c$  are the local temperatures of hot and cold streams, respectively.  $U$  is the overall heat transfer coefficient,  $A$  is the heat transfer area related to the coefficient  $U$ . The usual design problem is to determine the total area in a heat exchanger required to transfer the specified total amount of heat. The classical expression for determining the area of a heat exchanger - the thermal design problem - is defined by the fundamental equation (Thulukkanam, 2013):

$$A = \int_0^Q \frac{dQ}{U(T_h - T_c)} = \Sigma \frac{\Delta Q}{U(T_h - T_c)} \quad (2)$$

The main problems encountered in heat exchanger design are sizing of heat exchanger (sizing problem) and specifying of heat exchanger performance (rating problem). The sizing problem include the design of a new or existing type heat exchangers. In the applications in which mass flow rates of fluid streams and inlet and outlet temperatures of fluid streams are specified, the logarithmic mean temperature difference (LMTD) method is very appropriate for determining the size of a heat exchanger to perform specified outlet temperatures of fluids. The heat transfer surface area,  $A$ , is designated by the means of the LMTD method and the heat exchanger with this surface area is selected. Another problem defined as performance problem covers the determination of the heat transfer rate and the outlet temperatures of the hot and cold streams for prescribed mass flow rates and inlet temperatures. In such problems, the size and type of the heat exchanger are determined. In other words, the performance problem takes into consideration heat transfer performance of either an existing or an already sizing heat exchangers. Here the task is to determine the heat transfer performance of a specified heat exchanger or to determine if a heat exchanger available in storage will do the job (Theodore, 2011). The effectiveness-NTU ( $\epsilon - NTU$ ) or  $P - NTU$  method are suitable for the performance problems.



### 3.1.1. Mean temperature difference concept

With the logarithmic mean temperature difference method, the task is to select heat exchanger which will meet the defined heat transfer requirements. The heat transfer rate between the fluid streams can be calculated using

$$Q = UA\Delta T_{lm} \quad (3)$$

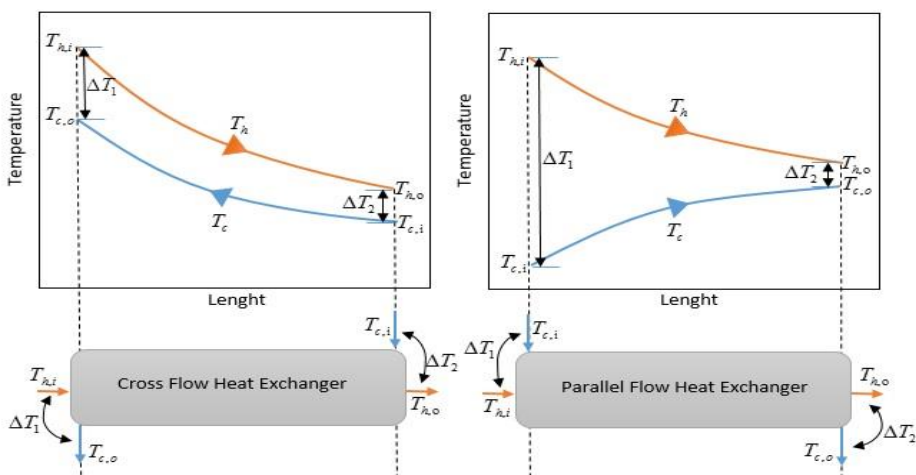
where  $U$  is the overall heat transfer coefficient,  $A$  is the heat transfer area related to the coefficient  $U$ , and  $\Delta T_{lm}$  is the convenient mean temperature difference. The logarithmic mean temperature, for a heat exchanger with the specific heat of liquids and the constant overall uniform heat transfer coefficient,  $U$  is calculated as follows;

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (4)$$

where the subscripts 1 and 2 stand for each end of heat exchanger. Therefore,  $\Delta T_1$  and  $\Delta T_2$  represent the temperature differences between the fluids at each end of heat exchanger.  $\Delta T_{lm}$  is the logarithmic mean temperature difference (LMTD) (Kacar and Erbay, 2013). Temperature distribution along the heat exchanger for parallel and counter flow configuration can be seen in Fig. 3. The logarithmic mean temperature difference defined in Eqn (4) can be only used for counter and parallel flow heat exchangers. For other flow configuration, the logarithmic mean temperature difference is also developed as Eqn (5).

$$\Delta T_{lm} = F \cdot \Delta T_{lm,CF} = F \frac{(T_{h,i} - T_{c,o}) - (T_{h,o} - T_{c,i})}{\ln\left[\frac{(T_{h,i} - T_{c,o})}{(T_{h,o} - T_{c,i})}\right]} \quad (5)$$

where  $F$  is correction factor (less than 1.0) that is applied to heat exchanger configurations that do not follow a true counter flow design. Correction factor,  $F$ , depends on heat exchanger geometry and the inlet and outlet temperatures of the hot and cold fluids. Working with an overall heat transfer coefficient, is convenient because of that it take into account conduction along the separating wall and convection in each fluid. That is why overall heat transfer coefficient is affected by the physical arrangement of the heat transfer surface area.



**Figure 3-** Temperature distribution in parallel and counter flow heat exchangers

### 3.1.2. Effectiveness: NTU concept

When the temperature of the working fluids leaving the heat exchanger are unknown, using LMTD method leads to trial and error calculation. In this case,  $\varepsilon - NTU$  method which uses certain dimension parameters that are Heat Exchanger Effectiveness ( $\varepsilon$ ), Number of Exchanger Heat Transfer Units (NTU) and Capacity Rate Ratio ( $C_r$ ) is alternatively used to avoid these trials and error calculations. In  $\varepsilon - NTU$  method, heat exchanger effectiveness  $\varepsilon$  is defined for a specified heat exchanger of any flow arrangement as a ratio of actual heat rate from the hot fluid to the cold fluid to maximum possible heat transfer rate  $q_{max}$  thermodynamically permitted (ASHRAE 2008). Effectiveness  $\varepsilon$  is a measure of thermal performance and non-dimensional.

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} \quad (6)$$

For any flow arrangement, heat transfer between two fluid stream have different temperature can be written as:

$$q = C_h(T_{h,i} - T_{h,o}) = C_c(T_{c,o} - T_{c,i}) \quad (7)$$

where  $C_h = \dot{m}_h C_{p_h}$  and  $C_c = \dot{m}_c C_{p_c}$  are heat capacity rates. To determine the maximum possible heat transfer rate, the maximum temperature difference in a heat exchanger that is the difference between the inlet temperatures of the hot and cold fluids is taken into account. The maximum possible heat transfer rate can be obtained in a counter flow heat exchanger with very large surface area and zero longitudinal wall heat conduction and the actual operating conditions (Akkoca, 2004). Therefore, the maximum possible heat transfer rate can be expressed as:

$$q_{max} = C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (8)$$

In  $\varepsilon - NTU$  method, heat transfer rate of heat exchanger became is as follow:

$$q = \varepsilon C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i}) = \varepsilon C_{min} \Delta T_{max} \quad (9)$$

when  $C_h$  is minimum, effectiveness is written as:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_h(T_{h,i} - T_{h,o})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{(T_{h,i} - T_{h,o})}{(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (10)$$

when  $C_c$  is minimum, effectiveness is written as:

$$\varepsilon = \frac{q}{q_{max}} = \frac{C_c(T_{c,o} - T_{c,i})}{C_{min}(T_{h,i} - T_{c,i})} = \frac{(T_{c,o} - T_{c,i})}{(T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (11)$$

One point worth mentioning here is that the value of effectiveness  $\varepsilon$  ranges between 0 and 1. It generally is dependent on the number of heat transfer units (NTU), the heat capacity ratio ( $C_r$ ) and the flow arrangement.

$$\varepsilon = \phi(NTU, C_r, flow\ arrangement) \quad (12)$$

Number of heat transfer units (NTU) designates the non-dimensional heat transfer size or thermal size of heat exchanger. NTU is defined as a ratio of overall thermal conductance to the smaller heat capacity (Akkoca, 2004).

$$NTU = \frac{U \cdot A}{C_{min}} = \frac{1}{C_{min}} \int_A U \cdot dA \quad (13)$$

where  $A$  is the area used to define overall coefficient  $U$ .

Basically, heat capacity ratio  $C_r$  is a ratio of the smaller to larger heat capacity rate for the two fluid streams, so that  $C_r \leq 1$ . If  $C_r$  is equal to 1, heat exchanger is considered balanced

$$C_r = \frac{C_{min}}{C_{max}} = \frac{(\dot{m}Cp)_{min}}{(\dot{m}Cp)_{max}} \quad (14)$$

$C_r$  is a heat exchanger operating parameter since it is dependent on mass flow rates and/or temperature of fluids in the heat exchanger.

### 3.1.3. Temperature effectiveness: NTU concept

$P - NTU$  method represents a variant of the  $\varepsilon - NTU$  method. The origin of this method is related to shell and tube exchangers. In order to avoid possible errors and to avoid keeping track of the  $C_{min}$  fluid side, the temperature effectiveness  $P$  is taken as a function of  $NTU$  and heat capacity rate of that side to that of the other side,  $R$ . General  $P-NTU$  functional relationship can be written as bellow (Akkoca, 2004).

$$P = \phi(NTU_t, R, flow\ arrangement) \quad (15)$$

In the  $P-NTU$  method, the heat transfer rate from the hot fluid to the cold fluid in the exchanger is expressed as

$$q = PC_t \Delta T_{max} = PC_t (T_{h,i} - T_{c,i}) \quad (16)$$

where  $P$  is the temperature effectiveness for fluid streams in heat exchangers,  $C = \dot{m}c_p$  is the heat capacity rate for fluids. In this equation, subscript  $t$  denotes fluids pass through in heat exchanger.

The temperature effectiveness of the tube-side fluid  $P$  is referred to as thermal effectiveness in the shell-and- tube heat exchanger literature and non-dimensional, similar to  $\varepsilon$ . It is defined as the ratio of the temperature rise (drop) of the tubeside fluid (regardless of whether it is hot or cold fluid) to the difference of inlet temperature of the two fluid [9,15]. According to this definition,  $P$  is given by

$$P = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \quad (17)$$

where  $t_1$  and  $t_2$  refer to tube-side inlet and outlet temperatures, respectively and  $T_1$  and  $T_2$  refer to shell-side inlet and outlet temperatures, respectively. It can be shown that

$$P_1 = P_2 R_2 \text{ and } P_2 = P_1 R_1 \quad (18)$$

In this method, heat capacity ratio,  $R$  is the ratio of the capacity rate of tube-side fluid to shell-side fluid. The heat capacity ratio is defined as

$$R = \frac{C_{tube-side}}{C_{shell-side}} = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} \quad (19)$$

Number of transfer units  $NTU_t$  is defined as a ratios of the overall conductance to the tube side fluid heat capacity rate for a shell and tube heat exchanger.  $NTU_t$  is defined as:

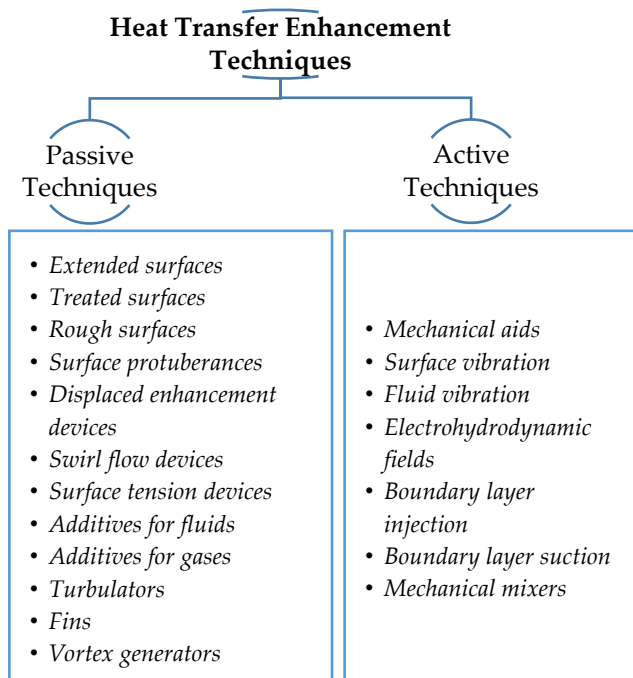
$$NTU_t = \frac{U.A}{C_{tube-side}} \quad (20)$$

### 3.2. Basics heat transfer enhancement techniques

Investigation of the ways to improve heat exchanger efficiency is an effort to create productive systems. The design procedure of a heat exchanger include consideration of both the heat transfer rates between the hot and cold fluids and the mechanical pumping power which is consumed in order to overcome pressure drop arising from fluid friction. The main design objective to create efficient heat exchanger is to obtain the highest heat transfer surface area with the least friction power expenditure. The friction power expenditure corresponds to mechanical energy in overcoming friction power generated in the heat exchanger as a result of fluid power (Koca, 2007). The most important objective in heat exchanger applications is to get closer to each other hot fluids temperature at outlet and cold fluids temperature at inlet. Meanwhile, the augmentation of convection coefficient between hot and cold fluid is the most

effective methods to ensure energy savings and to improve heat exchanger efficiency. It should be noted that the augmentation of convection coefficient with using enhancement technique can lead to increase of pressure losses. Increment of pressure losses can cause increase of construction and operation cost (Yakar, 2007)(Khaled et al.). The improvement of heat exchanger efficiency and thus energy savings can be achieved with applying enhancement technique to heat exchanger design. It is desirable with applying enhancement technique that heat exchangers are made smaller and the mechanical pumping power consumed to defeat fluid friction is reduced (Khaled et al.). As increase cost of energy and heat exchanger size, heat transfer enhancement techniques gain importance to a great extent.

The improvement of the heat transfer effectiveness of internal and external fluid flow can be achieved with heat transfer enhancement techniques. These enhancement techniques typically lead to fluid mixing by the way of increasing flow vorticity, turbulence, unsteadiness or by the way of limiting the growth of thermal boundary layer close to the heat transfer surface Heat transfer enhancement techniques may be categorized into two main methods, i.e., passive and active methods (Baysal, 2009). Passive methods are the heat transfer enhancement techniques that are given no additional external energy with the exception pumping power to heat transfer fluid. On the other hand, heat transfer enhancement in the active methods is achieved by the way of providing external energy. Principles of active and passive methods are given in Fig. 4.



**Figure 4-** Heat transfer enhancement techniques (Thulukkanam, 2013)(Koca, 2007)(Baysal, 2009)

#### 4. CONCLUSION

In this study, calculation procedure has been handled and reviewed to make thermal design of heat exchangers. One of the key factors in heat exchanger design for industrial applications is the selection of a suitable heat exchanger type. After selection, determination of the thermal performance of the selected heat exchanger play a key role in heat exchanger design.

If it is possible to determine the inlet and outlet temperatures and mass flow rates of the fluid streams in the industrial applications, the problem in design of heat exchanger is the determination of heat exchanger size that can meet to heat duty. In this type sizing problems, the logarithmic mean temperature difference (LMTD) method is very appropriate for determining the size of a heat exchanger. Heat transfer area to perform specified outlet temperatures of fluids can be calculated via LMTD method.

If it is not possible to determine the temperature of the fluid streams leaving the heat exchanger,  $\epsilon - NTU$  method is more suitable than LMTD method to calculate thermal performance of heat exchanger. The heat transfer rate and the outlet temperatures of the fluid streams for prescribed fluid mass flow rates and inlet temperatures can be determined with  $\epsilon - NTU$  method.

$P-NTU$  is alternative method to  $\epsilon - NTU$  method. The main difference of  $P-NTU$  from  $\epsilon - NTU$  method is that the temperature effectiveness  $P$  is taken as a function of  $NTU$  and heat capacity rate of that side to that of the other side,  $R$ .  $P-NTU$  method can be used to determination of the thermal performance of heat exchangers when fluid mass flow rates and inlet temperatures of fluid streams are known.

In the thermal design of heat exchangers, the heat transfer enhancement techniques can be taken consideration to make versatile heat exchanger design. Active and passive enhancement techniques gain importance to a great extent with respect to thermal design. With the enhancement methods, heat transfer between the fluid streams can be increased while pressure drop decrease. In this way, the improvement of heat exchanger efficiency and thus energy savings can be achieved in the thermal design.

#### 5. REFERENCES

- [1] Gupta JP. *Working With Heat Exchangers: Questions and Answers*. USA: Hemisphere Pub. Corp; 1986.
- [2] Theodore L. *Heat Transfer Applications for the Practicing Engineer*. Canada: John Wiley & Sons, Inc; 2011.
- [3] Nagengast. "An Early History of Comfort Heating 2001". <http://www.achrnews.com/articles/87035-an-early-history-of-comfort-heating#comments> (6.11.2011).
- [4] Gulben G. Development of a computer program for designing-Gasketed plate heat exchangers for various working conditions and verification of the computer program with experimental data (in Turkish). MSc thesis TOBB Economics and Technology University, Ankara, Turkey. 2011.

- [5] Saari J. *Heat Exchanger Dimensioning*. Lappeeranta University of Technology, LUT Energy.2001
- [6] Puttewar AS, Andhare AM. Design and thermal evaluation of shell and helical coil heat exchanger. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 416–23, 2015
- [7] Shah RK, Sekulic DP. *Fundamentals of Heat Exchanger Design*. New York: John Wiley and Sons; 2003.
- [8] ASHRAE. *ASHRAE Handbook—HVAC Systems and Equipment*. 2008.
- [9] Kaçar EN, Erbay LB. A design review for heat exchangers. *Engineer and Machinery*, 54:14–43, 2013.
- [10] Thulukkanam K. *Heat Exchanger Design Handbook*. 2. ed. Boca Raton, USA: CRC Press LLC; 2013.
- [11] Schlinder EU. *Heat Exchanger Design Handbook*. USA: Hemisphere Publishing Corporation; 1983.
- [12] Roetzel W, Heggs PJ, Butterworth D. *Design and Operation of Heat Exchangers*. EURO THERM, Springer; 1991.
- [13] Akkoca A. Computational modeling of turbulent heat transfer in plate fin and tube heat exchangers. PhD thesis. Çukuroava University, Adana, Turkey. 2004.
- [14] Koca T. Analysis of heat transfer and pressure loss in heat exchangers with both helical and rotational inner pipe (in Turkish). PhD thesis. Fırat University, Elazığ, Turkey. 2007.
- [15] Yakar G. The effect of turbulence created in fin-tube type heat exchangers with perforated fin on heat transfer and pressure drop (in Turkish). PhD thesis, Pamukkale University, Denizli, Turkey. 2007.
- [16] Khaled ARA, Siddique M, Abdulhafiz NI, Boukhary AY. Recent advances in heat transfer enhancements: A review report. *International Journal of Chemical Engineering*. 28p, 2010.
- [17] Baysal E. Experimental and numerical investigation of effects of helical turbulators in concentric tube heat exchangers (in Turkish). PhD thesis. Gazi University, Ankara, Turkey. 2009.

## **KARAHAYIT (DENİZLİ) YERLEŞİM ALANINDAKİ AÇILMA ÇATLAKLARININ İNCELENMESİ VE TEKTONİK - PALEOSİMOLOJİK YORUMLAMASI**

### **INVESTIGATION OF TENSIONAL FISSURES IN KARAHAYIT (DENİZLİ) SETTLEMENT AREA AND THEIR TECTONICAL - PALEOSEISMOLOGICAL INTERPRETATION**

**Mete HANÇER<sup>1</sup>, Erdal AKYOL<sup>2</sup>**

#### **ÖZET**

Denizli bölgesinde KD-GB yönlü tektonik açılma neticesinde KB-GD doğrultulu normal faylar ve açılma çatlakları meydana gelmiştir. Pamukkale ve Karahayit arasında çok sayıda açılma çatlağı bulunmaktadır. Tarihsel dönemlerde deprem üreten aktif Pamukkale fayı Karahayit'in doğusundan geçer. Bölgedeki çatlaklar ise bu faya paralel gelişen ve aynı açılma tektoniği ile oluşmuş yapılardır. Karahayit yerleşim alanındaki çatlaklardan 20-30 sene öncesine kadar su çıkışlarının olduğu bilinmektedir. Ancak su seviyesinin düşmesiyle çatlaklardan su akışı kesilmiş ve çatlak yüzeyleri arasındaki boşluk doğal ve antropojenik maddelerle dolmuştur. Üzerinde yapılaşmanın olduğu çatlaklar ise yapay olarak betonla kapatılmış veya parke taşı ile örtülmüştür. Yeni döşenmiş olan parkeler çatlağı kapatsa bile sırt topoğrafyası çatlağın konumunu belli etmektedir. Eski döşenmiş parke taşlarının ise çatlak hattı boyunca zaman zaman yerinden oynadığı dikkat çekmektedir. Yapılaşmanın çatlak üzerine yapılması nedeniyle çeşitli yapısal hasarlar gözlenmiştir. Bu hasarlar duvarlarda çatlaklar, bina derzlerinde açılmalar şeklinde ortaya çıkmıştır. Çatlak ve fay davranışları yapısal olarak birbirinden farklıdır. Faylar çok kısa bir zaman aralığında hareket ederek deprem üretir ve yapılarda hasar oluşur. Ancak açılma çatlakları daha uzun zaman periyodu içerisinde çok az hareket ederek açılır. Dolayısıyla üzerinde bulunan yapılardaki hasarlar daha uzun zaman içerisinde gözlenir. Bu çatlaklarda su akışının olup olmaması çatlağın hareket etmediği anlamına gelmez. Bölgedeki tektonik açılma devam ettiği sürece birer zayıflık zonu olan bu çatlaklar da açılmaya devam edecektir.

**Anahtar Kelimeler:** Fay, Çatlak, Karahayit, Tektonik açılma, Traverten, Yapısal hasar

#### **ABSTRACT**

NS-SW directional normal faults and opening cracks are found in Denizli area due to NE-SW directional tectonic opening. There are a lot of opening cracks between Pamukkale and Karahayit. The active Pamukkale fault, which produces earthquakes in historical periods, located on the east of Karahayit. The cracks in the region are structures those formed parallel to this fault and formed by the same opening tectonics. Karahayit is known to have water outflows from the cracks in the settlement area 20-30 years ago. However, as the water level falls, the water flow is cut off from the cracks and the gap between the cracked surfaces is filled with natural and anthropogenic materials. The cracks on which it is built are artificially

<sup>1</sup> Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, [mhancer@pau.edu.tr](mailto:mhancer@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye, [cakyol@pau.edu.tr](mailto:cakyol@pau.edu.tr)

covered with concrete or covered with paving stone. Even if the newly furnished parquet closes the crack, the back topography reveals the position of the crack. It is noteworthy that the old paving stones played from time to time throughout the cracked line. Various structural damages were observed due to the construction of the structure on the crack. These damages appeared in the walls as cracks, opening in the building joints. Crack and fault behavior are structurally different. The faults move in a very short period of time, causing earthquakes and damage to structures. Opening cracks, however, are opened with very little movement over a longer time period. Therefore, the damages on the structures are observed over a longer period of time. The presence of water flow in these cracks does not mean that the crack does not move. As long as the tectonic opening in the region continues, these cracks, which are zones of weakness, will continue to open.

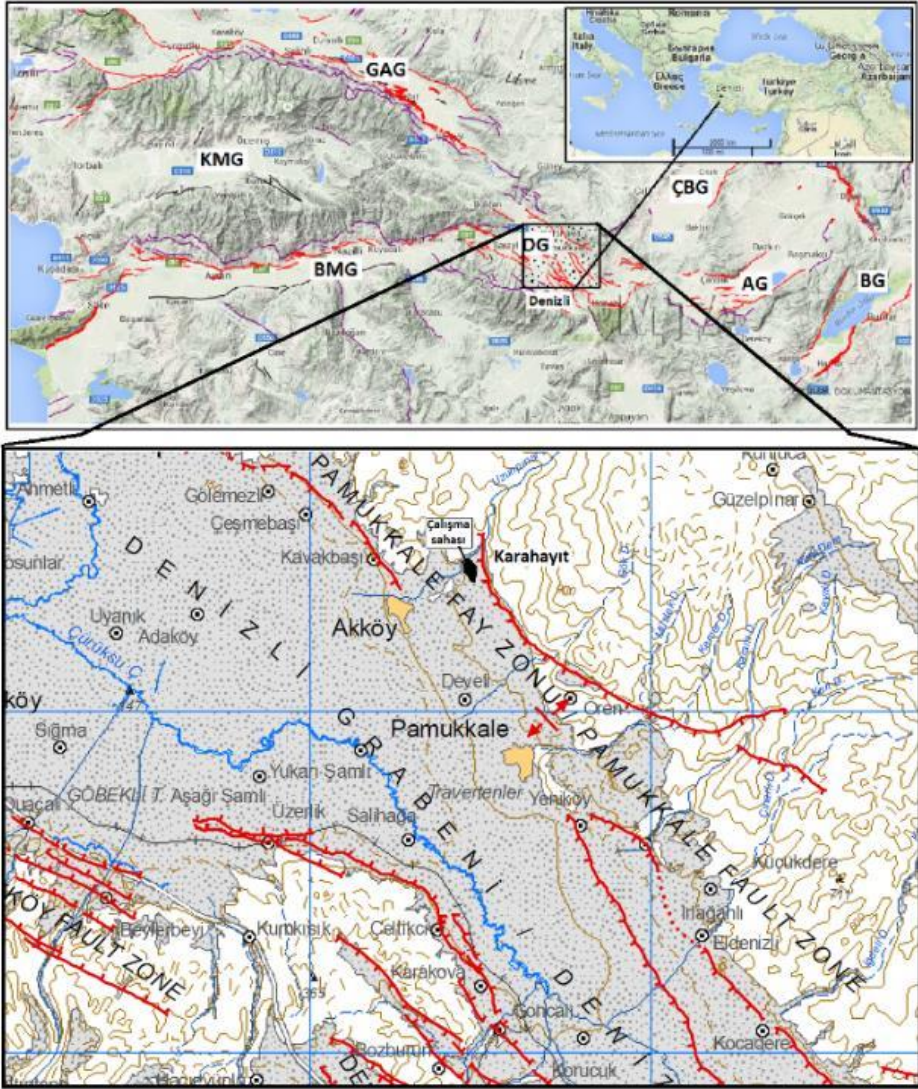
**Keywords:** Fault, Crack, Karahayit, Tectonical opening, Travertine, Structural damage

## 1. GİRİŞ

Batı Anadolu Bölgesi, Anadolu Plakasının batıya doğru hareketi neticesinde aktif açılmanın ve dolayısıyla graben sistemlerinin yoğun olduğu bölgedir. Batı Ege bölgesi K-G yönlü açılmanın hakim olduğu ve D-B doğrultulu grabenlerin (Büyük Menderes Grabeni, Gediz Grabeni, Küçük Menderes Grabeni) yer aldığı kesimdir. Egenin doğusunda ise KD-GB yönlü açılma ve buna bağlı olarak KB-GD doğrultulu grabenler (Gediz Grabeni doğu kesimi, Denizli Grabeni, Dinar-Çivril Grabeni) ve daha da doğuda KB-GD yönlü açılma neticesinde KD-GB doğrultulu grabenler (Baklan Grabeni, Acıgöl Grabeni, Burdur Grabeni) bulunur (Şekil 1).

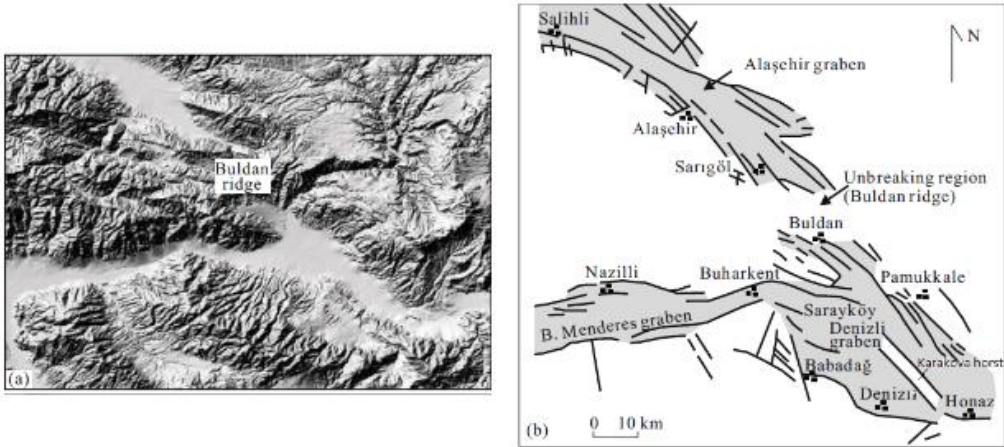
Bölgedeki deprem odak mekanizmaları incelendiğinde genel olarak aktif açılma K-G ve KKD-GGB yönlüdür (Westaway, 1993; Koçyiğit, 2005) ve açılma 14 milyon yıl önce başlamıştır. Büyük Menderes Grabeni D-B doğrultulu olarak uzanır ve doğuda Sarayköy bölgesinde son bulur. Gediz grabeni ise yaklaşık D-B doğrultulu olarak uzanır ve doğuya doğru Alaşehir den sonra KB-GD konumlu duruma geçer. Bu graben GD'ya doğru Sarıgöl ilçesine kadar uzanır. Sarıgöl ile Buldan arasında bir eşikten (Buldan Yükselimi) sonra KB-GD doğrultulu Denizli grabenini oluşturur (Hançer, 2013). Gediz ve Büyük Menderes grabenleri Sarayköy-Buldan bölgesinde kesişirler. (Şekil. 2) Tarihsel ve aletsel dönem deprem etkinliklerine bakıldığında genel olarak Batı Anadolu'nun, özellikle de Denizli bölgesinin aktif olduğu görülür.





Şekil 1: 1/250 000 ölçekli MTA diri fay haritası üzerinde çalışma alanı (Emre ve diğ., 2011'den değiştirilmiştir); (BMG: Büyük menderes Grabeni, KMG: Küçük Menderes Grabeni, GAG: Gediz (Alaşehir) Grabeni, DG: Denizli Grabeni, ÇBG: Çivril Baklan Grabeni, AG: Acıgöl grabeni, BG: Burdur Grabeni).

Denizli Havzası KB-GD uzanımlı olup 7-28 km genişliğinde ve 62 km uzunluğundadır (Koçyiğit, 2005). Havzayı sınırlayan faylar kuzeydoğuda Pamukkale fayları ve güneybatıda ise Babadağ-Honaz fayıdır. Koçyiğit, (2005) Denizli havzasını Çürüksu grabeni, Denizli ve Bozburun alt grabenleri olarak ayrıntılı incelemiştir. Havza içerisinde Babadağ-Pamukkale bölgesi arasında havza kenar faylarına paralel gelişmiş birçok fay bulunur. Bu iki graben kenar fayları arasında Karakova Horstu bulunur. Bu horst Çürüksu grabeni ile Denizli alt grabeni arasındaki yükselidir. Bu yükselimin KD kenarını oluşturan Üzerlik-Karakova arasındaki bölgede bulunan fay zonu aktif olup özellikle 2000 ve 2004 yılları meydana gelen depremlerin odak noktalarını oluşturur (Hançer, 2013).



Şekil 2. Denizli ve yakın çevresinde grabenleri gösteren Şekil ve kabartma harita (Hançer, 2013)

## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİSİ

Bölgede en altta Menderes Masifine ait Prekambriyen gnayslar, Alt Paleozoyik yaşlı mikaşistler, metakuvarsit, fillat ve rekristalize kireçtaşları bulunur. Daha üstte ise Mesozoyik yaşlı rekristalize kireçtaşları, ve yaşlı Alt Eosen'e kadar çıkan pelajik kireçtaşı bulunur (Okay 1989). Bu birim haritalanan alanda "Mm" simgesi ile gösterilmiştir. Menderes Masifi'nin Eosen yaşlı filişinin üstüne tektonik bir dokanakla Orta Eosen'de Likya Napları yerleşmiştir (Okay 1989). Bunların üzerine Orta Miyosen-Orta Pliyosen yaşlı 660 m kalınlığındaki eski graben dolgusu daha sonra da 350 m kalınlığındaki modern (Neotektonik) graben dolgusu gelmiştir (Koçyiğit 2005).

Bölgenin Neojen yaşlı tortulları ise Alçiçek (2006)'e göre alttan üste doğru Miyosen yaşlı Kızılburun formasyonunun alüvyon yelpazesi ve akarsu tortulları ile başlar. Orta Miyosen'in sonunda bu formasyonunun en üst seviyelerini oluşturan bataklık/sığ-gölsel çökeller üzerine geçişli/uyumlu olarak Sazak formasyonunun depolanmıştır. Sazak Formasyonu üzerine geçişli/uyumlu olarak Üst Miyosen-Üst Pliyosen yaşlı Kolonkaya formasyonu yerleşmiştir. Kolonkaya formasyonunun alt ve orta seviyelerinde sığdan derin su ortamına geçen çökeller ile üst seviyelerinde tatlı su ortamını karakterize eden alüvyon yelpazesi akarsu çökelleri gelir. Daha üstte ise Asartepe formasyonu'nun alüvyon yelpazesi ve akarsu çökelleri depolanır. Bu dönemde yer yer fay dokanaklı olarak çıkan sıcak sular traverten çökelimine neden olmuştur. Pamukkale bölgesine de yakın olan çalışma sahası çevresinde Pamukkale travertenleriyle muhtemelen aynı dönemde oluşmuş travertenler mostra verir. Jeoloji haritasında bu birim "Qtr" simgesi ile gösterilmiştir. Güneybatıya doğru havzanın ortasında da Kuvaterner yaşlı Alüvyonlar "Qal" yer alır. Karahayıt yerleşim alanı ise Kuvaterner yaşlı traverten ve kısmen de alüvyon üzerindedir.

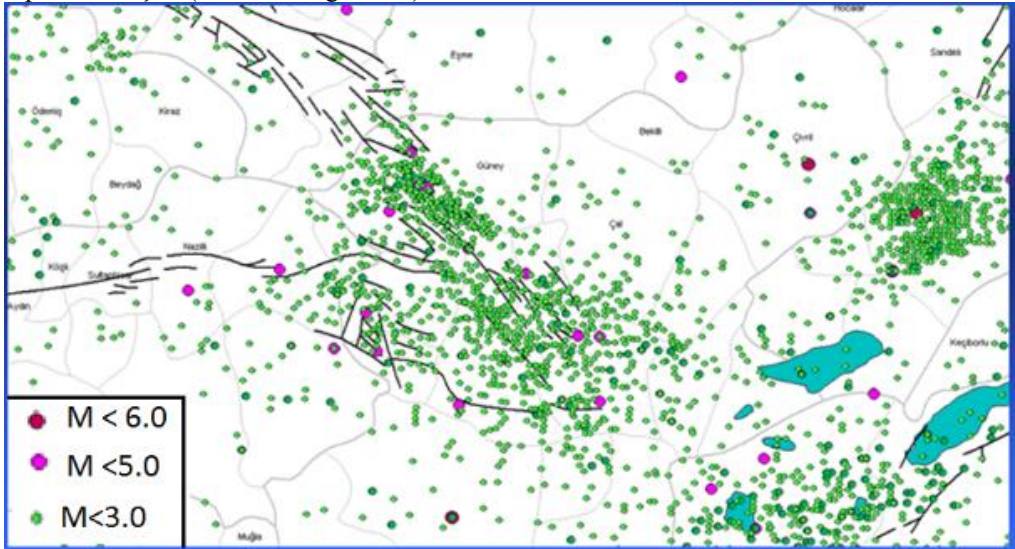
## 3. PAMUKKALE FAY ZONU

İncelenen alan Havzanın kuzeydoğusunda Pamukkale fay zonu üzerindedir. Denizli Horst-Graben Sistemi içinde yer alan Pamukkale Fay Zonu bu sistemin kuzey kesimini oluşturur. 4 km. genişlikte olan bu zon 53 km. uzunlukta ve yaklaşık K50<sup>0</sup>B doğrultulu normal faylardan oluşmuştur (Çakır, 1999; Koçyiğit, 2005). Bu zon genelde GB'ya eğimli fay segmentlerinden

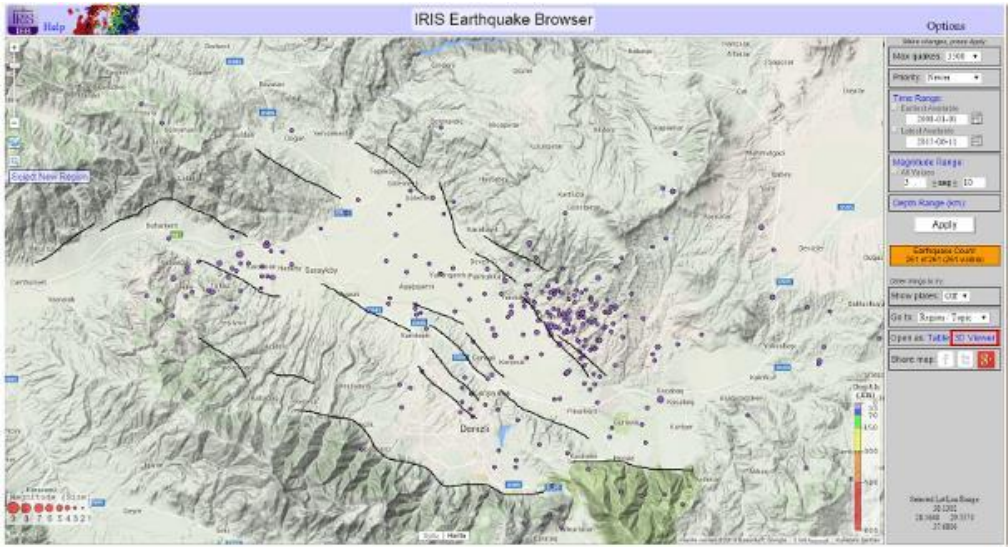
oluşur ve üç adet aktarım rampalarıyla birbirlerinden ayrılırlar. Bu segmentlerin KD'sunda bulunan ve metamorfik temel ile Kuvaterner yaşlı traverten-alüvyon dokanağını oluşturan fay Karahayıt yerleşimine en yakın faydır. Bu fay Karahayıt yerleşkesinin yaklaşık 500 m. doğusundan başlar. Bu kesimde fayın doğrultusu KKB-GGD konumlu olup GD'ya doğru KB-GD doğrultulu olarak Hierapolis antik kenti kuzeyine doğru uzanır. Pamukkale fayı ve bölge travertenleri üzerine birçok çalışma bulunmaktadır. Altunel ve Hancock, (1993); Altunel, (1996); Altunel ve Barka, (1996); Hancock ve Altunel, (1997); Hancock ve diğ., (1999); Çakır, (1999); Hancock ve diğ., (2000); Piccardi, (2008); Brogi ve diğ., (2014); bunlardan bazılarıdır.

#### 4. DEPREMSELLİK

Denizli bölgesi üç ayrı grabenin kesim noktası olduğu için deprem riski oldukça yüksektir. Tarihsel dönem deprem etkinliğine bakıldığında Denizli bölgesinde M.Ö 65 yılında ve M.S. 60 yılında meydana gelen ve Hierapolis antik kentinin yıkılmasına neden olan deprem görülmektedir. Ayrıca M.S. 494, 700, 1358, 1651, 1717, 1887 ve 1899 yıllarında Denizli, Pamukkale, Honaz ve Sarayköy merkezli depremler can ve mal kayıplarına sebep olmuşlardır. Bunların dışında Aydın, Nazilli, Burdur merkezli meydana gelen depremler de Denizli bölgesini etkilemişlerdir (Eravcı ve diğ., 2007). Denizli bölgesinin aletsel dönem deprem etkinliği ise Magnitudu 6.0 dan büyük depreme rastlanmaz. Denizli havzasında Magnitudu 5.0 den büyük deprem ise 12 adettir. Bunlar Buldan ve Pamukkale bölgesinde yoğunlaşır. Havzanın geneline bakıldığında depremlerin KD kesiminde kümelendiği görülür. Özellikle Pamukkale fay zonu ve Karakova horstu KD kesiminde yoğunluk dikkat çeker (Şekil 3, 4). Denizli ve yakın civarında 1963 Buldan (Ms=5.6), 1965 Honaz (Ms=5.6), 1976 Denizli (Ms=5.0), 21 Nisan 2000 Denizli-Honaz (M=5.2) depremleri ve 22-31 Temmuz 2003 Sarıgöl-Buldan-Yenicekent depremleri (23 Temmuz 2003 günü Md=5.3 ve 26 Temmuz 2003 günü Md=5.1, Md=5.5 ve Md=5.0 büyüklüklerinde 4 ayrı deprem) olmuştur. 21 Nisan 2000 Denizli-Honaz depremini izleyen 6 aylık dönemde büyüklükleri 3.0 ile 4.0 arasında değişen toplam 160 deprem olmuştur (Eravcı ve diğ., 2007).



Şekil 3. Denizli Havzasında 1900-2008 yılları arasında meydana gelen deprem episantr noktaları ([www.sayisalgrafik.com](http://www.sayisalgrafik.com)).



Şekil 4. Denizli Havzasında 2008-2016 yılları arasında meydana gelen deprem episantur noktaları ([www.iris.edu](http://www.iris.edu)).

#### 4.1. Hierapolis ve Çevresindeki Depremler

Hierapolis şehri, Roma İmparatorluğu'nun bir parçası olduktan bu yana yani yaklaşık 2000 yıllık tarihi boyunca bölgede magnitüdü 4 ün üzerinde toplam 33 deprem kaydedilmiş, bunların 11 tanesi 20. yy dan önce meydana gelmiş 22 tanesi de 20.yy içinde meydana gelmiştir. Burada tarihsel depremlerin sayılarının azlığı dikkat çekmektedir ancak önceden de belirtildiği gibi, tarihsel depremlerin varlığı, büyüklüğü ve lokasyonu depremin yerleşim merkezinde verdiği hasar göz önünde bulundurularak tesbit edilir. Onun için tarihsel devirlerde sadece büyük ve şehir merkezine yakın depremler kayıt edilebilmiştir. Kayıt edilen depremlerin şiddetlerinin büyük olmasına rağmen ( $I_o > VII$ ) sadece birkaç tanesinin geniş hasarlar verdiği bildirilmiştir (örneğin M.S. 60. 1354, 1702 (1703), 1717, 1744).

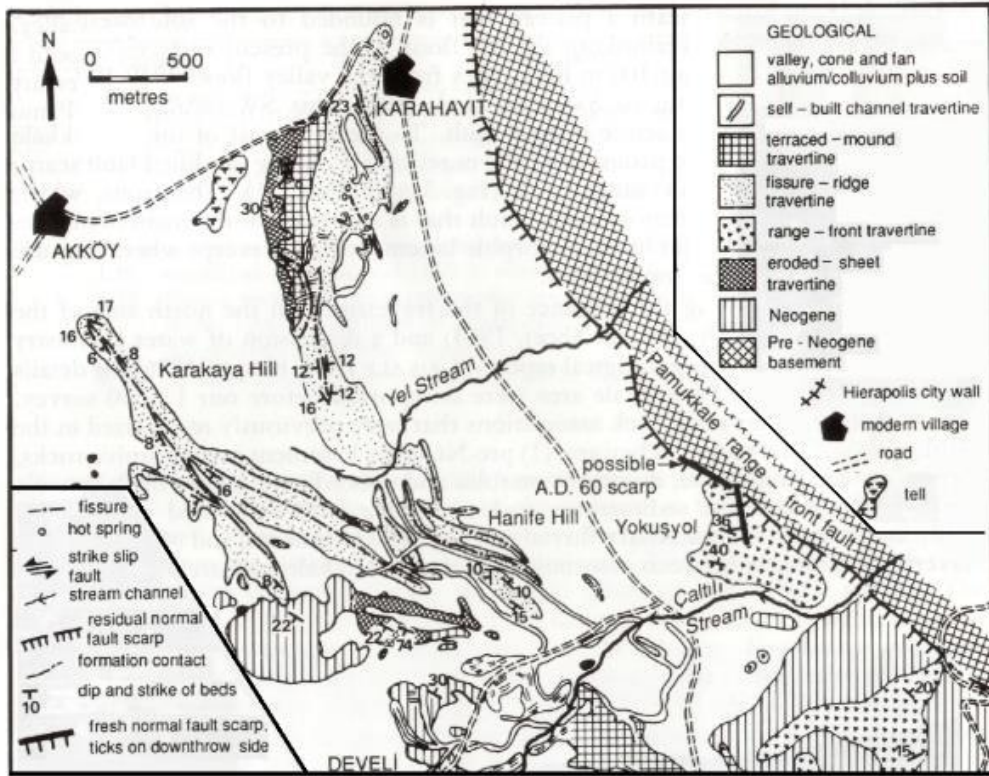
Deprem kataloglarına göre bölgedeki ilk deprem M.Ö. 65 yılında meydana gelmiştir, Ancak Hierapolis bölgesindeki ilk yıkıcı depremin M.S. 60 yılındaki deprem olduğu belirtilmektedir. Bu deprem Hierapolis, Laodikya (Hierapolis'in -14 km güneyi) ve çevredeki birçok yerleşim yerinde önemli hasarlara neden olmuştur. Depremin merkez üssünün Hierapolis yakınlarında ve şiddetinin ( $I_o$ ) IX olduğu ileri sürülmektedir, bu da Richter ölçeğine göre yaklaşık magnitüt 7'ye eşittir. Deprem Dinar'a (Hierapolis'in yaklaşık 90 km doğusu) kadar büyük ölçüde hasarlara neden olmuştur ancak batı bölgelerden herhangi bir hasar kayıtlarda yer almamaktadır. M.S. 60 yılındaki depremden sonra birçok deprem bölgede can kayıplarına ve hasarlara neden olmuştur. Örneğin, Ambraseys ve Finkel (1995) 1651 deki depremde Honaz ve Laodikya da 700 kişinin, 1702 (1703) depreminde Denizli ve çevresinde 12000 kişinin, 1717 depreminde 6000 kişinin öldüğünü ileri sürmektedirler. Ayrıca bu araştırmacılara göre, 1702 (1703) veya bir önceki depremde Denizli'nin yaklaşık 5 km kuzeyinden akan ve Menderes nehrinin bir kolu olan Gümüş Çayı yön değiştirmiştir. Tarihsel kayıtlarda 1354 depreminden sonra diğer şehirlere göç ettiklerini ve 1744 depremi sırasında 15000 canlının öldüğünü ileri sürmektedirler. Bölgede magnitüdü 4'ün üzerinde kayıt edilen en son deprem 4 Mayıs 1984 tarihli depremdir ( $M = 4.7$ ). Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kayıtlarına göre 1990 yılından bu yana bu bölgede magnitüdü 4'ün üzerinde deprem

meydana gelmemiştir (Altunel ve Barka, 1996).

## 5. ÇATLAKLAR

Pamukkale fayı GB'sında yani tavan bloğunda mostra veren travertenlerde birçok açılma çatlağı bulunmaktadır. Karahayıt yerleşim yeri ve çevresinde ise sırt tipi travertenler hakimdir (Altunel ve Hancock, 1993). Sırt tipi travertenler çatlaklar boyunca yüzeye çıkan sıcak suların yüzeyde çökeldiğı travertenler zamanla çatlak boyunca sırt oluştururlar. Traverten hem çatlak içinde (bantlı traverten) ve hem de yüzeyde çökeler (tabakalı traverten). Çatlak boyunca yüzeye doğru yükselen sıcak su çatlağın her iki yüzeyinde onikse benzeyen beyazdan-kırmızımı beyaza değışen renklerde, sert ve sıkı dokulu, çatlak duvarına paralel bantlı traverten çökeltir. Bantlar çatlak duvarından merkeze doğru gelişirler. Dolayısıyla çatlak duvarına yakın bantlı traverten, merkezdeki bantlı travertene göre daha yaşıdır. Çatlaktan çıkan suyun, yüzeyde çatlağın her iki tarafında akmasıyla tabakalı travertenler oluşur. Traverten tabakalarının eğimleri sırt eksininden uzağı doğrudur. Yani sırt tipi travertenler bir nevi çatı şeklindedir. Sırt tipi travertenler Pamukkale ve Karahayıt bölgesinde en yaygın traverten çeşididir (Şekil 5). Sırt tipi travertenler Pamukkale ve Karahayıt köyleri arasında KB-GD doğrultusunda bir zon şeklinde uzanırlar. Bu zon içerisinde çok sayıda aktif ve aktif olmayan sırt tipi travertenler mevcuttur. Bütün traverten sırtları, uzun eksenleri boyunca uzanan merkezî bir çatlak içerirler. Sıcak sular bu merkezî çatlak boyunca yüzeye yükselirler. Sırt tipi travertenlerde tabaka kalınlığı birkaç santimetreden bir metreye kadar değışir. Tabakalı travertenler genellikle sert, gözenekli olup yapı taşı olarak işletilmektedirler. Çatlaklarda gelişen bantlı travertenler ise tabakalı travertenler oranla daha sıkı ve sert olup süs taşı olarak işletilmektedir.

Merkezî çatlak boyunca oluşmuş travertenlerin en önemli özellikleri, derinliğe bağılı olarak traverten kalınlığının doğru orantılı veya kademeli olarak artmasıdır. Burada sıcak suyun yukarıya yükselmesi sırasında merkezî çatlak içinde çökelen bantlı traverten genellikle simetriktir. Yaklaşık düşey olan bantlı travertenler içinde cep şeklinde boşluklar mevcuttur. Bantlı travertenlerin yüzeydeki kalınlıkları sırt merkezine yakın yerlerde maksimum, merkezden uzun eksen boyunca uçlara doğru gidildikçe kalınlık azalmakta ve sırtın uçlarında bantlı" traverten yok olmaktadır. Pamukkale bölgesindeki bütün traverten sırtlarının uzun eksenleri boyunca genişlikleri 5 m., derinlikleri 30 m'.yi bulan açıklıklar mevcuttur. Bu açıklıkların bazıları her ne kadar çatlak içindeki bantlı travertenlerin süs taşı olarak işletilmesinin bir sonucu ise de bu çatlaklar, daha sonra da ayrıntılı açıklanacağı gibi, bölgedeki tektonik hareketlerin traverten depolanması durduktan sonrada devam etmesi sonucu açılmışlardır (Altunel, 1996).



Şekil 5. Bölgenin jeoloji-tektonik ve traverten yayılımı haritası (Altunel ve Hancock, 1993).

### 5.1. Karahayit Sahası Çatlak Sistemleri

Bu çalışmada Karahayit ve yakın dolayındaki çatlak sistemleri tekrar revize edilmiş ve özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Öncelikle çoğunluğu sahanın batısındaki büyük açılma çatlağında inceleme yapılmıştır. Bu çatlak tektonik sınıflamaya göre yarık konumunda olup 300-400 m uzunluğundadır. Yaklaşık K20<sup>0</sup>B konumlu olarak uzanan çatlak sırt tipi traverten çatlağıdır. Çatlağın kuzey ucuna doğru K-G konumlu olarak izlenen yapı orta kesimlerde 1,5 m gibi maksimum açıklığa ulaşır ve uç kesimlere doğru çatlak kapanır. Çatlağın her iki tarafında birbirine simetrik olarak gelişen tabakalı travertenler birbirine zıt eğimlidirler (Şekil 6 a). Çatlağın kenarlarında ise çatlağın her iki yüzeyine paralel gelişen bantlı traverten göze çarpar (Şekil 6 b). Çatlağın orta kesimi toprak ile dolmuştur.

Karahayit yerleşim merkezinde ise yaklaşık birbirine paralel gelişen ve genel olarak K-G doğrultulu iki ana çatlak gözlenmiştir. Bunlardan batıda olan yaklaşık 450 m uzunluğunda gözlenmiştir. Bu çatlağın en net olarak izlendiği kısım Atatürk caddesi batısında PTT binasının güneyindedir (Şekil 7 a). Burada açılan kazıda çatlağın konumu net olarak izlenir. Bu lokasyonun 15-20 m kuzeyine doğru yol üzerinde parke taşları ve beton sıvama üzerindeki deformasyonlardan çatlağın gidişini görmek mümkündür (Şekil 7 b).

Bu noktadan 70 m. kuzeye gidildiğinde yine aynı çatlağın geçtiği güzergah gözlenmektedir. Bu noktadan 60 m. kuzeye gidildiğinde ara sokak içerisinde (135 nolu sokak) çatlağın geçtiği

güzergah çok net belli olmayıp deforme olan parke taşlarından yaklaşık olarak geçtiği güzergah belirlenmiştir. Burada çatlağın geçtiği güzergahlarda yüzeyde parke taşlarında ve binalarda kısmi deformasyonlar zaman zaman gözlenir. Çatlağın geçtiği güzergahın daha kuzeyine doğru gidildikçe yer yer net olarak izlenirse de genel olarak geçtiği lokasyonlar kendini belli etmektedir. Bu noktadan daha da kuzeye doğru çatlağın devamına ilişkin başka veri gözlenmediği için bu çatlağın kuzey ucu burada sonlandırılmıştır.



Şekil 6. a: Karahayıt batısındaki açılma çatlağının uzak ve yakın görünümü (kuzeye bakış)., b: Karahayıt batısındaki açılma çatlağının kuzeye devamı ve bantlı travertenlerin uzak ve yakın görüntüleri (kuzeye bakış).

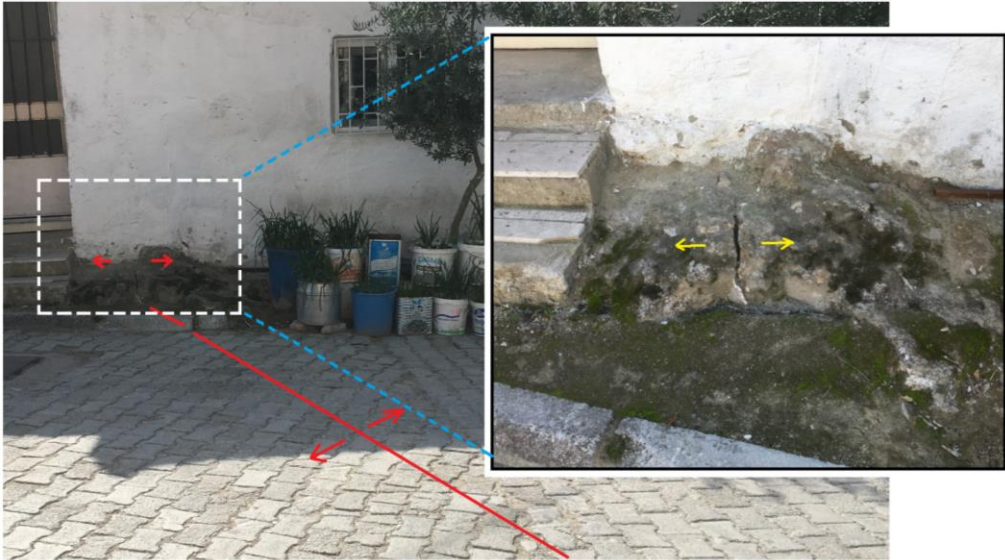
Söz konusu çatlağın güneye doğru devamının olup olmadığını net olarak belirlemek için çatlak hattı boyunca güneye doğru da inceleme yapılmıştır. Çatlağın geçtiği muhtemel lokasyonlarda morfolojideki sırt oluşumunu andıran eğimler vardır. Bu eğimlerin başladığı yerlerde çatlağın geçtiği hat üzerine düşen binalarda kısmi deformasyonlar gözlenir. Özellikle PTT binası güneyinde çatlağın geçtiği hat boyunca yerdeki fayans döşemelerdeki açılmalar dikkat çekicidir.



Şekil 7, a: PTT binası güneyindeki çatlağın mostra görünümü (doğuya bakış), b: Şekil 7 a'nın 15-20 m kuzeyinde çatlağın konumu (güneye bakış)

Buraya kadar bahsedilen çatlağın yaklaşık 50 m doğusunda buna paralel gelişen bir açılma

çatlağı daha bulunmaktadır. Yaklaşık 350 m uzunluğunda gözlenen çatlağın genel konumu K10<sup>B</sup> olup çatlak güneye doğru iki ayrı kola ayrılır. Çatlağın kuzey ucu Karahayit Fatih Camii kuzeyidir. Bu noktadan daha kuzeye doğru devamı takip edilmiş ancak çatlağa ait veri gözlenmemiştir. Bu nedenle ilgili çatlağın kuzey ucu bu lokasyondan başlamıştır. Karahayit Fatih Camisi güney kenarındaki 126 nolu sokak üzerinde çatlağın izlerini görmek mümkündür (Şekil 8). 126 nolu sokak üzerinde tespit edilen çatlağın güneye doğru devamı izlenmiş ve muhtemel geçtiği lokasyonlar belirlenerek gerekli inceleme yapılmıştır. Bu lokasyonun yaklaşık 60 m. güneyinde çatlağın konumu tekrar gözlenmiştir. Burada çatlağın geçtiği yüzey beton sıvama ile kapatılmaya çalışılmış ancak zamanla çatlak hattı boyunca beton sıvada bozulmalar gözlenmiştir. Bölge sakinleri çatlak içerisine hortumla su akıtmaya çalıştıkları da gözlenmiştir. Ayrıca çatlağın devamına karşılık gelen kuzey duvarda çatlama meydana gelmiş ve sonradan tekrar sıvanmasına rağmen izi kalmıştır (Şekil 9). Bu lokasyonda çatlağın güneye doğru devam eden bölümünde ise binanın merdiven ve kolon bölümlerinde açılmalar gözlenmiştir. Merdiven ve kolonun bitişik bina ile olan konumunda açılma vardır. Özellikle alt katlarda açılmanın az üst katlara doğru gidildikçe açılmanın artması da dikkat çekicidir. Binalardaki bu deformasyonun çatlağın geçtiği güzergah boyunca gerçekleştiği ve binaların diğer bölgelerinde herhangi bir deformasyonun olmadığı da gözlenmiştir.



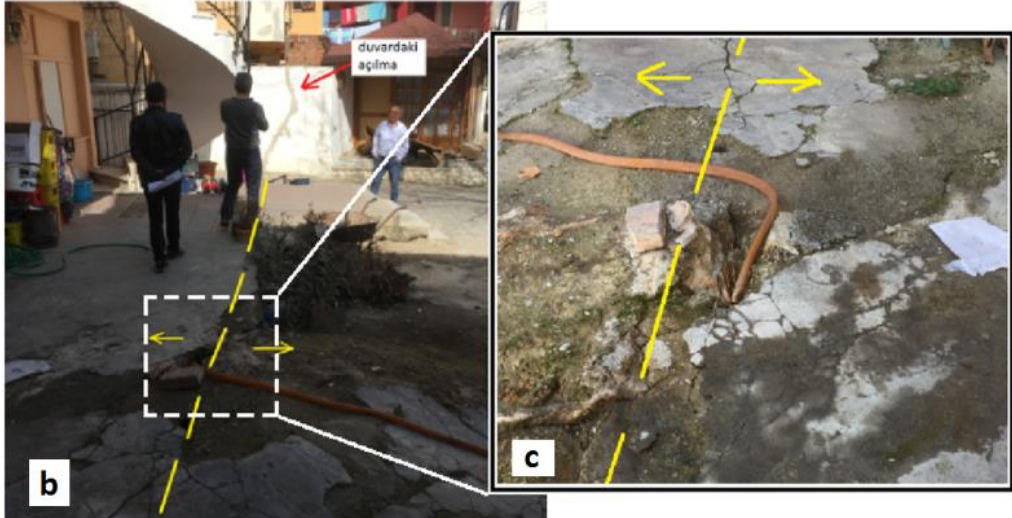
Şekil 8. 126 sokak üzerinde çatlağın uzak ve yakın konumu (güneye bakış) ile 29 nolu jeoradar ölçüm güzergahı.

Bu lokasyondan sonra güneye doğru çatlağın devamı takip edilmiş ve 30 m. güneyindeki bir ara sokakta çatlak yeniden tespit edilmiştir. Burada çatlağın geçtiği güzergah boyunca yerdeki beton sıva üzerinde çatlamlar gözlenmiştir. Bu ara sokağın güney duvarında ise açılma çatlağı tespit edilmiştir (Şekil 10). Bu lokasyonun yaklaşık 10 m. güneyinde yine küçük bir ara sokak içerisinde inceleme yapılmış ve her ne kadar hafif bir sırt morfolojisi gözükse de muhtemelen yeni döşenmiş olan parke taşları çatlağın izini kapatmıştır. Bu çatlağın daha da güneye doğru devamı takip edilmiş ve 124 nolu sokakta çatlak yüzeyi gözlenmiştir (Şekil 11). Burada çatlak yüzeyinde bantlı travertenler net izlenir. Görkem Mühendislik (2008) raporunda burada çatlağın iki kola ayrıldığı belirtilmektedir. GD'ya doğru ayrılan kol takip edilmeye çalışılmış ve Karahayit belediye binasının güneyindeki 122 nolu sokak karşındaki ara sokakta üstü kapalı olan ve muhtemelen çatlak eksenini boyunca oluşmuş olduğu düşünülen bir eski su



kanalı bulunmaktadır. Bu lokasyondan daha GD'ya doğru ilgili çatlağa ait herhangi bir veri gözlenmemiş ve çatlak gidişi burada sonlandırılmıştır.

124 nolu sokaktan GB'ya ayrılan çatlak kolu ise hafif kıvrılarak binaların altından yaklaşık 100 m. daha devam etmektedir. Binalarda çatlağın geçtiği muhtemel lokasyonlarda kısmi deformasyonlar gözlenir. Bu çatlağın güneye doğru devamına ait veri bulunamamış ve çatlak burada sonlandırılmıştır. Bu çatlağın sonlandırıldığı güney ucun yaklaşık 20 m doğusunda küçük bir çatlak olarak yorumlanabilecek veri daha tespit edilmiştir. Bir binanın bahçe duvarının doğu kesiminde aynı hat boyunca bahçenin her iki duvarının da açıldığı ve bunun da bu lokasyonda önceki çatlağa paralel gelişen küçük bir çatlak boyunca meydana geldiği yorumlanmıştır.



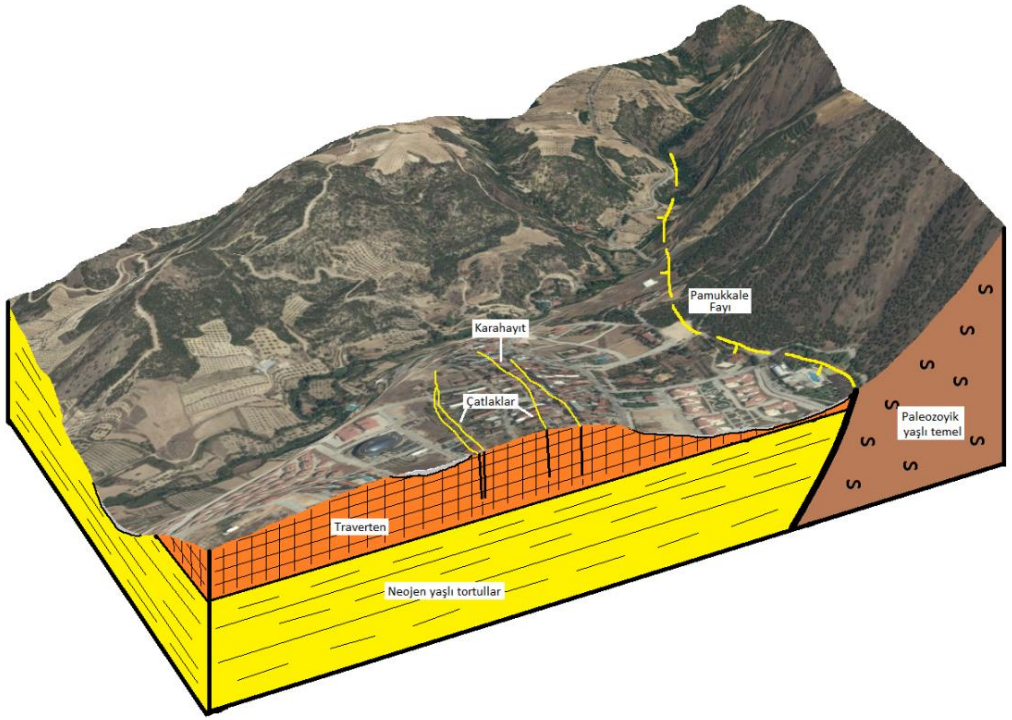
Şekil 9. 126 nolu sokağın 60 m güneyindeki çatlağın genel konumu (doğuya bakış) (a) ve geçtiği hat boyunca yüzey kaplaması ve duvar üzerindeki açılma izleri (kuzeye bakış) (b,c).



Şekil 10. Ara sokak içerisinde 24 nolu ölçüm güzergahı ile çatlağın genel konumu (batıya bakış) ve güney duvardaki açılma (güneye bakış).



Şekil 11. 124 nolu sokakta gözlenen çatlak yüzeyi (kuzeye bakış).



Şekil 12. Karahayit bölgesinin Google map üzerinde hazırlanmış üç boyutlu blok diyagramı (ölçeksiz)

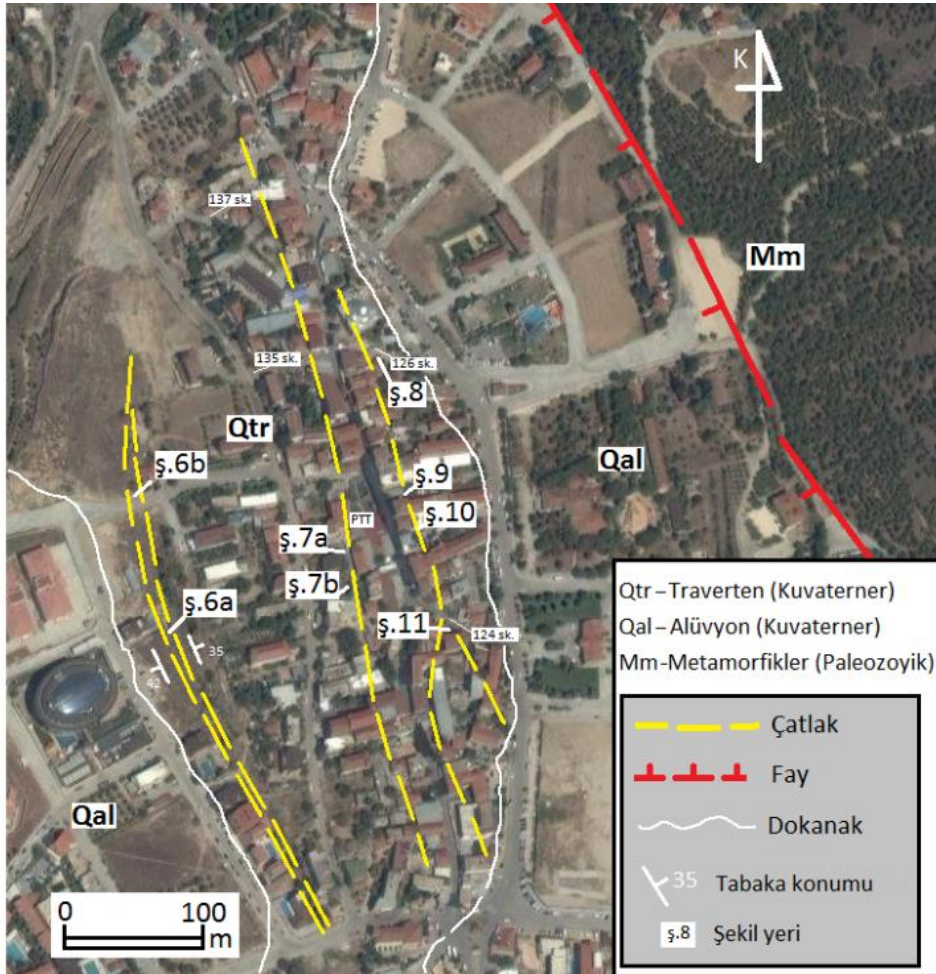
## 6. DEĞERLENDİRMELER VE SONUÇLAR

Karahayit bölgesinde çatlakların varlığının ve lokasyonlarının belirlenmesine yönelik ayrıntılı jeolojik çalışma yapılmıştır. Toplam 14 adet lokasyonda çatlaklara yönelik jeolojik gözlem yapılmış, elde edilen veriler Şekil 13’de gösterilmiştir. Önceki çok sayıda araştırma sonuçlarına göre Karahayit’in doğusunda tarihsel dönemlerde deprem üreten aktif Pamukkale fayı bulunmaktadır (şekil 12). İnceleme alanındaki çatlaklar ise bu faya paralel gelişen ve aynı açılma tektoniği ile oluşmuş yapılarıdır. Yine aynı kaynaklar esas alındığında, Denizli bölgesinde KD-GB yönlü açılma halen devam etmektedir. Bu açılma neticesinde KB-GD doğrultulu normal faylar ve açılma çatlaklarının bulunması doğaldır. Pamukkale ve Karahayit arasında çok sayıda açılma çatlağı bulunmakta ve bunların bir kısmı çıplak gözle izlenebilmektedir. Bunların bazıları Karahayit’in batısında olduğu gibi büyük boyutta olup açıklığı 1,5 veya 2 metreye kadar ulaşabilmektedir. Böyle büyük bir açılma çatlağının yakın çevresinde de ona paralel gelişen daha küçük boyutlu açılma çatlakları bulunmaktadır. Bu zayıf yapılarının tamamı KD-GB yönlü açılma tektoniğinin ürünleridir.

Karahayit bölgesinde gözlenen ve traverten içerisinde oluşmuş bu çatlakların açıklıkları 0,5-15 cm arasında değişmektedir. Tüm bu çatlaklar travertenler içerisinde gelişmiş olup alttaki Neojen tortullarında demanın olup olmadığı gözlenmemiştir. Bunlar genelde sırt tipi travertenler olup, buradan çıkan sıcak sular sırt ekseninden her iki tarafa doğru yayılarak tabakalı travertenleri oluşturmuşlardır. Çatlak yüzeylerinde de bantlı travertenler gözlenmektedir. Kişisel iletişim ile elde edilen değerlendirmeler 20-30 sene öncesine kadar bu çatlaklardan su çıkışlarının olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak daha da artan kullanıma bağlı olarak su seviyesinin düşmesiyle çatlaklardan su akışı kesilmiş ve çatlak yüzeyleri arasındaki

boşluk doğal ve antropojenik maddelerle dolmuştur. Ancak bazı lokasyonlarda ise çatlak aralarının boş olduğu yüzeyden görülebilmektedir. Üzerinde yapılaşmanın olduğu çatlaklar ise arsa veya mesken sahibi tarafından betonla kapatılmış veya üzerine parke taşı döşenerek örtülmüştür. Yeni döşenmiş olan parkeler çatlakları kapatsa bile sırt topoğrafyası çatlakların konumunu belli etmektedir. Eski döşenmiş parke taşlarının ise zaman zaman yerinden oynadığı dikkat çekmektedir. Yapılaşmanın çatlak üzerine yapılması halinde çeşitli yapısal hasarlar gözlenmiştir. Bu hasarlar duvarlarda çatlaklar, bina derzlerinde açılmalar şeklinde ortaya çıkmakta ve mesken sahipleri tarafından kısmi tamir yoluyla kapatılmaya çalışılmaktadır. Yapılardaki bu deformasyonlar çatlakların geçtiği hat boyunca gözlenmektedir.

Yapısal olarak değerlendirildiğinde çatlak ve fay davranışları birbirinden farklıdır. Faylar çok kısa bir zaman aralığında hareket ederek deprem üretir ve yapılarda hasar oluşur. Ancak açılma çatlakları daha uzun zaman periyodu içerisinde çok az hareket ederek açılır. Dolayısıyla üzerinde bulunan yapılardaki hasarlar daha uzun zaman içerisinde gözlenir. Bu çatlaklarda su akışının olup olmaması çatlakların hareket etmediği anlamına gelmez. Bölgedeki tektonik açılma devam ettiği sürece birer zayıflık zonu olan bu çatlaklar da açılmaya devam edecektir.



Şekil 13. Karahayıt yerleşim alanının ayrıntılı jeoloji ve kırık haritası

## KATKI BELİRTME

Bu çalışma Denizli Zemar Müh., İnş. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından desteklenen PAÜ., Müh. Fak., Döner Sermaye Projesi kapsamında hazırlanmıştır. Yazarlar arazi çalışmalarında gerekli yardım ve kolaylıkları sağlayan Jeoloji Mühendisi Halil Karatay'a teşekkür ederler.

## KAYNAKLAR

- Alçıçek, H. 2006.** Denizli Neojen havzası'nın sedimanter fasiyesleri, depolanma ortamları ve paleocoğrafik gelişimi, GB Anadolu, Türkiye. 59. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özetleri.
- Altunel, E. Ve Barka, A., 1996,** Hierapolis'deki arkeosismik hasarların değerlendirilmesi, TJK Bülteni, 39/2, 65-74
- Altunel, E., 1996.** Pamukkale Travertenlerinin Morfolojik Özellikleri, Yaşları ve Neotektonik Önemleri. *MTA Dergisi*, 118: 47-64
- Altunel, E., Hancock, P.L., 1993.** Morphology and structural setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey. *Geol. J.* 28, 335-346.
- Ambraseys, N.N. & Finkel, C. 1995,** *The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas. A Historical Review 1500-1800.* Eren Yayıncılık, İstanbul.
- Brogi, A., Capezzuoli, E., Alçıçek, M.C. and Gandin, A., 2014,** Evolution of a fault controlled fissure-ridge type travertine deposit in the western Anatolia extensional province: the Çukurbağ fissure-ridge (Pamukkale, Turkey), *Journal of Geological Society*, 171, 425-441
- Çakır, Z., 1999,** Along-Strike Discontinuity of Active Normal Faults and Its Influence on Quaternary Travertine Deposition, Examples from Western Turkey. *Tr. J. of Earth Sciences*, 8: 67-80
- Demirtaş, R., Erkmen, C. ve Yaman, M. 2000.** Denizli ve yakın civarında deprem üreten diri faylar ve Gökpınar Sulama Barajı'nın deprensellik açısından irdelenmesi. Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi Web Sitesi, <http://sismo.deprem.gov.tr>, Rapor No:011, Erişim Tarihi: 10.12.2005
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı 2011,** 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Denizli (NJ 35-12) Paftası, Seri No:12, MadenTetkik veArama Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- Eravcı, B., Yaman, M., Tepeuğur, E., Erkmen, C., Aktan, T., Albayrak, H. Ve Demirtaş, R., 2007,** Batı Anadolu Çöküntü Bölgesinin Paleosismoloji Projesi, Afet İşl. Gen. Md. DAD, Rapor no 5691/1 (DPT2002 K 120050)
- Görkem Mühendislik, 2008,** Denizli Merkez Karahayıt İmar Planına Esas Jeolojik Jeoteknik Etüd Raporu (yayınlanmamış)
- Hancock, P. L. and Altunel, E., 1997,** Faulted Archeological Relics at Hierapolis (Pamukkale), Turkey, *Goedynamics*, 24, ¼, 21-36
- Hancock, P.L., Chalmers, R.M.L., Altunel, E., Çakır, Z., 1999.** Travitronics: using travertines in active fault studies. *J. Struct. Geol.* 21, 903-916.
- Hançer, M., 2013,** Study of the Structural Evolution of the Babadağ-Honaz and Pamukkale Fault Zones and the Related Earthquake Risk Potential of the Buldan Region in SW Anatolia, East of the Mediterranean, *Journal of Earth Science (ISI)* , 24/3, 397-409 pp.,
- Koçyiğit, A. 2005.** The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill,structure,deformational mode,throw amount and episodic evolutionary history,SW Turkey. *Geodinamica Acta* 18/3-4,167-208.
- Okay, A.İ. 1989,** Denizli'nin güneyinde Menderes Masifi ve Likya Napları'nın jeolojisi, MTA Bul., 109, 45-58 (in Turkish with and English abstract).
- Piccardi, L., 2008,** The AD 60 Denizli Basin Earthquake and the Apparition of Archangel Michael at Colossae (Aegean Turkey). *Geological Society, Special Publications*, 273: 95-105,

doi:10.1144/GSL.SP.2007.273.01.08

**Rodríguez-Pascua, M. A., Calvo, J. P., De Vicente, G., and Gómez-Gras, D. 2000.** Soft-sediment Deformation Structures Interpreted as Sismit in Lacustrine Sediments of the Prebetic Zone, SE Spain, and Their Potential use as Indicators of Earthquake Magnitudes During the Late Miocene, *Sedimentary Geology* (135)1-4, pp. 117-135.

**Westaway, R. 1993.** Neogene evolution of the Denizli region of Western Turkey. *Journal of Structural Geology*, 15, 37-53.

([www.sayisalgrafik.com](http://www.sayisalgrafik.com))

([www.iris.edu](http://www.iris.edu))

([yerbilimleri.mta.gov.tr](http://yerbilimleri.mta.gov.tr)) MTA Yerbilimleri Harita görüntüleyici MTA 1/500 000 ölçekli jeoloji-tektonik haritası

## AA2024 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA BİLYELİ DÖVME İŞLEMİNİN TANE BOYUTUNA ETKİSİ

Zehra ALKAN<sup>1</sup>, Remzi VAROL<sup>2</sup>, Ramazan SELVER<sup>2</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada ısıl işlem görmüş AA2024 malzemede bilyeli dövme işleminin yüzey bölgesindeki tane boyutuna olan etkisi incelenmiştir. Bunun için AA2024 malzemeye farklı bilye çapları ve farklı dövme sürelerinde bilyeli dövme yapılmıştır. Dövme işlemi sonrasında AA2024 malzemede oluşan deformasyon etkisi ile iç yapıda ve yüzey kalitesinde bozulmalar tespit edilmiştir. Bilye çapı sabit olup dövme süresi arttıkça, plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı artmaktadır. Aşırı plastik deformasyon oluşan tabakada tane incelenmesi belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AA2024 alüminyum malzeme, bilyeli dövme, tane boyutu

## THE EFFECT OF SHOT PEENING ON GRAIN SIZE OF AA2024 ALUMINIUM ALLOY

### ABSTRACT

In this study, the effect of shot peening on the grain size of shot peened and heat treated AA2024 aluminium material was investigated. Therefore, shot peening process was performed AA2024 material at different conditions. After shot peening, changes were observed by analyzing micro structure and surface quality due to deformation of the AA2024 material. When shot diameter is kept constant, plastically deformed layer thickness increases with increasing shot peening time. Grain refinement in severe plastic deformed layer is determined.

**Keywords :** AA2024 Aluminium material , shot peening, grain size

### 1. GİRİŞ

Metallerin yorulmaya ve gerilmeli korozyona karşı mukavemetlerini arttırmak amacıyla soğuk veya ılık olarak uygulanabilen bilyeli dövme işlemi metallerin yüzeyine küçük çaplı bilyelerin fırlatılması ile gerçekleşen bir yüzey işlemidir. Her bir bilyenin metalin yüzeyine çarpması, ince uçlu bir çekicinin malzemenin yüzeyine vurulması sonucu oluşan etkiye benzer bir etki gösterip, metalik malzemenin yüzeyinde tümsek ve çukurcuklar oluşturur. Bilyeli dövme işleminde kullanılan bilyeler genellikle küresel olup malzemeleri dökme demir, çelik, cam, seramik, kesme tel veya paslanmaz çelik olabilir. Malzemeyi dövme bilyelerinin hızı, kalıcı plastik deformasyon oluşturacak hızlarda, metalin yüzeyine püskürtülmelidir. Bilyeli dövme işleminin gayesi metal malzemenin yapılmış parçaların yorulma, korozyonlu yorulma ve gerilmeli korozyon gibi hasar türlerine karşı direncini artırmaktır [1].

Bilyeli dövme ve yüksek basınçlı burulma gibi metotlarla elde edilebilen ince taneli yapıya sahip malzemeler (100 nm altı) tane sınırlarının aşırı plastik deformasyon sonucu hacimsel

<sup>1</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Keçiborlu MYO Mak. ve Met. Tek. Böl., Isparta/TÜRKİYE, [zehraalkan@sdu.edu.tr](mailto:zehraalkan@sdu.edu.tr)

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Fak. Mak. Müh. Böl., Isparta/TÜRKİYE

olarak hasara uğraması ile oluşur. İnce taneli yapılar son yıllarda bilimsel araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir. Bu konuda yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ince taneli yapıya sahip malzemelerin kaba taneli malzemelerden farklı olarak çok daha iyi mekanik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Mikron mertebeli tane yapılarının kimyasal özelliklerini değiştirmeksizin ince taneli yapılara dönüştürmek ve mekanik özellikleri bu yöntemle iyileştirmek yeni araştırma konusudur [2].

İnce taneli tabakaların bilyeli dövme ile oluşturulması saf metaller dahil olmak üzere tüm metal ve alaşımları için geçerlidir. İnce taneli yapılar başta mikro yapı karakterizasyonu olmak üzere SEM (taramalı elektron mikroskobu), TEM (transmisyon elektron mikroskobu), mikro, nano sertlik ölçümleri ve diğer testlerle belirlenebilmektedir. Metalik malzemelerde tane boyutundaki değişim mekanik ve diğer özellikleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Yüzeyde veya yüzeye yakın bölgelerde meydana gelecek olan ince taneli veya nano boyutlu yapılar malzemenin dayanım ve sertlik başta olmak üzere mekanik özelliklerinde büyük iyileşmeler neden olmaktadır. Ayrıca yüzeyde ince taneli yapıların varlığı metalin yorulma ve gerilmeli korozyon gibi hasarlardan doğan ve yüzeyde başlayıp iç kısımlara doğru ilerleme eğiliminde olan mikro ve makro çatlakların ilerleme hızını düşürür [3].

Düşük karbonlu çelik ve ticari saflıkta titanyum için Almen dövme şiddeti azaldıkça yüzey sertlik değerlerinde de azalma gerçekleştiği görülmüştür. Aşırı bilyeli dövme ile aşırı plastik deformasyon, yüzeyde ve yüzeyin hemen altındaki bölgelerde yaklaşık 50 µm lik bir tabakada tanelerin incelmesine neden olmaktadır. SEM’de yüksek büyütmede alınan görüntülerde ince taneler (birkaç mikron seviyesi) ve mikron altı boyutta aşırı ince tane yapıların varlığına rastlanılmıştır [4].

AISI 304 paslanmaz çelik malzemeye bilyeli dövme uygulanmış ve nano-kristalli yapı elde edilmiştir. Nano –kristalli yüzeye sahip AISI 304 paslanmaz çelik bir malzemenin mekanik özelliklerinden çekme mukavemeti 657 MPa’dan 747 MPa’ya yükselmiş, kırılma tokluğu ise %17 iyileşmiştir [5].

Ti-6Al-4V malzemede bilyeli dövme yoluyla elde edilmiş pürüzlü yüzey ve nano boyutlu tane yapıları incelenmiştir. Bu çalışmada bilyeli dövme parametrelerinin değiştirilmesinin ortalama kristal boyutuna etkisi gösterilmiştir. Burada bilyeli dövme işleminin uygulama süresi de göz önüne alınmıştır. Bu malzemede nano boyutlu tane yapısı 0,25 MPa hava basıncı üzerindeki hava basınçlarında ve 30 dk üzerindeki uygulama sürelerinde elde edilmiştir. Ayrıca deformasyon tabaka kalınlığında ve ince taneli yapıdaki artış hava basıncı ve işlem süresindeki yükselmeye doğru orantılıdır. Ancak bu arada yüzey pürüzlülüğü de artmaktadır. Tane incemesi ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki en iyi kombinasyonun düşük hava basınçlarında ve uzun işlem sürelerinde elde edilebileceği de gösterilmiştir [6].

Titanyum malzemeye uygulanan aşırı bilyeli dövme işleminin mikro yapı oluşumu ve mekanik davranış üzerine etkisi incelendiğinde yüzeyin yaklaşık 160 µm altına kadar ince taneli yapı gözlenmiştir. Ultra ince taneli yapıda kristal yapının boyutları 100 nm dir ve bu boyutlar plastik deformasyon etkisinin artmasıyla da azalmaktadır[7].

Literatürde, bilyeli dövme işlemi uygulanmış olan farklı malzemeler için yapılmış çalışmalarda ince taneli yapının ortaya çıktığı ve bu yapının malzemelerin farklı özelliklerine etki ettiği görülmektedir. Bu çalışmada ise AA2024 levha malzemenin bilyeli dövme işlemi uygulandıktan sonra iç yapıdaki değişimleri, farklı dövme şartlarının deforme olmuş tabaka kalınlığına etkisi incelenmiştir.



## 2. DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere, alüminyum alaşımlarından uçak yapı elemanı olarak önemli bir kullanım alanına sahip 2xxx serisine ait AA 2024 malzemesi seçilmiştir. Genel olarak Al alaşımlarının yoğunluk değerleri düşüktür. AA2xxx serisi Al alaşımları ısıtılma işlemle sertlik ve dayanımları önemli ölçüde artabilen alaşımlardır. Bunlardan AA2024 alaşımı doğal ve yapay yaşlandırma yapılarak mekanik özellikleri iyileştirilebilen bir alaşımdır. Bu yüzden bu çalışmada AA2024 malzemesi seçilmiştir.

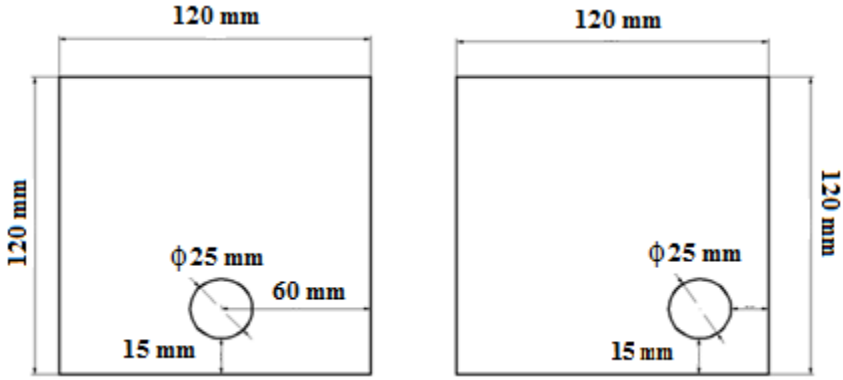
AA2024 malzemelerinin bilyeli dövme ile fiziksel ve metalografik özelliklerinin değişiminin incelenmesi amacıyla dairesel numunelerin dövme şartları belirlenmiştir. Ölçüm yapılacak numunelerin hazırlanmasında kalınlıkları AA2024 için 3,3mm olan, 120mm x 120mm boyutlarında ısıtılma işlem görmüş levha malzemeler kullanılmıştır. AA2024 alaşımı 500 °C’de 30 dakika fırında bekletildikten sonra suda soğutulmuştur. Isıtılma işleminden sonra 10 gün tabii yaşlandırma için beklenilmiştir.

Dövme işlemi sırasında numuneler 25 mm çapında dairesel olarak dövülmüştür. Dairesel numuneler için hem tek hem de çift yönlü olarak yapılan dövme işlemine ait dövme parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

AA2024 malzemeler, Tablo1’de verilen dövme parametrelerine göre önceden belirlenen dairesel kesitli 25 mm çapında tek ve çift taraflı olarak dövülmüştür. Bu işlem için iki tip master Şekil1’de görüldüğü gibi boyutlandırılarak hazırlanmıştır. Belirlenen her bir dövme süresi boyunca malzemeler üzerindeki koruyucu mastardan dolayı sadece master üzerindeki açık alan dövme işlemine tabi tutulmuştur.

Tablo1. AA2024 malzemedan dairesel kesitli deney numuneleri için dövme parametreleri

Bilye Tipi	S230	S330	S460
Dövme Süresi ( s )	20	20	20
	40	40	40
	60	60	60
	80	80	80
	100	100	100
	120	120	120

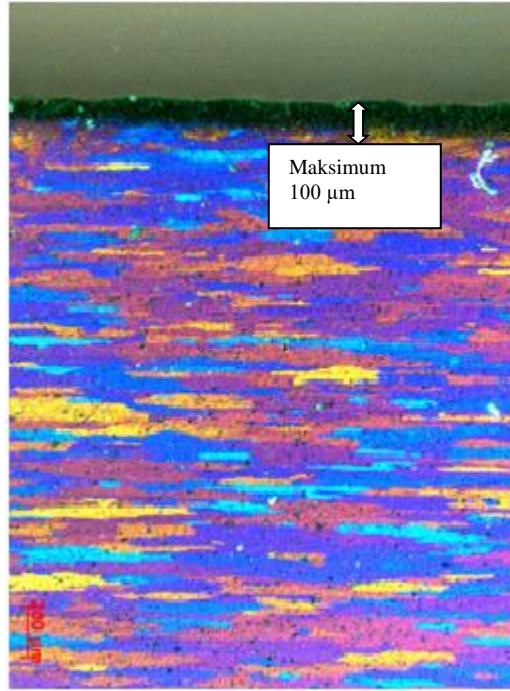


Şekil 1. Dairesel kesitli numuneler için dövme master ölçüleri.

AA2024 malzemesinin mikro yapı özellikleri ve tane boyutu değişimleri incelenmiştir. Dövülen yüzeye dik kesitte inceleme yapabilmek için numuneler enine kesilmiştir. Alüminyum numunelerin yüzeyine barker metodu ile elektro dağlama yapılmış ve ZEISS marka optik mikroskopla görüntülenmiştir. Dövme şartları tüm işlemlerde aynı tutulmaya çalışılmıştır. Dövme şartlarında; bilyelerin sabit hızla parçaya vurmasını sağlayacak eleman olan nozul ucu ile iş parçası arasındaki mesafe 10-15 cm, nozul ucu ile iş parçası arasındaki açı 90° olarak uygulanmıştır. Dövme şartlarının sabit tutulmasıyla aktarılan enerji sadece bilye hızı ve bilye kütlesine bağlı olacaktır. Burada değişken sadece bilye çapı olduğu için dövme işlemi sırasında bilyelerin taşıdığı kinetik enerji bilye kütlesinin bir fonksiyonudur. Bu sebeple bilye kütlesi (çapı) küçüldükçe, aktarılan enerji azalır. Böylece tane kırılması daha da azalmış olur [8].

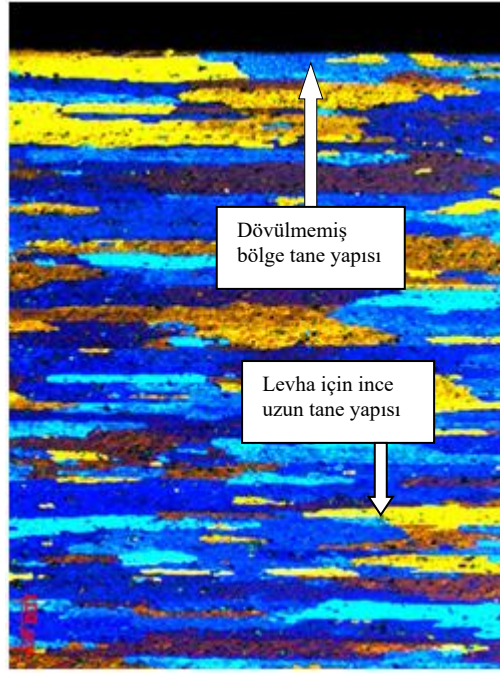
#### 4. TARTIŞMA

AA2024 ısıtılmış, S-330 çift taraflı 80 s dövülmüş numune'nin enine kesitinin görüntüsü Şekil 2'de verilmektedir. Şekil 2'de AA2024 malzemenin mikro yapısı, tanelerin şekilleri ve boyutları ile dövme sonucu yüzeyde oluşan ince taneli tabakanın şekli ve kalınlığı görülmektedir. Dövme sonucu ortaya çıkan plastik deforme olmuş tabaka kalınlığı 100 µm' ye kadar çıkmaktadır. Bu tabakada malzemenin dövülmemiş kısımlardaki tane yapısının tamamen değiştiği ve daha ince taneli bir yapının varlığı dikkati çekmektedir.



**Şekil 2.** AA2024 ısıt işlem görmüş, S-330 Çift taraflı 80 s dövülmüş numune (X50)

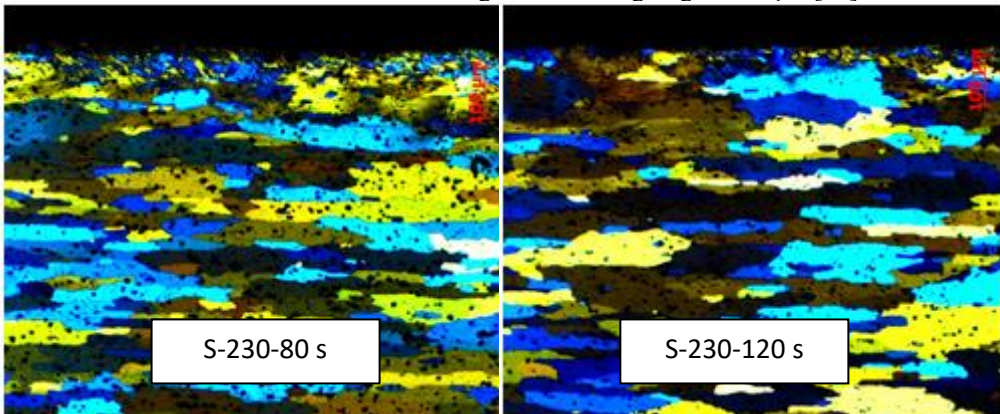
Şekil 3’de görülen dövme işleminin uygulanmadığı AA2024 malzemede tane yapılarının ince uzun yönlenmiş ve levha için uygun tane yapısında olduğu görülmektedir. Şekil 4’de AA2024 ısıt işlem yapılmış malzemenin S-230-330-460 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s için içyapı görüntüleri verilmiştir [8]. Burada dövme işlemi sonrasında AA2024 malzemede oluşan deformasyon etkisiyle içyapıda ve yüzey kalitesinde bozulmalar dikkati çekmektedir. Bilye çapının artması dövülen bölgede dövülerek deforme edilen tabaka kalınlığında artışa sebep olmuştur.

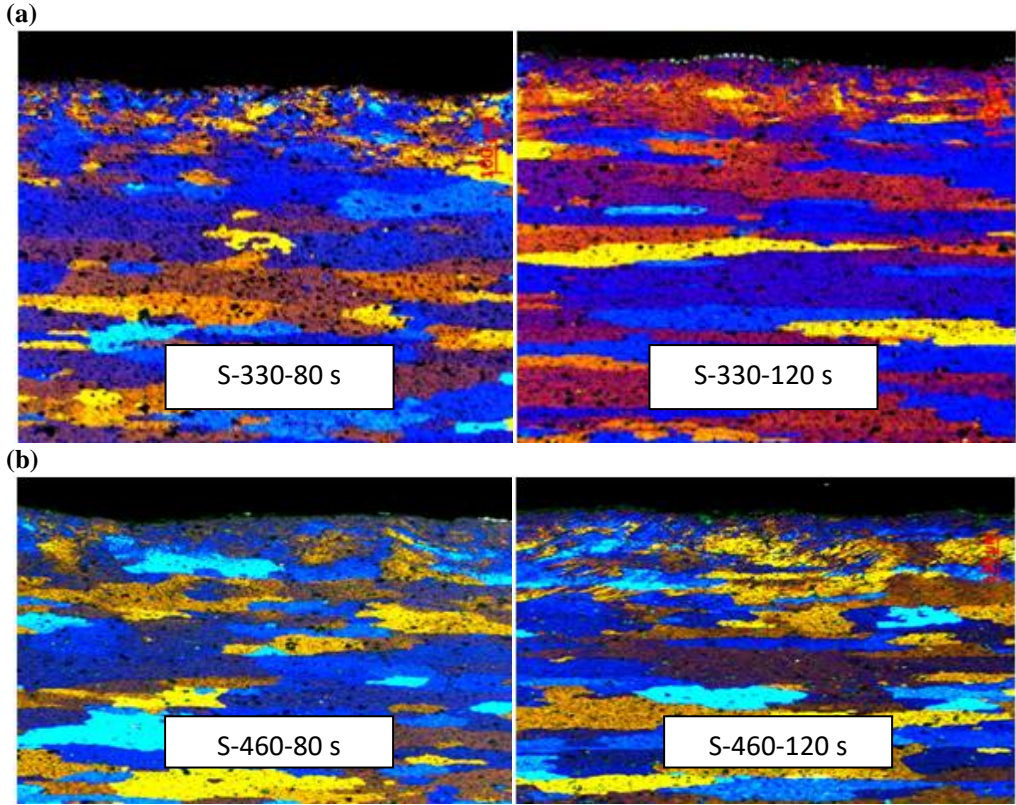


Şekil 3. AA2024 ısıt işlem görmüş dövülmemiş numune (X50)

Soğuk deformasyon sonrasında deformasyon oranındaki artış malzeme içyapısında değişikliklere sebep olmakta bu etki ile fiziksel ve mekanik özellikler de değişmektedir. Akar ve Mutlu (2010), yapmış oldukları çalışmada AA2024 malzeme için deformasyon oranı artışının ortalama tane boyutuna etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmalarının sonucunda artan deformasyon oranı ile ortalama tane boyutunun azaldığını, %10 soğuk deforme edilmiş malzemede oldukça kaba bir tane yapısı görülürken, %20, %30 ve %40 soğuk deformasyon oranlarında küçük tane yapısı elde etmişlerdir [9].

Aşırı plastik deformasyon sonucu oluşan ince taneli yapı, malzemede mekanik özelliklerin iyileşmesine neden olur. Aynı zamanda sertlik ve akma dayanımı değerleri de yükselir. İnce tane yapı malzemelerin dezavantajı olarak süneklik değerleri gösterilebilir. Bazı araştırmalar ise bu tür malzemelerin süneklik ve tokluk değerlerinin arttığını göstermiştir [10].





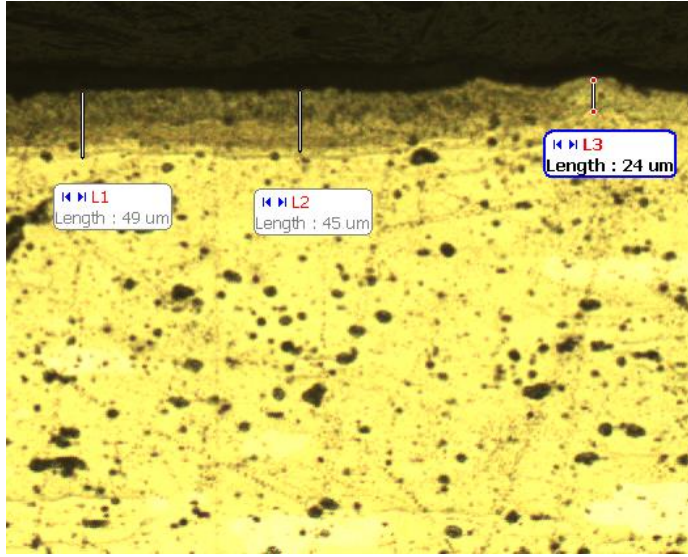
Şekil 4. AA2024 ısıtılmış malzeme için içyapı görüntüleri(X50), (a)S-230 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s,(b) S-330 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s, (c)S-460 bilye çap ve dövme süresi 80-120 s

#### 4.1. Bilyeli Dövme İşlemi Parametrelerinin Plastik Deformasyona Uğramış Tabaka Kalınlığına Etkisi

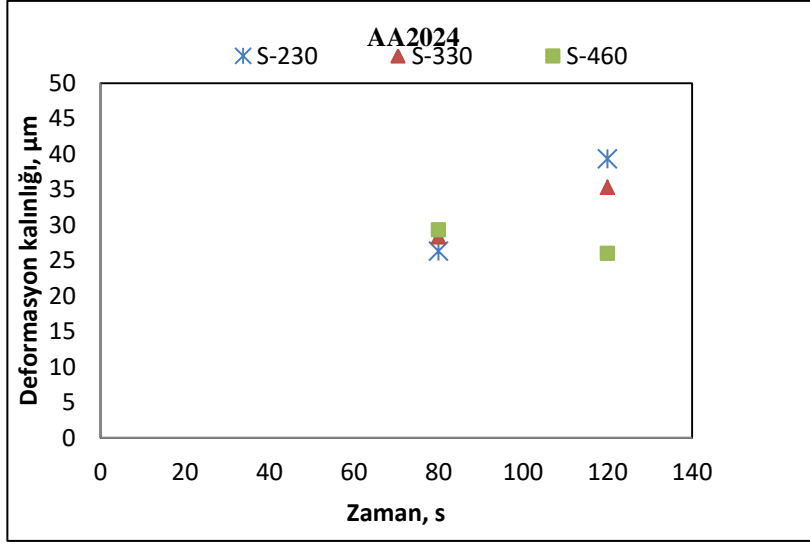
AA2024 malzemelerde dövme işlemi sonucu farklı bilye çapı ve dövme sürelerine bağlı olarak ortaya çıkan plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlıklarının tespiti için optik mikroskopla ölçümler yapılmıştır. Tabaka kalınlığı ölçümü en az üç defa alınarak bu ölçümlerin ortalaması değerlendirmeler için kullanılmıştır. AA2024 malzeme için optik mikroskopla yapılan ölçüm sonuçlarının ortalamaları Tablo 2’de verildiği gibidir. Bu sonuçların elde edilmesinde kullanılan S230 bilye çapı için dövme süresi 120 s olan numunenin tabaka kalınlığı ölçümlerinin olduğu görüntü örnek olarak Şekil 5’te verilmiştir. AA2024 malzeme için bilyeli dövme işleminde kullanılan bilye çapı değerleri ve dövme süresine bağlı olarak dövülmüş tabaka kalınlığı değerleri Şekil 6’da görülmektedir.

Tablo 2. AA2024 Isıl işlem görmüş malzemenin deformasyon tabaka kalınlığı

Süre	Tabaka Kalınlığı $\mu\text{m}$		
	S-230 Çift	S-330 Çift	S-460 Çift
80 s	26	28	29
120 s	39	35	26



Şekil 5. AA2024 için tabaka kalınlığı tespiti(X100)



Şekil 6. AA2024 için dövme süresi ve deformasyon kalınlığı arasındaki ilişki

Şekil 6'dan görüleceği üzere AA2024 malzeme için bilye çapı sabit tutulduğunda dövme süresi arttıkça işlem sonrası plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı artmaktadır. S230 ve S330 bilyelerin kullanılması durumunda dövme süresinin 80 s'den 120 s'ye çıkarılması durumunda tabaka kalınlığı hızlı bir artış gösterirken, S460 'da bu durum ortaya çıkmamıştır. S460 bilye 'de ortalama çap 1,16 mm iken S230 bilye için bu rakam 0,58 mm mertebesindedir. Hava basıncının dövme işlemleri esnasında sabit olmasından dolayı S460 bilyenin yüzeye çarpma hızının yeterli olmamasına sebep olmuştur. Çünkü dövmenin başlangıcında yüzeyde sertlik artışı meydana gelmekte ve yetersiz enerjiye sahip bilyeler bu pekleşerek sertleşen yüzey tabakasını daha fazla plastik deforme edebilecek seviyede enerjiye sahip olmadıkları için tabaka kalınlığında artış meydana gelmemiştir. Aktarılan enerjinin yetersizliği nedeniyle S460 için bu aralıkta deformasyon tabaka kalınlığında artış görülmemiştir.

AA2024 malzemede dövme işleminin etkisi dövülen numunenin yüzeyinde en fazla 50 µm'lik bir tabakada olduğu belirlenmiştir. Bu değer daha önceki yapılan çalışma sonuçları ile uyumludur [4]. Aşırı plastik deformasyonun olduğu bu tabakada tane incelmeleri belirlenmiştir. Mikronaltı tane boyutlarının elde edildiği birçok araştırmacı tarafından belirtilmektedir [11,12].

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşırı plastik deformasyona uğramış tabaka kalınlığı bilyeli dövme işlemi parametrelerine göre değişmektedir. AA2024 malzemesinin dayanım ve sertlik değerleri daha yüksektir, bu sebeple plastik deformasyonun oluşması, tane kırılmasının gerçekleşmesi için daha büyük enerjiye ihtiyaç vardır. Dövülen malzemenin sertlik ve dayanım değeri, yüzeyde plastik deforme olan tabakanın kalınlığını etkilemektedir. Büyük bilye çapında deformasyon kalınlık değerinin artmadığı görülmüştür. Burada S460 bilye çapında yeterli dövme şiddetine hava basıncının düşük olmasından dolayı ulaşamadığı sonucuna varılmıştır.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma, BAP 2308-D-10 “ Alüminyum Alaşımlarında Bilyalı Dövmenin Fiziksel, Mekanik, ve Yüzey Özelliklerine Etkisi” başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Bu projeyi destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı’na teşekkür ederiz.

## 6. KAYNAKLAR

1. Varol, R., 1990. 2024 Alüminyum Alaşımının Yorulma Ömrü Üzerine Farklı Bilyeli Dövme İşlem Parametrelerinin Etkisi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
2. Tao, N. R., Sui, M. L., Lu, J., Lu, K., 1999. Surface nanocrystallization of iron induced by ultrasonic shot peening. *Nano Structured Materials* 11, 433–440.
3. Bagherifard, S., Guagliano, M., 2009. Effects of surfaces nanocrystallization induced by shot peening on material properties: a Review. *Frattura ed Integrità Strutturale*. 7, 3-16.
4. Ünal, O., 2011. Bilyeli Dövme İşleminin Tane Boyutuna Etkisinin Deneysel İncelenmesi. Bartın Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
5. Tadge, P., Gupta, P.K., Sasikumar, C., 2015. Surface Nano-crystallization of AISI 304 Stainless Steel through Shot Peening Technique. 4th International Conference on Materials Processing and Characterization. 3245-3250.
6. Liu, Y.G., Li, M.Q., Liu, H.J., 2017. Nanostructure and Surface Roughness in The Processed Surface Layer of Ti-6Al-4V via Shot Peening. *Materials Characterization*. 123, 83-90.
7. Unal, O., Karaoğlanlı, A.C., Varol, R., Kobayashi, A., 2014. Microstructure Evolution and Mechanical Behavior of Severe Shot Peened Commercially Pure Titanium. *Vacuum*. 110, 202-206.
8. Alkan, Z., 2014. Alüminyum Alaşımlarında Bilyalı Dövmenin Fiziksel, Mekanik, ve Yüzey Özelliklerine Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
9. Akar, N., Mutlu, İ., 2010. AA2024 Alüminyum Alaşımının Tiksotropik Yapısı Üzerine SIMA Yöntemindeki Deformasyon Oranının Etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*. 25, 663-670.
10. Zrnik, J., Dobatkin, S.V., Mamuzi, I., 2008. Processing of metals by severe plastic deformation (Spd). *Structure And Mechanical Properties Respond*. 47, 211-216.
11. Chang, S.H., Lu, C., Chen, J., 2012. Study on The Microstructures, Electrical Resistance and Mechanical Properties of Sputtering Chromium Target by HP, HIP, and Canning-HIP Processes. *Int.Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. 35, 70-75.
12. Ünal, O., Varol, R., 2014. Almen Intensity Effect on Microstructure and Mechanical Properties of Low Carbon Steel Subjected to Severe Shot Peening. *Applied Surface Science*. 290, 40-47.



## SOĞUK HADDELENMİŞ TİCARİ ALÜMİNYUM LEVHALARIN YORULMA DAYANIMLARININ YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Raif SAKİN<sup>1</sup>, Ayla TEKİN<sup>2</sup>, Nurcan KUMRU<sup>2</sup>

### ÖZET

Bu çalışmanın temel amacı, soğuk haddelenmiş ticari alüminyum levhaların çekme, eğilme, ve sertlik gibi test verilerini kullanarak yorulma dayanımını tahmin etmektir. Bu tahminler için Yapay Sinir Ağları (YSA) aracı kullanılmıştır. Çalışmanın diğer önemli amacı ise YSA'nın yorulma ile ilgili iyi tahminler yapıp yapmadığının anlaşılmasıdır. Yapay sinir ağı MATLAB yazılımı ile geliştirilmiştir. Yorulma testleri için ankastré-tip ve çok numuneli test makinesi tasarlanmış ve imal edilmiştir. AA1100 ve AA1050 alüminyum levhalar hadde yönüne paralel (HYP) ve hadde yönüne dik (HYD) şekilde kesilmişlerdir. Yorulma testleri, farklı sehîm genlikleri kullanılarak sehîm-kontrollü ve 50 Hz frekanslı tam değişken yükleme altında gerçekleştirilmiştir. Yorulma testlerinden elde edilen veriler çok katmanlı, ileri beslemeli ve hatanın geri yayılım algoritmasının kullanıldığı YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. YSA modellemesinde giriş parametreleri çekme dayanımı, eğilme dayanımı, sertlik ve yük tekrar sayısı olarak belirlenmiştir. Bu modelleme ile yorulma dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Test sonuçları ile YSA sonuçları olarak karşılaştırıldığında, tasarlanan modelin başarılı bir şekilde uygulandığı ve gerçek test sonuçlarına çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. YSA'nın soğuk haddelenmiş ticari alüminyum levhaların yorulma dayanımı tahmin etmede önemli bir araç olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler :** alüminyum levha, yapay sinir ağları (YSA), yorulma-dayanımı tahmini

## ESTIMATION OF FATIGUE STRENGTH FOR COLD-ROLLED COMMERCIAL ALUMINUM SHEETS WITH THE APPLICATION OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

### ABSTRACT

The main aim of this study is to estimate fatigue strength using as tension, bending and hardness test data for cold-rolled commercial aluminum sheets. Artificial Neural Network (ANN) tool is used for prediction purpose. Another aim is to understand whether the ANN is making good predictions related to fatigue. Artificial neural network program is developed in MATLAB software. Cantilever plane bending and multi-specimen test machine was designed and manufactured for fatigue tests. AA1100 and AA1050 aluminum sheets were cut in longitudinal (RD) and transverse (LT) orientations to the rolling direction. The fatigue tests using different deflection amplitudes were conducted under deflection-control and fully-

<sup>1</sup>Balıkesir Üniversitesi Edremit Meslek Yüksekokulu Makine Böl., 10300, Edremit, Balıkesir, [rsakin@balikesir.edu.tr](mailto:rsakin@balikesir.edu.tr)

<sup>2</sup>Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Soma Meslek Yüksekokulu, Makine Böl., 45500, Soma, Manisa, [ayla.tekin@cbu.edu.tr](mailto:ayla.tekin@cbu.edu.tr) , [nurcan.kumru@cbu.edu.tr](mailto:nurcan.kumru@cbu.edu.tr)

reversed cyclic load with the frequency of 50 Hz. Data get from fatigue test results obtained from the multi-layered, feed-forward and back propagation algorithm is used to train the artificial neural network (ANN) model. In modelling of ANN; ultimate tensile strength, bending strength, hardness and cycles to failure have been used as input parameters where the output parameter is fatigue strength data. The comparisons of the experimental data against ANN results show that the result of ANN model is resembled to ANN results very closely. Finally, it is concluded that ANN is significant tool to estimate fatigue strength for cold-rolled commercial aluminum sheets

**Keywords:** aluminum sheet, artificial neural networks (ANN), fatigue-strength estimation

## 1. GİRİŞ

Alüminyum ( $2.7 \text{ g/cm}^3$ ), demir, bakır ve pirinç gibi malzemelerden yaklaşık 3 kat daha düşük yoğunluğa sahip olan hafif bir malzemedir. Atmosfer, su, deniz ve farklı kimyasal ortam gibi çevre şartlarında bile mükemmel bir korozyon direncine sahiptir. Ayrıca, estetik görünümü, kolay işlenebilirliği, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi dikkat çekici karakteristik özellikleri vardır [1-3]. AA1100 ve AA1050 alüminyum levhalar, başta otomobil endüstrisindeki plakalar ve aplikler olmak üzere, yüksek mukavemet gerektirmeyen, ancak şekillenebilirlik ve korozyon direncinin yüksek olması istenen yerlerde daha sık kullanılmaktadır. Örneğin, kimyasalların ve yiyeceklerin taşınmasında, depolama ekipmanlarında, derin çekme veya sıvama ile imal edilen tüpler ve genel amaçlı kaplar, ısı değiştirgeçleri, kaynaklı montajlar, ışık reflektörleri gibi aydınlatmada işlerinde kullanılmaktadır [2, 3]. Yorulma dayanım sınırı ve yorulma ömrü, değişken yük altında çalışan mekanik parçaların davranışlarına karar vermede çok önemli bir parametrelerdir. Yapısal bir parçanın yorulma ömrü, mekanik, metalürjik ve çevresel değişkenlerden etkilenir. Yorulma bütün mühendislik hasarlarında %80-90 oranında öncelikli sebeptir. Alüminyum alaşımlarının çok sık kullanıldığı özellikle dinamik uygulamalarda, çalışan elemanın çalışma parametrelerinin yorulmaya etkisinin bilinmesi zorunludur. Hatta, bu elemanın farklı çalışma şartlarından kaynaklanan yorulma özelliklerinin tam doğru değerlendirilebilmesi için yorulma dayanımı-ömür (S-N) bilgilerini içeren geniş veritabanlarının oluşturulması çok önemlidir [1, 3]. Yorulma dayanım sınırına bağlı olan yorulma ömrü tamamen malzeme özelliklerinden değil numunenin özelliklerinden de etkilenmektedir. Numunenin işlenmesi esnasında oluşan mikro boşluklar, yüzey kusurlarının ve soğuk veya sıcak deformasyon ile tane yapısında meydana gelen değişiklikler, numunenin şekli ve boyutları test numunesinin yorulma ömrünü etkiler [3]. Günümüzde, yorulma testlerini yapmak; birçok parametreden etkilendiği, kullanılması gereken numune sayısının çokluğu, uzun zaman harcandığı, zahmetli ve pahalı olduğu için oldukça zordur. Buna rağmen, endüstriyel alanda alüminyum kullanımının artması nedeniyle, yorulma test verilerini uygun modeller ile analiz ederek, "**yorulma dayanım sınırı**" veya "**yorulma ömrü**" gibi hayati bir mekanik özellikleri "**önceden doğru tahmin etmek**" bir çok araştırmacı için önemli bir konu olmuştur. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ve genellikle  $10^7$  yük-tekrar sayısı veya üzerindeki yüksek çevrimlere (YÇY) kadar devam eden testler yapılmaktadır. Özellikle yorulma verilerinin çok geniş bir saçılma göstermesinden dolayı bu malzemelerin yorulma-ömürlerinin tahmini için bir çok model geliştirilmiştir [4-10]. Diğer taraftan YSA'lar tahmin, sınıflandırma, örüntü tanıma, teşhis, yorumlama, veri filtreleme ve ilişkilendirme gibi birçok fonksiyonu gerçekleştirerek endüstri, finansal, askeri, sağlık, iletişim, mühendislik gibi birçok uygulama alanlarında kullanılmaktadır [11, 12]. YSA son derece karmaşık ve doğrusal olmayan davranışları kolay bir şekilde öğrenebilmekte ve öğrenme işlemi tamamlandıktan sonra, fonksiyonel bir yaklaşım gibi sonuca gerçek zamanlı ulaşılabilir. Bu konu ile ilgili olarak Durmuş ve arkadaşları [13] yaşlandırılmış 6xxx serisi alüminyum alaşımının

aşınma davranışını YSA ile incelemişler ve kısa sürede çok az hata oranıyla sonuçlara ulaşmışlardır. Esmeye ve arkadaşları [14] yaptıkları çalışmada AA7075 alüminyum alaşımı malzemelerin yüzey pürüzlülüğünün YSA ile tahmin modelini geliştirmişlerdir. YSA tahmin değerleri ve test sonuçlarının birbirine çok yakın olduğu görülmüştür. Mathew ve arkadaşları [15] YSA modellemesini azot alaşımı 316L paslanmaz çeliğin kısa zaman yorulma ömrü tahmini için uygulamışlardır. Karataş ve arkadaşları [16] bilyeli dövme uygulanmış Ç1020 çelik numunedeki kalıcı gerilme değerlerini oluşturulan YSA modeliyle tahmin edilmiştir. Bilyalı dövülmüş çelik malzemelerde artık gerilmelerin hesaplanmasında YSA hızlı, basit ve öğrenme kapasitesinden dolayı klasik metotlardan daha avantajlı olduğu görülmüştür. Abdalla ve Hawileh [17] yaptıkları çalışmada YSA modellemesini, çelik takviye çubukların kısa zaman yorulma davranışlarının tahmini için kullanmışlardır. Karakaş [18] yaptığı çalışmada, alüminyumdan kaynaklı 4 farklı alaşım üzerinde yorulma ömürlerinin yapay sinir ağırları yöntemiyle tahmin edilebileceğini göstermiştir. Alüminyum parçalardaki yorulma dayanımı veya yorulma ömrü tahmininde YSA'nın çok faydalı olduğu ve yüksek hızda doğrulukta sonuçlar verdiği literatürlerde kanıtlanmıştır.

Bu çalışmada %99'un üzerinde ticari saflıkta, soğuk hadde ürünü genel amaçlı alüminyum levhaların yüksek çevrimdeki yorulma davranışları incelenmiştir. Alüminyum levhaların yorulma testlerinin yanı sıra çekme, eğilme ve sertlik gibi mekanik testleri de yapılmıştır. Mekanik test sonuçlarından yararlanılarak yapay sinir ağırları yoluyla yorulma dayanımları tahmin edilmiştir. Deneysel çalışmanın zor olduğu, zaman ve maliyet açısından sınırlamalar getirdiği durumlarda ve her zaman gerekli laboratuvar ortamının bulunamaması durumunda YSA yaklaşımının uygun bir tahmin yöntemi olup olmadığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, modelin hassasiyetinin yüksek olduğunu ve modelin gerçek zamanlı geri hesaplama yapabildiğini göstermiştir. Bu yüksek doğrulukta tahminler, tasarımcıya malzeme kullanımı ve seçimi esnasında çok yardımcı olacaktır.

## 2. MATERYAL VE METOT

### 2.1. Alüminyum Levha Numuneler

Bu çalışmada kimyasal içerikleri ve standart gösterimleri Tablo 1'de verilen ticari-saflıkta ve soğuk hadde ürünü alüminyum levhalar kullanılmıştır. Türkiye iç piyasasından temin edilen, AA1100 ve AA1050 alüminyum levhalardan, hadde yönüne paralel (HYP) ve dik (HYD) olacak şekilde (Şekil 1) 25x200x3mm boyutlarında kesilerek test numuneleri elde edilmiştir. Hazırlanan alüminyum levhaların sırasıyla TS-EN/485-2 standardına uygun çekme testleri, ISO 7438:2005(E) standardına uygun üç noktadan eğilme testleri ve sertlik ölçümleri yapılarak sonuçların özeti Tablo 2'de verilmiştir [19-22].

Tablo 1. Alüminyum levhaların kimyasal bileşimi (%ağırlık)

Alüminyum	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Si	Ti	Zn	Al
AA1100	0,002	0,001	0,494	0,005	0,001	0,001	0,098	0,0140	0,008	Bal.
AA1050	-	0,006	0,196	0,002	0,117	-	0,065	0,0157	0,004	Bal.



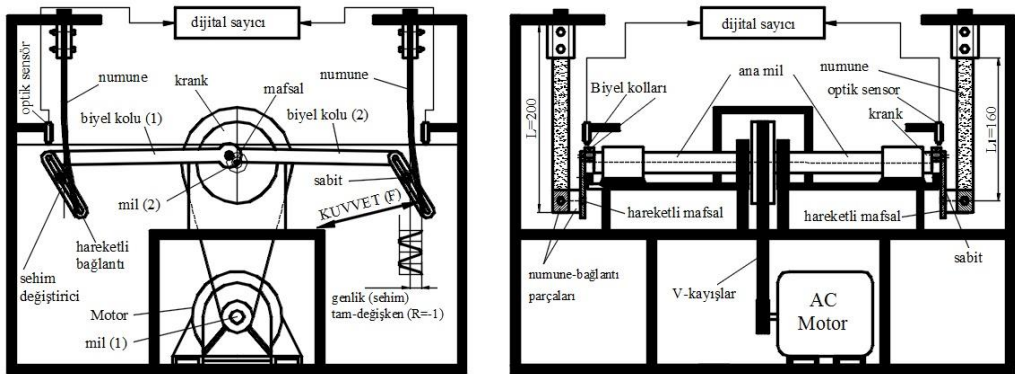
Şekil-1 a) Numuneler için farklı tekstür yapısı (HYP, HYD) ve şematik mikro tane yapısı, b) Hadde yönüne dik (HYD) kırılmış AA1100 alüminyum numune

Tablo 2. Alüminyum levhaların bazı mekanik özellikleri [3, 21-24]

Numuneler ve tekstür	Çekme Dayanımı ( $\sigma_{tu}$ )	Akma Dayanımı ( $\sigma_{tv}$ )	Elastisite Modülü ( $E_c$ )	Eğilme Dayanımı ( $\sigma_{fu}$ )	Eğilme Modülü ( $E_e$ )	Sertlik (HB)
AA1100 (HYP)	126 MPa	120 MPa	69 GPa	120 MPa	60 GPa	32 HB
AA1100 (HYD)	124 MPa	118 MPa	69 GPa	117 MPa	54 GPa	32 HB
AA1050 (HYP)	117 MPa	106 MPa	69 GPa	106 MPa	54 GPa	30 HB
AA1050 (HYD)	113 MPa	98 MPa	69 GPa	103 MPa	48 GPa	30 HB

## 2.2. Ankastre-Tip Eğilmeli Yorulma Testleri

Üç noktadan eğilme testlerinden elde edilen maksimum eğilme mukavemeti verileri, S-N eğrilerindeki başlangıç gerilme seviyelerini belirlemede yardımcı olmuştur [3, 23-29]. Bütün testler oda sıcaklığında yapılmış ve kullanılan gerilme oranı (tam değişken)  $R=-1$ 'dir. İki farklı tekstür yapısına sahip (HYP ve HYD) dört numune grubu için en az 200 adet numune kırılmıştır. Her grubun S-N eğrilerini elde etmek için 10 gerilme seviyesi belirlenmiştir. Her bir gerilme seviyesi için ortalama beşer adet olmak üzere toplam 50'şer numune kırılmıştır. Eğilme yorulması testleri Şekil 2'de görülen, 50 Hz frekansta, aynı anda dört numune bağlanabilen, sehim-kontrollü ankastre-tip cihazda yapılmıştır. Testlere  $10^7$  yük-tekrar sayısına kadar devam edilmiştir [3, 21, 22, 24, 25, 27, 28].

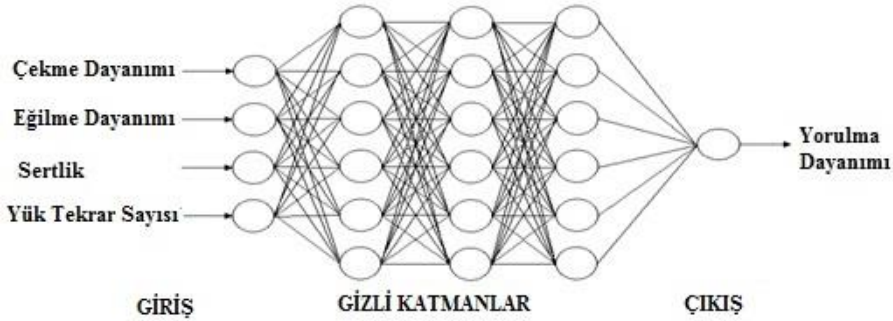


Şekil 2. Ankastre tip düzlemsel-eğme yorulması test cihazının şematik gösterimi; (a) Ön görünüş (b) Yan görünüş

### 2.3. Yorulma Dayanımının Yapay Sinir Ağları (YSA) ile Analizi

YSA'nın eğitilebilmesi ve hedef çıktılara ulaşabilmesi için çok sayıda girdi ve girdilere ilişkin çıktı dizisine gereksinim duyulur. Bu veri dizilerine "eğitim" ve "test" adı verilir. Öğrenme sürecinden sonra "test" verileri kullanılarak tasarlanan ağ nasıl sonuçlar verdiğinin görülmesi için "test" işlemi gerçekleştirilir. Öğrenme sürecinde YSA'nın istenilen çıktıları üretecek şekilde ağ içindeki ağırlıklarının düzenlenmesini sağlayan mekanizma öğrenme algoritması olarak adlandırılır.

Literatürde birçok YSA mimarisi bulunmaktadır. Bu çalışmada bunlardan tahmin amaçlı olarak mühendislik uygulamalarına uygun olan ileri beslemeli çok katmanlı geri yayılım algoritması kullanılmıştır [16, 18]. YSA modelinde hadde yönüne paralel ve dik yönde kesilerek hazırlanan AA1100 ve AA1050 alüminyum levhalar için gerçek yorulma test verileri kullanılmıştır. Yorulma dayanımına ait YSA modelinin oluşturulmasında ve eğitiminde MATLAB programı kullanılmıştır. Geliştirilen bu dört "giriş", tek "çıkış" ve altı nöronlu "gizli katmanlardan" oluşan YSA'nın genel yapısı Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 3. Tasarlanan YSA ağ yapısı

Yorulma testlerinden elde edilen 40 veriden 28 tanesi eğitim ve 12 tanesi de test ve doğrulama işlemi için kullanılmış, veri tabanı %70 eğitim ve %30 test verisi olarak ayrılmış ve bunlar denklem (1) kullanılarak normalize edilmiştir.

$$V_N = 0,8 \left( \frac{V - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \right) + 0,1 \quad (1)$$

Burada  $V_N$  bir parametredeki normalize değeri,  $V$  bir parametredeki gerçek değeri,  $V_{\max}$  ve  $V_{\min}$  ise bir parametredeki maksimum ve minimum değeri ifade etmektedir. YSA'nın kararlı yapısı için test amacıyla kullanılan veriler ağı eğitimi aşamasında kullanılmamıştır.

## 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 3.1. S-N Eğrileri

Yorulma testleri sonucundaki değerlendirmede alüminyum numuneler için hasar kriteri olarak  $10^7$  yük-tekrar sayısı ve bu yük-tekrar sayısına karşılık gelen yorulma dayanımı esas alınmıştır [21, 22, 24-30]. İki parametrelili Weibull dağılımı kullanılarak elde edilen ve  $R \approx 0.50$  güvenilirlikli ortalama yorulma ömürlerine göre elde edilen S-N eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Yorulma test verilerinin değerlendirilmesi için denklem (2)' de verilen basitleştirilmiş Basquin

üstel fonksiyonu kullanılmıştır [3, 24-28, 31-33].

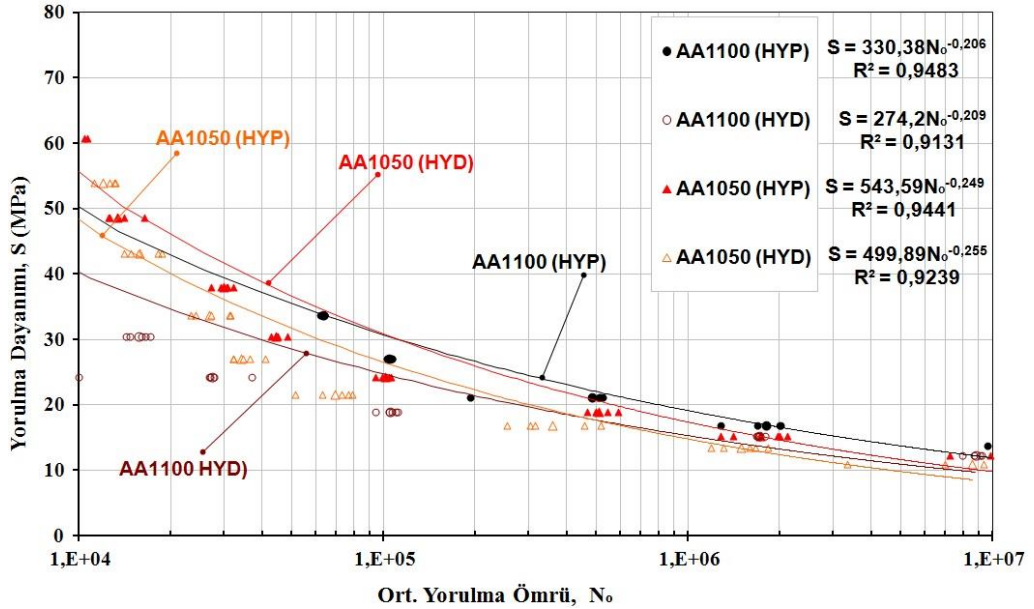
$$S = a.(N_f)^b \quad (2)$$

Bu denklemde ;

S : yorulma dayanımı (gerilme genliği),

$N_f$  : kırılmaya neden olan yük tekrar sayısı (yorulma ömrü),

a ve b : sabitlerdir (Şekil 4’de her malzeme grubu için verilmiştir)



Şekil 4. Ortalama yorulma dayanımı-Ömür (S-N) eğrileri (güvenirlilik seviyesi  $R \approx 0,50$ )

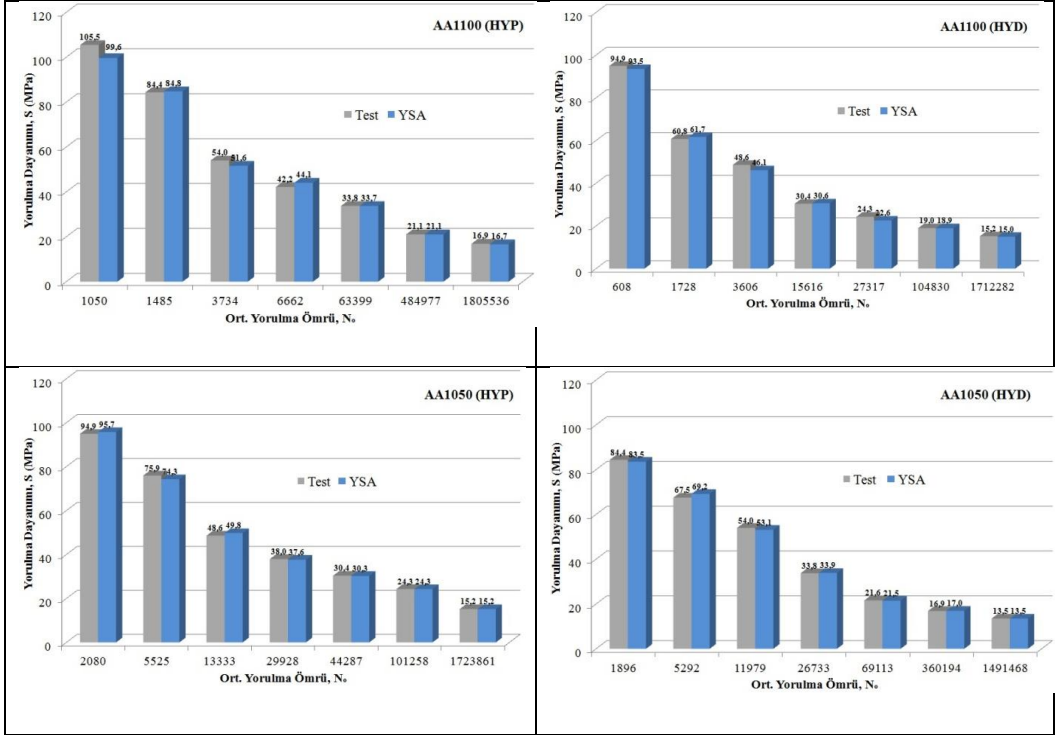
### 3.2. Yapay Sinir Ağları Sonuçları

YSA daha önce de belirtildiği gibi günümüzde birçok güncel uygulama alanında verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Bu alanlardan bir tanesi de yorulmadır. Malzemelerin yorulma davranışlarının incelenmesi, hem maliyeti yüksek hem de uzun bir zaman dilimi gerektiren deneysel çalışmalardan oluşur. Yorulmanın YSA ile modellenmesinin test maliyetlerini ve gerekli zaman dilimini azaltabilecek bir uygulama olduğu düşünülmektedir. Gerçekten günümüzde deneysel çalışmalara göre daha ekonomik ve hızlı olan YSA yöntemi birçok mühendislik uygulamasında başarılı bir şekilde kullanılabilir.

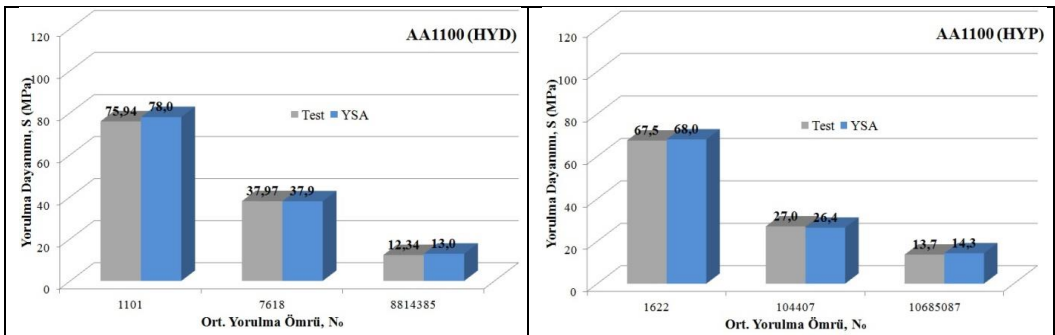
Bu çalışmada, AA1100 ve AA1050 alüminyum levhalar için yorulma dayanımı değerini tahmin edebilecek bir yapay sinir ağı modeli geliştirilmiştir. YSA için giriş verileri 0 ve 1 arasında olacak şekilde normalize edilmiştir. Çalışmada 1000 iterasyon sonunda kabul edilebilir değerlere ulaşılarak ağı eğitimi tamamlanmıştır. Eğitme fazının ortalama hata oranının %1,69 olduğu görülmüştür. Şekil 5’de elde edilen grafikler dikkate alındığında deneysel sonuçlar ile YSA’dan elde edilen değerlerin çok yakın olduğu gözlenmiştir.

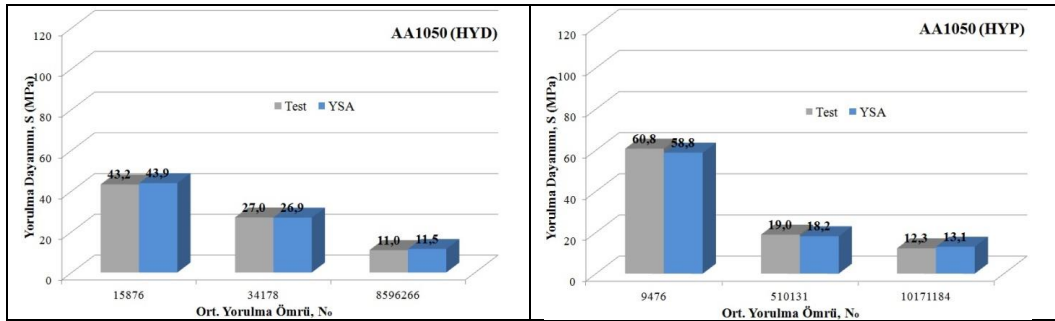
YSA’nın eğitiminde istenen hata sınırına ulaşıldıktan sonra YSA’nın test işlemine

geçilmiştir. Testlerden elde edilen 12 değer eğitime işleminde kullanılmamış, test işleminde özellikle numunenin kırıldığı andaki yorulma gerilmesi değerine ulaşılma istendiği için son değerler sisteme verilmiştir. Test fazındaki ortalama hata oranı ise %2,96'dır. Gerçek test verileri ile YSA metodu kullanılarak hesaplanmış değerler arasındaki ilişki Şekil 6'de görülmektedir.



Şekil 5. Yük tekrar sayısı - yorulma dayanımı test sonuçları ile YSA sonuçlarının eğitime fazında karşılaştırılması





Şekil 6. Yük tekrar sayısı - yorulma dayanımı gerçek test sonuçları ile YSA sonuçlarının test fazında karşılaştırılması

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada ticari saflıktaki soğuk hadde ürünü alüminyum levhaların yorulma davranışlarının belirlenmesinde deneysel çalışmalara alternatif bir yaklaşım olarak yapay sinir ağları ile tahmin modeli geliştirilmiş ve aşağıdaki temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Bu çalışma, YSA'nın soğuk haddelenmiş ticari alüminyum levhaların yorulma dayanımının tahmininde kullanılabileceğini göstermiştir.
- Dört giriş ve tek çıkışlı tasarlanan ağ yapısı yüksek doğrulukta tahminler vermiştir.
- Eğitim fazının hata oranının düşük olmasından dolayı, YSA'da test fazı için seçilen değer gerçek test sonucuna çok yakın bulunmuştur.
- YSA kullanımı gerçek yorulma dayanımını elde etmek için gerekli olan test sayısını azaltacaktır. Bu ise, çok büyük zaman ve maliyet tasarrufu sağlayacaktır.
- YSA kullanımı deney setinin hassasiyetinden ve ortam sıcaklığından kaynaklanan ölçüm hatalarını elimine eder.
- Alüminyum levhaların çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve sertlik gibi mekanik özellikleri ile istenen yük tekrar sayısına (çalışma ömrü) karşın yorulma dayanımlarının YSA ile doğru olarak tahmin edilebildiği görülmüştür.
- Bu çalışma malzemelerin klasik mekanik testlerinden elde edilen elastisite modülü, poisson oranı, şekil değiştirme yüzdesi vb. diğer mekanik özelliklerin de yorulma özelliklerine doğru ve hızlı olarak hesaplamada kullanılabileceği ümidini vermiştir. Dolayısıyla yapılan bu çalışma yorulma dayanım sınırı ve yorulma ömrü tahmini ile ilgili diğer çalışmalar için bir temel oluşturabilecektir

#### 5. SEMBOLLER

YSA : Yapay sinir ağları

HYP : Hadde yönüne paralel yön

HYD: Hadde yönüne dik yön

$\sigma_{tu}$  : Çekme dayanımı

$\sigma_{ty}$  : Akma dayanımı

$\sigma_{fu}$  : Eğilme dayanımı

$E_c$  : Elastisite modülü

$E_e$  : Eğilme modülü

HB : Brinell sertliği

$N_f$  : Kırılma çevrim (yük tekrar) sayısı



- $N_0$  : Ortalama kırılma çevrim (yük tekrar) sayısı  
R : Gerilme oranı  
 $R^2$  : Korelasyon katsayısı  
S : Yorulma dayanım sınırı (maksimum gerilme genliği)  
a, b : Malzeme parametreleri  
 $V_N$  : Bir parametredeki normalize değer  
V : Bir parametredeki gerçek değer  
 $V_{max}$  : Bir parametredeki maksimum değer  
 $V_{min}$  : Bir parametredeki minimum değer

## 6. TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın bir bölümü Balıkesir Üniversitesi ve Celal Bayar Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Fonu tarafından desteklenmiştir. Alüminyum ile ilgili testlerin bir bölümü Kara Kuvvetleri Astsubay Meslek Yüksekokulu imkanları ile yapılmıştır. Ayrıca yazarlar desteklerinden dolayı sırasıyla, Prof.Dr. İrfan AY, Öğretmen Binbaşı Muharrem ER, SEAS Mekanik A.Ş. ve Kara Kuvvetleri Astsubay Meslek Yüksekokulu Komutanlığına teşekkür ederler.

## 7. KAYNAKLAR

1. Sadeler, R., Totik, Y., Gavgalı, M., and Kaymaz, I. (2004). Improvements of fatigue behaviour in 2014 Al alloy by solution heat treating and age-hardening. *Mater Des* 25, 439-445.
2. Rooy, E.L. (2005). ASM International Handbook, Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. In Introduction to Aluminum and Aluminum Alloys, Volume 2. (USA: The Materials Information Company).
3. Sakin, R., and Er, M. (2010). Investigation of Plane-Bending Fatigue Behavior of 1100-H14 Aluminum Alloy. *J Fac Eng Archit of Gazi University* 25, 213-223.
4. Liao, M. (2009). Probabilistic modeling of fatigue related microstructural parameters in aluminum alloys. *Eng Fract Mech* 76, 668-680.
5. Miyazaki, T., Kang, H., Noguchi, H., and Ogi, K. (2008). Prediction of high-cycle fatigue life reliability of aluminum cast alloy from statistical characteristics of defects at meso-scale. *International Journal of Mechanical Sciences* 50, 152-162.
6. Fatemi, A., Plaseied, A., Khosrovaneh, A., and Tanner, D. (2005). Application of bi-linear log-log S-N model to strain-controlled fatigue data of aluminum alloys and its effect on life predictions. *Int J Fatigue* 27, 1040-1050.
7. Zhao, T., and Jiang, Y. (2008). Fatigue of 7075-T651 aluminum alloy. *Int J Fatigue* 30, 834-849.
8. Srivatsan, T.S., Kolar, D., and Magnusen, P. (2002). The cyclic fatigue and final fracture behavior of aluminum alloy 2524. *Mater Des* 23, 129-139.
9. Gruenberg, K. (2004). Predicting fatigue life of pre-corroded 2024-T3 aluminum. *Int J Fatigue* 26, 629-640.
10. Boob, G., and Deoghare, A.B. (2013). Estimation of Strain Controlled Fatigue Properties of Steels Using Tensile Test Data. In International and 16th National Conference on Machines and Mechanisms (iNaCoMM2013). (IIT Roorkee, India).
11. Allahverdi, N. (2011). *Uzman Sistemler, Bir Yapay Zekâ Uygulaması*, (İstanbul: Atlas Yayın Dağıtım).
12. Öztemel, E. (2012). *Yapay Sinir Ağları*, (İstanbul: Papatya Yayıncılık).
13. Durmuş, H.K., Özkaya, E., and Meriç, C. (2006). The use of neural networks for the

prediction of wear loss and surface roughness of AA 6351 aluminium alloy. *Mater Des* 27, 156-159.

14. Esmе, U., Sagbas, A., Kahraman, F., and Kulekci, M.K. (2008). Use of Artificial Neural Network In Ball Burnishing Process For The Prediction Of Surface Roughness Of AA 7075 Aluminium Alloys. *Materials And Technology* 42, 215-219.

15. Mathew, M.D., Kim, D.W., and Ryu, W.-S. (2008). A neural network model to predict low cycle fatigue life of nitrogen-alloyed 316L stainless steel. *Materials Science and Engineering: A* 474, 247-253.

16. Karataş, C., Sozen, A., and Dulek, E. (2009). Modelling of residual stresses in the shot peened material C-1020 by artificial neural network. *Expert Systems with Applications* 36, 3514-3521.

17. Abdalla, J.A., and Hawileh, R. (2011). Modeling and simulation of low-cycle fatigue life of steel reinforcing bars using artificial neural network. *Journal of the Franklin Institute* 348, 1393-1403.

18. Karakas, Ö. (2011). Estimation of fatigue life for aluminium welded joints with the application of artificial neural networks. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* 42, 888-893.

19. TSE (2010). TS EN 485-2: Aluminium and Aluminium Alloys Sheet Strip and Plate Part 2: Mechanical Properties. In Turkish Standards Institute (TS). (Ankara, Turkey).

20. ISO (2005). EN ISO 7438:2005(E), Metallic materials. Bend test. (Geneva, Switzerland).

21. Er, M. (2006). Investigation of Bending Fatigue Behaviour of the 1100-H14 Aluminium Plate and The Design of a Amplitude-Regulated, High Frequency Bending Fatigue Test Machine. In Institute of Science, Department of Mechanical Engineering. (Balıkesir, Turkey: Balıkesir University).

22. Kumru, N. (2007). Design of Fatigue Test Apparatus for Etial-141, Etial-145 and Etial-160 Type Cast Aluminum and Plate Aluminum Materials and Investigation of Bending Fatigue Behaviours. In Institute of Science, Department of Mechanical Engineering. (Manisa, Turkey: Celal Bayar University).

23. Ay, I., and Sakin, R. (2006). Production and testing of glass-fiber reinforced plastic axial fan blades for replacement for aluminum ones that are produced in Balıkesir. In Scientific Research Project, Volume 2002/14. (Balıkesir, Turkey: Balıkesir University Research Foundation).

24. Sakin, R., Kumru, N., Er, M., and Ay, I. (2010). Statistical Analysis of Fatigue-Life Data for Aluminum Alloys and Composites. In 2nd National Congress of Design, Manufacturing and Analysis, A. Oral, ed. (Balıkesir, Turkey).

25. Sakin, R., and Ay, İ. (2008). Statistical analysis of bending fatigue life data using Weibull distribution in glass-fiber reinforced polyester composites. *Mater Des* 29, 1170-1181.

26. Sakin, R., Ay, İ., and Yaman, R. (2008). An investigation of bending fatigue behavior for glass-fiber reinforced polyester composite materials. *Mater Des* 29, 212-217.

27. Ay, İ., Sakin, R., and Okoldan, G. (2008). An improved design of apparatus for multi-specimen bending fatigue and fatigue behaviour for laminated composites. *Mater Des* 29, 397-402.

28. Sakin, R., Kumru, N., and Ay, İ. (2008). Design of Apparatus for the Stress-Controlled, Multi-Specimen Bending Fatigue Test and an Application for Composites. In 12th International Materials Symposium (IMSP'2008), Volume 531-541, C. Meran, ed. (Denizli, Turkey: Pamukkale University).

29. Kim, H.Y., Marrero, T.R., Yasuda, H.K., and Pringle, O.A. (1999). A Simple Multi-Specimen Apparatus for Fixed Stress Fatigue Testing. *J Biomed Mater Res* 48, 297-300.

30. Ben Zineb, T., Sedrakian, A., and Billoet, J.L. (2003). An original pure bending device with large displacements and rotations for static and fatigue tests of composite structures.

Composites Part B 34, 447-458.

31. Khashaba, U.A. (2003). Fatigue and Reliability Analysis of Unidirectional GFRP Composites Under Rotating Bending Loads'. *J Compos Mater* 37, 317-331.
32. Abdallah, M.H., Abdin, E.M., Selmy, A.I., and Khashaba, U.A. (1996). Reliability analysis of GFRP pultruded composite rods. *Int J Qual & Reliab Manage* 13, 88-98.
33. Tai, N.-H., Yip, M.-C., and Tseng, C.-M. (1999). Influences of thermal cycling and low-energy impact on the fatigue behavior of carbon/PEEK laminates. *Composites Part B* 30, 849-865.

## AKYAKA (MUĞLA) VE YAKIN DOLAYINDAKİ FAYLARIN DEPREMSELLİK BAKIMINDAN İNCELENMESİ

### INVESTIGATION OF THE FAULTS IN TERMS OF SEISMICITY OF AKYAKA (MUĞLA) AND NEAR SURROUNDING

Mete HANÇER<sup>1</sup>, Fırat TEKİN<sup>2</sup>

#### ÖZET

Gökova körfezinin doğusunda bulunan çalışma sahası ve yakın çevresi ülkemizin birinci derece deprem bölgesinde yer alır. Batı Anadolu'daki halen aktif olan K-G yönlü açılma neticesinde yaklaşık D-B doğrultulu grabenler ve onları oluşturan kenar fayları aktif olup tarihsel ve aletsel dönemlerde büyük depremler üretmişlerdir. Bu faylarından biri de körfezin kuzey kenarını oluşturan Gökova fayıdır. Bu fayın doğuya doğru uzantısı Akyaka ve çevresinden geçer. Genel olarak D-B doğrultulu, zaman zaman da BKB-DGD ve DKD-BGB doğrultulu olarak farklı segmentler halinde gözlenen fay zonu zaman zaman 600-700 m kuzeye ya da güneye sıçrama yaparak devam eder. Çalışma alanında bu segmentleri birbirinde ayıran bu segmentlere yaklaşık dik/verev konumlu KB-GD doğrultulu faylar da mevcuttur. Bunların D-B doğrultulu iki fay segmenti arasında gelişen yersel aktarım rampası kırığı (relay ramp) olabileceği yorumlanır. Ana faya verev gelişen bu tür fayların aktifliğine dair herhangi bir veri gözlenmez ancak bölgede D-B doğrultulu fayların özellikle son yıllardaki bölgede gözlenen sismik aktivite dikkate alınarak üzerinde durulması gerekir.

**Anahtar Kelimeler:** Gökova, Akyaka Fay, Deprem, Graben, Segment

#### ABSTRACT

According to seismic risk zoning map of Turkey, Study area which located east of Gökova Bay and its surrounding region is take place in the first level earthquake area. As a result of the N-S directed active opening of the Western Anatolia Crust, E-W directed graben structures are formed and these structures are generated big earthquakes in historical and instrumental periods. One of the side faults which formed grabens is Gökova fault which located north of the bay. The eastern extension of this fault passes through Akyaka and its surroundings. In general, the fault zone, which is observed in D-B direction and occasionally in different segments in the direction of BKB-DGD and DKD-BGB, continues to bounce 600-700 m north or south. In the study area, there are also NW-SE trending faults in the steep / oblique position which separate these segments. It is interpreted that these may be the locational relay ramp fractured that develops between two fault segments in D-B direction. No data is available on the activity of these faults that develop such as oblique to the main fault, but it is necessary to consider the seismic activity of the D-B striked faults in the region, especially in recent years.

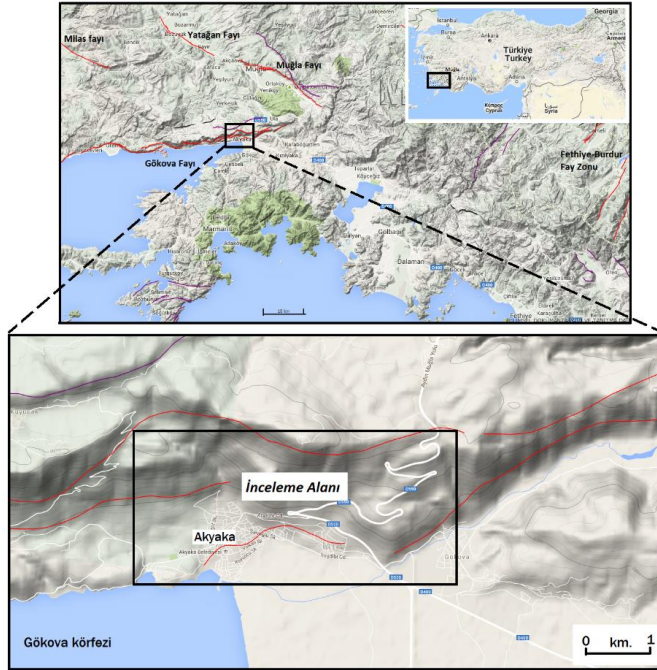
**Keywords:** Gökova, Akyaka, Fault, Earthquake, Graben, Segment

<sup>1</sup> Doç.Dr., Pamukkale Üniv., Müh. Fak., Jeoloji Müh. Böl., Kınıklı Kampüsü DENİZLİ [mhancer@pau.edu.tr](mailto:mhancer@pau.edu.tr)

<sup>2</sup> Öğr. Gör., Celal Bayar Üniv., Soma Meslek Yüksekokulu, Soma, MANİSA, [ftekin73@gmail.com](mailto:ftekin73@gmail.com)

## 1. GİRİŞ

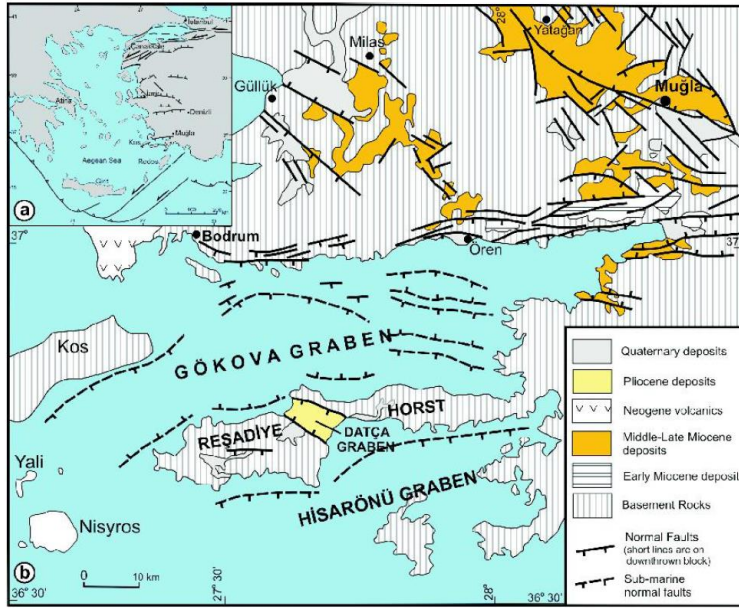
Bölge Jeolojik bakımdan Literatürde Menderes Masifi ve Likya Napları olarak bilinen bir bölgede yer alır (şekil 1). Güneybatı Türkiye’de Menderes masifi ve Beydağları Otoktonu arasında yer alan ve Burdigaliyen sonrasında Beydağları Otoktonu üzerine yerleşmiş olan allokton konumlu kütleler Likya Napları (=Lisiyen Napları) olarak bilinirler. Likya Napları birbirinden farklı ortamlarda gelişmiş ve birbirleri üzerine bindirmeli yapılar oluşturan farklı kökenli kaya birimleri ile temsil edilirler. Çalışma alanının da içinde bulunduğu Menderes masifi yaklaşık KD-GB yönlü oval bir şekilde uzanır. Masifin KB kenarı İzmir-Ankara Zonu ile GD kenarı ise Toros kuşağı ve Likya Napları ile sınırlanır (Dora ve diğ., 1992). Menderes masifine ait Jura-Kretase yaşlı Mermerler, Likya naplarına ait karbonat kayalar ve Miyosen yaşlı kırıntılı tortullar çalışma bölgesinin temel kayalarını oluşturur. Batı Anadolu Bölgesi, Anadolu Plakasının batıya doğru hareketi neticesinde aktif açılmanın ve dolayısıyla graben sistemlerinin yoğun olduğu bölgedir. Batı Ege bölgesi K-G yönlü açılmanın egemen olduğu ve D-B doğrultulu grabenlerin (Büyük Menderes Grabeni, Gediz Grabeni, Gökova Grabeni) yer aldığı kesimdir.



Şekil 1. Çalışma bölgesi yer bulduru haritası (yerbilimleri.mta.gov.tr den değiştirilmiştir)

Çalışma alanını oluşturan Muğla ve çevresi tektonik açıdan oldukça önemlidir. Bölgede Likya naplarına ait ters fay-bindirme, kıvrım gibi unsurlar çalışma sahasının kuzeyi ve özellikle de güney bölgesinde yoğunur. Bunlar eski tektonik yapılardır ve Alt Miyosen sonrasında gelişmişlerdir. Bölge aktif tektonik açıdan dolayısıyla depremsellik açısından da oldukça önemlidir. Çalışma sahası ve yakın çevresinde açılma tektoniği sonucu gelişmiş ve depremsellik açısından tehlikeli olabilecek birçok fay bulunur. KB-GD uzanımlı Muğla fayı, Milas fayı ve Yatağan fayı, D-B uzanımlı Gökova Fay zonu ve daha da doğuda KD-GB uzanımlı Fethiye-Burdur fay zonu bölgenin aktif tektonik yapılarıdır. Bunlardan özellikle Gökova fayı çalışma sahasının aktif tektoniğini kontrol eden kırık zonudur (Şekil 2).

Gökova fay zonu üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Dirik, (2007) yaptığı çalışmada Gökova fayının güneyinde bulunan çöküntüyü Gökova Grabeni olarak adlandırmış, daha güneyde ise Datça grabeni ve Hisarönü grabenlerini incelemiştir. Hisarönü ve Gökova grabenleri arasında kalan yükseltiyi ise Reşadiye horstu olarak incelemiştir. Araştırmacı, Gökova ve Hisarönü grabenlerinin Erken Kuvaternerde gelişmeye başladığını vurgulayarak Datça grabeninin daha eski olduğunu belirtmiştir. Gürer ve Yılmaz, (2002) ise Gökova grabenini kuzeyini sınırlayan D-B doğrultulu fayların Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı tortulları kestiğini ve önlerinde ise 400 m. den daha kalın çakıltışı ve molozların biriktiğini söylemişlerdir. Görür ve diğ., (1995) ise K-G yönlü açılma sonucu oluşan D-B doğrultulu Gökova körfezinin rift graben sistemi olduğundan bahsetmektedirler. Kurt ve diğ., (1999) ise körfez tabanında sismik çalışma yapmışlar ve grabenin güneyinde detachment (sıyrılma) fay karakterinde bir ana faydan bahsetmişlerdir. Bu ana kayma düzlemi kuzeyinde sıyrılma faylarına özgü roll-over kıvrım ve genç fayların varlığından bahsediler.



Şekil 2. Gökova fay zonu ve çevresinin genç tektonik hatları (Dirik, 2007) (Görür vd., 1995 ve Kurt vd., 1999 dan değiştirilmiştir).

## 2. DEPREMSELLİK

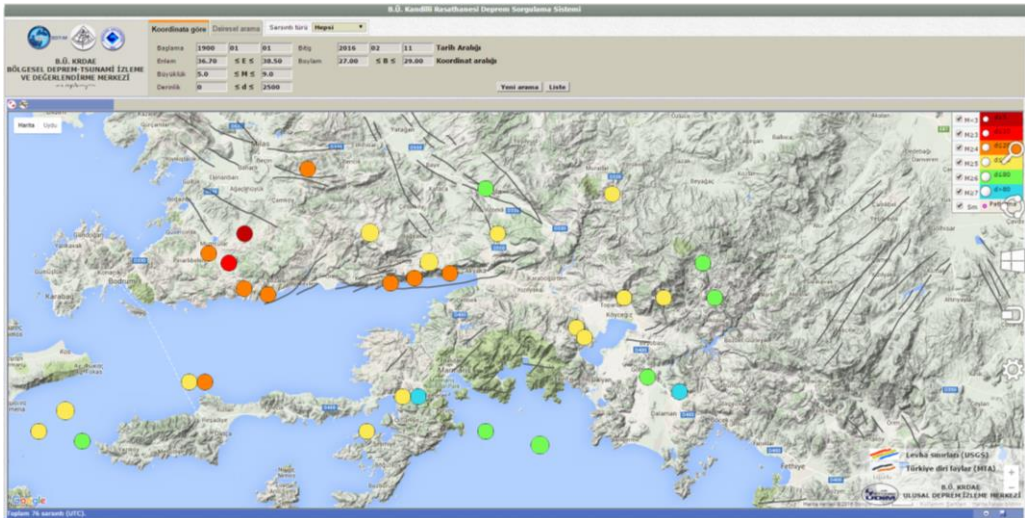
Güneybatı Anadolu bölgesi ve Ege Denizi sismik aktivitesi yüksek yerlerden biridir. Tarihsel ve aletsel dönem kayıtlarında şiddeti X, büyüklüğü ise 7.7'ye ulaşan deprem ve tsunamilerin varlığından bahsedilmektedir. Bölgede 2000-2006 yılları arasında magnitudu 4.0 dan büyük depremlerin odak derinlikleri ve fay çözümleri incelendiğinde sığ depremlerin D-B doğrultulu normal fay, derin odaklı depremlerin ise oblik karakterli faylarla ilişkili olduğu gözlenir. Sığ depremlerin Gökova körfezi orta ve kuzeyinde yoğunlaşması körfezin orta ve kuzey kesimlerinin halen aktif olduğunu kanıtlar. Derin odaklı depremler ise Ege yitim zonuyla alakalı olup güneydeki Reşadiye bölgesinde yoğunlaşır. Tarihsel depremler ve sismik aktiviteler incelendiğinde bölgede tsunami olma olasılığı yüksektir (Dirik, 2007).

### 2.1. Tarihsel Dönem Deprem Etkinliği

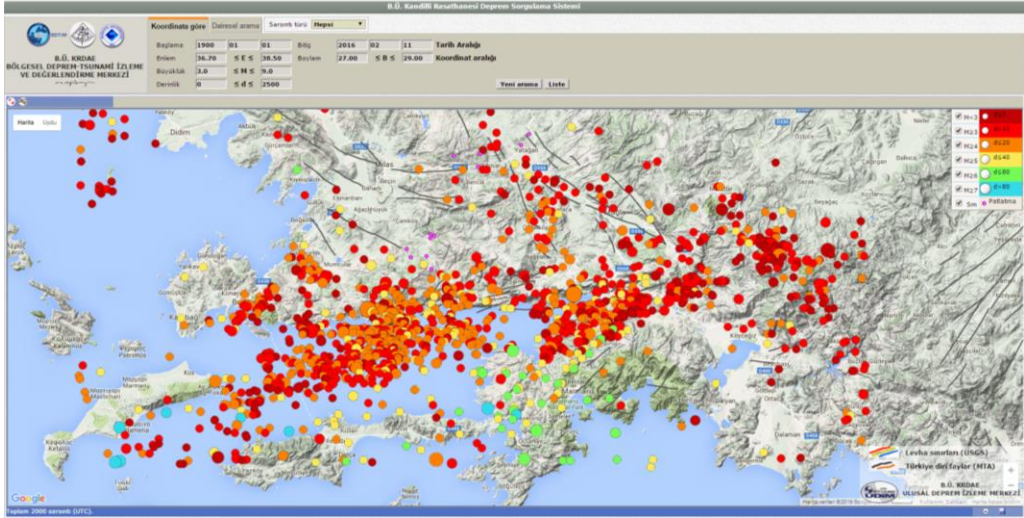
Muğla ve çevresinin tarihsel dönemlerde de deprem aktivitesi bakımından oldukça etkin olduğu bilinmektedir. MÖ 227, MÖ 199-198 ve MS 142-144 bilinen büyük depremlerdir. 1493 depremi Bodrum kasabasının tamamen yıkılmasına sebep olmuştur. Muğla ve Gökova körfezini etkileyen diğer tarihsel dönem depremleri ise 1741 (Şiddet:?), 1851 (Şiddet: 9), 1863 (Şiddet: 9) ve 1869 (Şiddet: 8) yıllarında meydana gelen depremlerdir (Kartal ve diğ., 2014). Yağmurlu ve diğ., (2009) yılında Gökova fayı üzerinde paleosismolojik amaçlı bir çalışma yapmışlar ve bu fay üzerinde günümüzden 5800-6000 yıl öncesine ait bir sismik faaliyetin varlığından bahsederler.

## 2.2 Aletsel Dönem Deprem Etkinliği

Birinci derece deprem bölgesi olan Muğla ve yakın çevresinin 1900 yılından günümüze kadar olan aletsel dönem depremleri de oldukça dikkat çekicidir. 26,06,1926 M=7.7 (Datça GB'sı), 23,04,1933 M=6.4 (Gökova Körfezi batısı), 13,12,1941 M=6.0 (Gökova), 23,05,1941 M= 6.0 (Gökova), 23,05,1961 M=6.3 (Marmaris açıkları) depremleri aletsel dönemde çalışma bölgesi yakın dolaylarında meydana gelen depremlerdir. Çalışma sahasını direk ilgilendiren Gökova körfezi bölgesinde 1941 yılında iki adet 1933 yılında da 1 adet olmak üzere toplam 3 adet magnitüdü 6.0 ve üzeri deprem olmuştur. Magnitüdü 5.0 ve üzeri depremler ise Gökova fayı boyunca uzanır (Şekil 3). Gökova Körfezi ve yakın çevresinde magnitüdü 3.0 ve üzeri depremlerin ise körfezin doğu ve batısında yoğunlaştığı gözlenir (şekil 4). Gökova körfezinde 1941 yılında M=6.0 olan ve 7 ay ara ile iki büyük deprem meydana gelmiştir. Özellikle 2013 yılında magnitüdü 4.0 ve üzeri olan üç deprem meydana gelmiş ve yaklaşık 8 ay boyunca artçıları devam etmiştir. Bölgenin aktif hatlarından biri de Bodrum olup 2014 yılında deprem aktivitesinde bir artış gözlenir (Kartal ve diğ., 2014). 13 Eylül 2015 gibi yakın bir tarihte Otmanlar Köyceğiz bölgesinde M=4.5 olan bir deprem meydana gelmiş olup bu deprem çalışma alanı yakın çevresine karşılık gelmektedir. 21 Temmuz 2017 de Bodrum ve Datça arasında meydana gelen deprem (M=6.3) bölgede kısmen yıkıntılara sebep olmuştur. Temmuz ve Ağustos 2017 tarihleri arasında ise çok sayıda artçı depremin ardından 24 Ekim 2017 de ise M= 4.6 olan bir deprem daha meydana gelmiştir. Bu depremler Gökova fayının batı kesimindedir ve doğuya doğru kayma eğilimindedir. Bu husus dikkat çekicidir.



Şekil 3. Aletsel dönemde Gökova ve yakın çevresinde Magnitüdü 5.0'den büyük olan deprem dağılımları ([www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr))



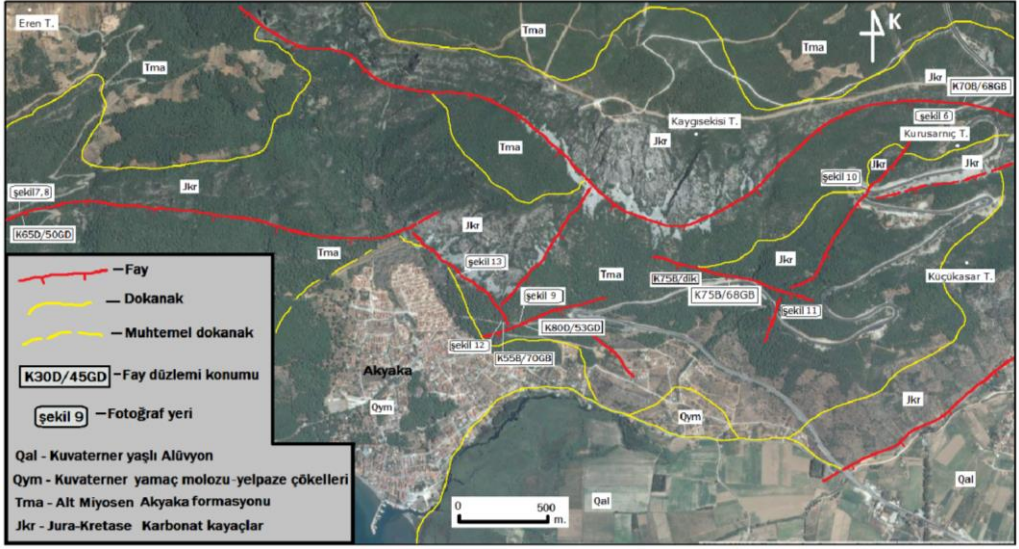
Şekil 4. Aletsel dönemde Gökova ve yakın çevresinde Magnitudu 3.0'den büyük olan deprem dağılımları ([www.koeri.boun.edu.tr](http://www.koeri.boun.edu.tr))

### 3. ÇALIŞMA ALANININ TEKTONİĞİ

Yaklaşık 150 km. uzunluğunda ve batıya doğru 5 km. den 30 km. ye kadar uzanan genişlikteki Gökova grabeninin kuzey kenarındaki sahil yaklaşık D-B doğrultulu bir çizgisellik şeklinde uzanır. Oldukça dik yamaçlar oluşturan bu çizgisellik birbirine paralel gelişen ve çoğunlukla da eğim atımlı faylardan oluşan bir zon meydana getirir. Yörede çalışan önceki araştırmacılar (Görür ve diğ., 1995; Kurt ve diğ., 1999; Uluğ ve diğ., 2005) Gökova Körfezinin kuzeyden ve güneyden D-B uzanımlı normal fay sistemleri ile sınırlanmış bir çöküntü alanı olduğunu vurgulamışlar ve bu nedenle Gökova Körfezine gerçekte bir rift zonu olduğuna değinmişlerdir. Araştırmacılar Gökova Körfezi içerisinde gelişen bu D-B uzanımlı fayların deniz içerisinde basamaklı yapılar oluşturduğunu ve körfez içinde 1000 metreye ulaşan derinliklerin ortaya çıkmasına neden olduğunu belirtmişlerdir.

Gökova ve Akyaka bölgesinde yer alan aktif fay sistemleri egemen olarak D-B doğrultuludur. Akyaka yerleşim alanı içinden geçen Gökova fayı, topoğrafyada oluşturduğu oldukça sarp ve çok genç bir morfolojik yapı sunar (şekil 5). Gökova fayı boyunca gelişmiş yelpaze konileri, kayma çizikler, fay breşi ile çizgisel dizilim gösteren su kaynakları dikkat çekicidir. Özellikle Jura Kretase yaşlı karbonat kayaçlar içerisinde çok yoğun bir şekilde kırık ve çatlak sistemleri gelişmiştir. Akyaka'nın 2 km doğusunda yer alan Karia uygarlığına ait kaya mezarlarında gözlenen deformasyon yapıları, Gökova fayının, günümüzde olduğu gibi, antik dönemlerde de sismik yönden oldukça aktif olduğunu göstermesi bakımından önemlidir (Yağmurlu ve diğ., 2009).

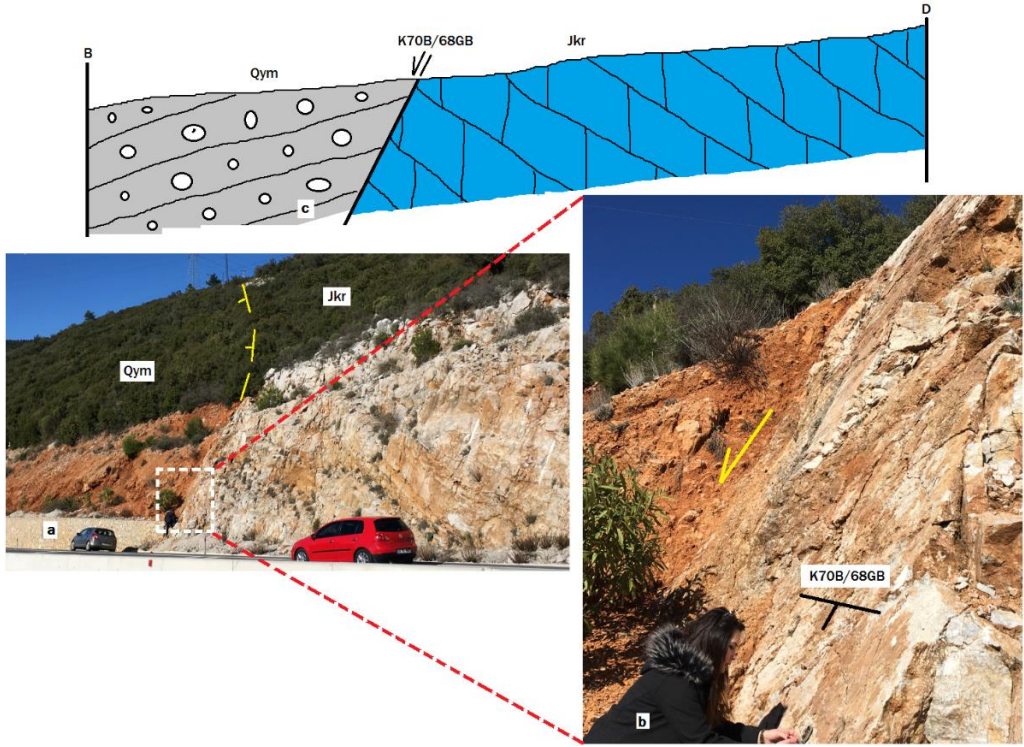




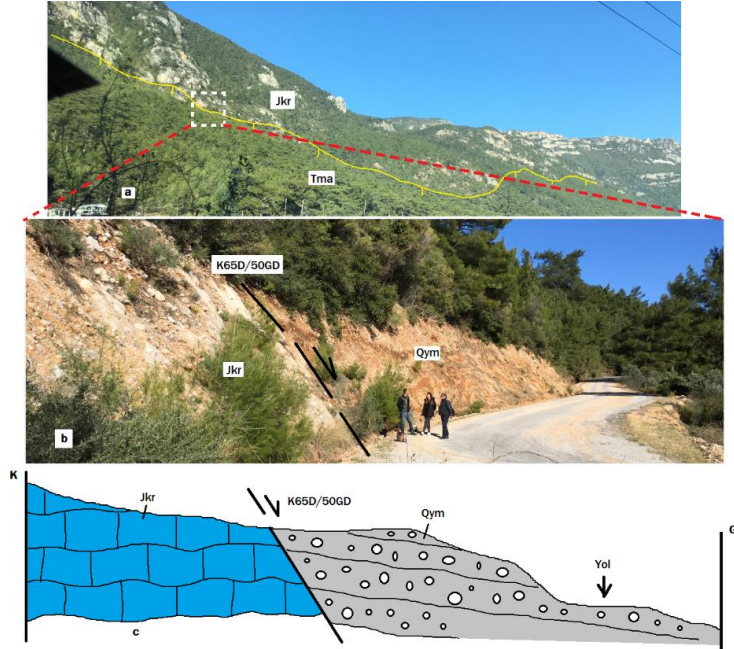
Şekil 5. Çalışma Bölgesinin Google map üzerine çizilmiş jeoloji ve fay haritası

Çalışma sahası ve çevresinin fay haritası hazırlandığında Akyaka'nın kuzeyinde, Kuyucak köyü doğusundan başlayıp Yumrukçal ve Kaygısekisi tepeler güneyinden geçerek doğuya doğru uzanan fay hattı dikkat çeker. Bu hat haritalanan alanda yaklaşık 5 km uzunluğunda izlenir. Bu hat üzerinde özellikle Kaygısekisi tepe güneyinde oldukça gevşek genç yelpaze tortulları gözlenir. Akyaka-Muğla karayolu üzerinde fayın özelliklerini görmek mümkündür (şekil 6). Burada fayın konumu  $K70^{\circ}B/68^{\circ}GB$  olarak ölçülmüştür. Kayma çizikleri net olarak gözlenmeyen fayın düşen güney bloğunda yer yer Akyaka formasyonu ve yamaç molozu bulunur.

Bu fayın hemen güneyinde yaklaşık aynı karakterlere sahip bir fay daha bulunur. Akyaka B-KB'sında Kuyucak güneyinde Eren tepe güney eteklerinden geçen fay Akyaka'nın dolayısıyla çalışma sahasının dışında kuzeyde sonlanır ve daha doğuya doğru devamı izlenmez. Fayın genel konumu  $K80^{\circ}D/50^{\circ}GD$  konumlu olarak devam eder. Fay düzlemi Kuyucak yolu üzerinde  $K65^{\circ}D/50^{\circ}GD$  olarak ölçülmüştür (şekil 7). Fayın güney bloğu düşmüş olup düşen blokta yer yer yamaç molozu ve Akyaka formasyonu bulunur. Fay üzerindeki kayma çizikleri gözlenir. Burada rake açısı  $80^{\circ}$  civarındadır. Böylece genelde eğim atımlı olarak değerlendirilen fayın az da olsa kısmen bir sağ yanal bileşeni mevcuttur. Fay düzlemi üzerinde yoğun gelişmiş breşik zon mevcuttur (şekil 8).

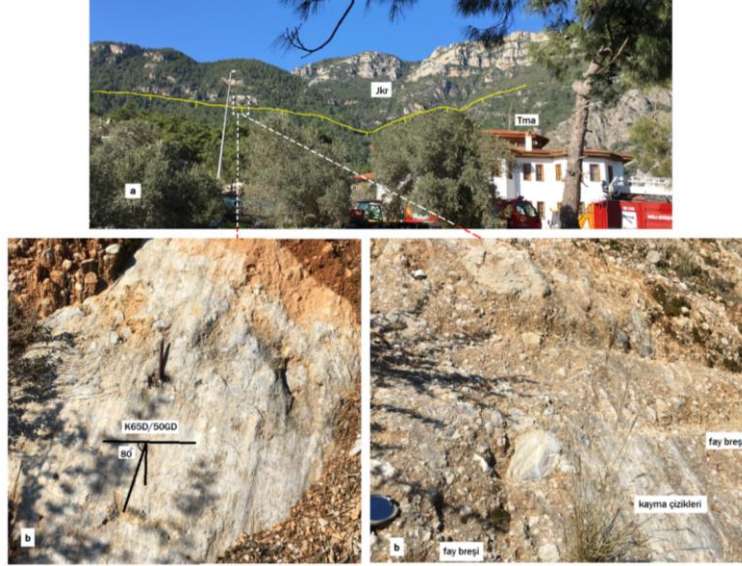


Şekil 6. Kaygısekisi tepe güneyinden geçen fayın a: genel görünümü (KB'ya bakış), b: yakından görünümü, c: enine jeolojik kesiti.



Şekil 7. Ereuntepe güneyinden geçen fayın a: genel görünümü (KD'ya bakış), b: yakından

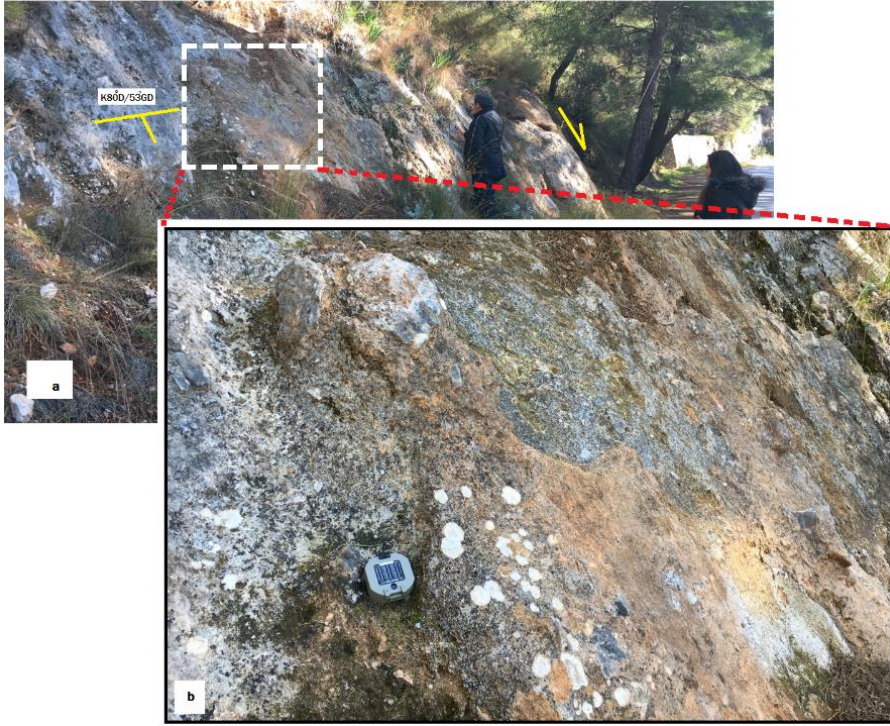
*görünümü, c: enine jeolojik kesiti*



*Şekil 8. Erentepe güneyinden geçen fayın a: genel görünümü (K'e bakış), b: fay düzlemi kayma çizikleri, c: düzlem üzerindeki breşik zon (K'e bakış)*

Yukarıda bahsedilen ve çalışma sahasının yaklaşık 300 m. kuzeyine kadar uzanan fakat doğuya devamı izlenemeyen fayın yine yaklaşık 600-700 m. güneyinde devamı niteliğinde bir kırık daha gözlenmiştir. Bu kırık Akyaka doğusunda yol üzerinde net olarak izlenir (şekil 9). Burada fayın konumu  $K80^0D/53^0GD$  olarak ölçülmüştür. Haritalanan alanda yaklaşık 500 m. uzunluğunda izlenen fayın güney bloğu düşmüştür. Fay çizikler net olarak gözlenemeyen aynada yoğun breşik zon göze çarpar.

Muğla yolu üzerinde düşey eğimli bir fay daha gözlenmiş olup konumu  $K75^0B/Düşey$  olarak belirlenmiştir (şekil 10). Haritalanan alanda 500-600 m. uzunluğunda gözlenen fayın GB bloğu düşmüş olup düşen blokta yamaç molozu ve Akyaka formasyonu yer alır.

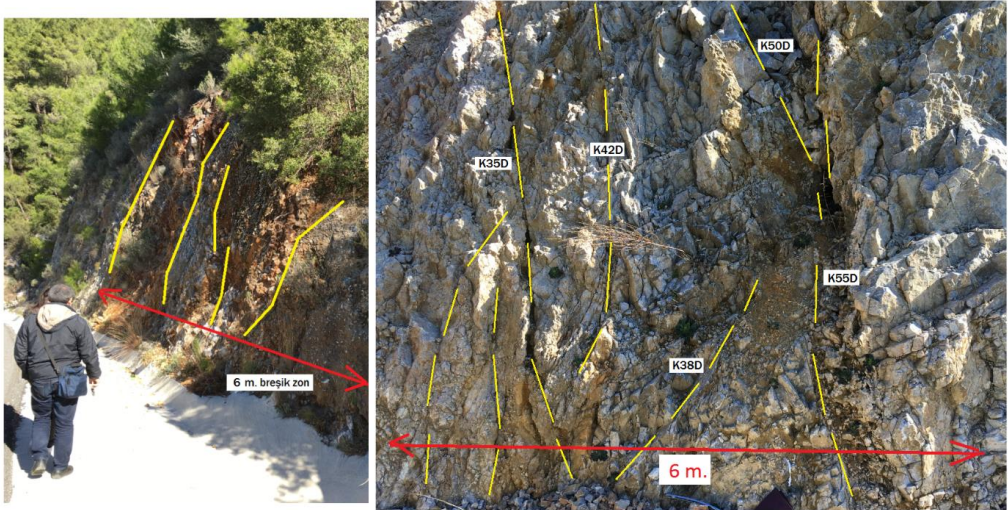


Şekil 9. a: Akyaka doğusunda yol üzerinde gözlenen fay aynası (D'ya bakış), b:breşik zon (D'ya bakış)



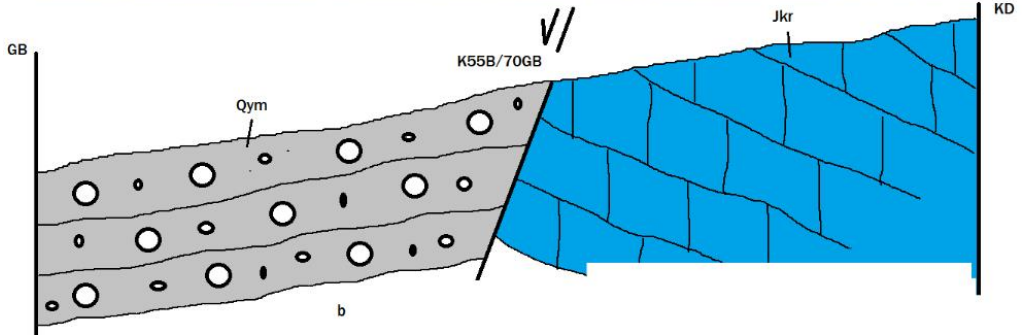
Şekil 10. Muğla yolu üzerinde düşey eğimli fay (BKB'ya bakış)

Buraya kadar anlatılan fayların genel olarak D-B uzanımlı Gökova fayının bileşenleri veya ona paralel gelişen sintetik kırıklar olarak yorumlanır. Bölgede ayrıca KD doğrultulu faylar vardır. Bunlardan en belirgin olanı Gökova yerleşim yerinden geçen ve yaklaşık  $K60^0D$  doğrultusunda uzanan faydır. Bölgesel olarak önemli olan bu fay çalışma sahasına oldukça uzaktır ancak sahada bu faya paralel gelişen kırıklar mevcuttur. Bunlardan Muğla yolu üzerinde gözlenen, KD'dan GB'ya doğru Kurusarnıç tepe, Sakar tepe ve Küçükasar tepe lokasyonlarından geçen fay zonu yaklaşık  $K50^0-60^0D$  doğrultusunda uzanır. Kurusarnıç tepe güneybatısında ana yol üzerinde 6 m.lik bir kırık zonu vardır. Bu zon üzerindeki kırıkların konumları  $K35^0-55^0D$  arasında değişir (şekil 11). Bu lokasyonda ezilme zonu, fay breşi, çatlaklar oldukça yoğundur. Bu zonun daha GB'sına doğru gidildikçe yine ana yol üzerinde 30 m.'lik bir ezilme zonu daha göze çarpar. Küçükasar tepe GB'sında gözlenen zonda breşleşme, kırıklar, çatlaklar, köşeli çakıllar, kırmızı renk, kalsit dolgular gibi yapılar görülür (şekil 11). Bunların dışında yine Kaygısekisi tepe güneyinde yaklaşık aynı doğrultuda fay vardır. GD bloğu düşen fay Kireçtaşı ile Akyaka formasyonunun tektonik dokanağını oluşturur.

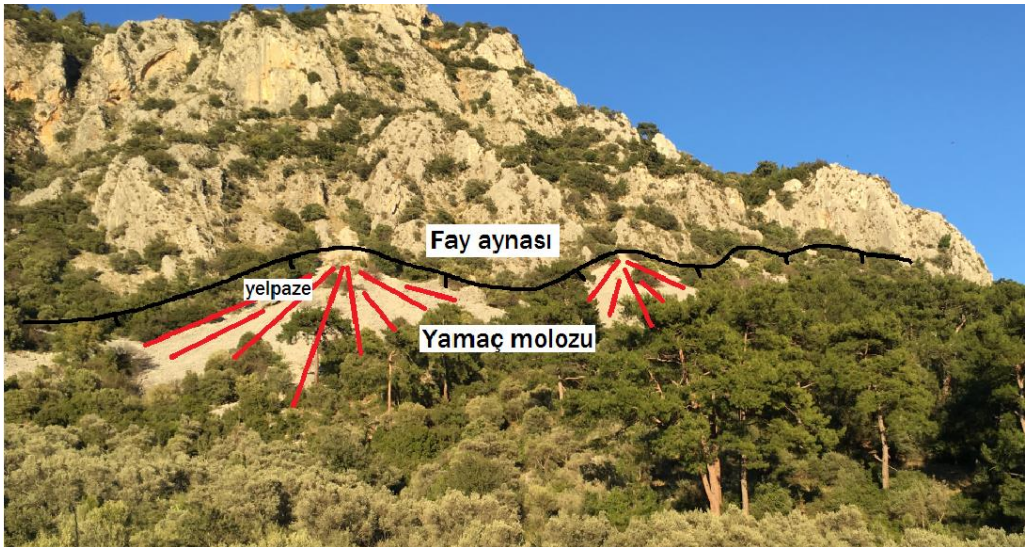


Şekil 11. Muğla yolu üzerinde Küçükasar ve Kurusarnıç tepe GB'sında 6 m. genişliğindeki fay zonu (KD'ya bakış)

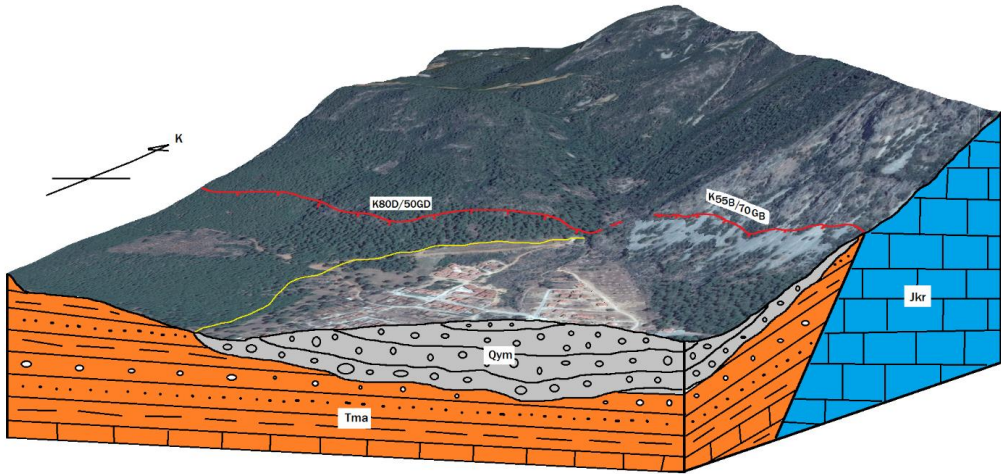
Bölgede Akyaka KD'sunda çalışma alanına da yakın olan KB doğrultulu bir fay vardır. Bu fay haritalanan alanda yaklaşık 700-800 m. uzunluğunda gözlenmiştir. Fay GD'ya doğru takip edildiğinde Akyaka yolunu kestiği lokasyonda  $K55^0B/70^0GB$  konumlu olarak ölçülmüştür (şekil 12). Fay düzlemi üzerindeki fay çizikleri belli değildir. GB bloğu düşen fayın GB eteklerinde üst kısımlarda genç yelpaze oluşukları, alt kısımlarda ise nispeten daha yaşlı yamaç molozu bulunur (şekil 13). Önündeki yelpaze tortullarının da faya doğru eğimli olmaması dikkat çekicidir. Ayrıca fayın KBya doğru ve GD'ya doğru devamı yoktur. Kuzeyde ve güneyde D-B doğrultulu fayların geçtiği hatlardan itibaren devamı gözlenmez. Bu özellik ise bu kırığın D-B doğrultulu faylar tarafından kesilmiş olabileceği yorumunu ortaya çıkarır. Bu nedenlerle bu fay en azından D-B doğrultulu faylardan daha yaşlı olmalıdır.



Şekil 12. a:Akyaka yolu üzerinde gözlenen KB doğrultulu fay (KB'ya bakış), b: enine kesit



Şekil 13. Akyaka KD'sunda gözlenen KB doğrultulu fay önündeki yelpaze ve yamaç molozu (Doğuya bakış)



Şekil 14. Akyaka kuzeyindeki çalışma sahası ve yakın çevresinde bulunan birim ve yapıların blok diyagramı

#### 4. SONUÇ

Çalışma sahası Muğla iline bağlı Ula ilçesi güneyindeki Akyaka ve çevresinde yer alır. Bu bölge ülkemizin birinci derece deprem bölgesi içerisindedir. Batı Anadolu'daki K-G yönlü halen aktif olan açılma neticesinde yaklaşık D-B doğrultulu grabenler ve onları oluşturan kenar fayları aktif olup tarihsel ve aletsel dönemlerde büyük depremler üretmişlerdir. Güneybatı Anadolu'nun aktif faylarından birisi de Gökova körfezinin kuzey kenarını oluşturan Gökova fayıdır. Bu fayın doğu segmenti çalışma sahası içerisindedir. MTA'nın 1/25 000 ölçekli diri fay haritasında aktif olarak belirtilen bu fay yerli ve yabancı birçok bilim adamı tarafından da aktifliğine yönelik olarak detaylı incelenmiştir. Gökova fayı ve farklı doğrultularda gelişen diğer fay sistemleri Akyaka ve yakın çevresinde görülür. Çalışma sahası kuzeyinde ve güneyinde Gökova fayının segmentlerini görmek mümkündür. Bu segmentler bölgede genel olarak D-B doğrultulu, zaman zaman da BKB-DGD ve DKD-BGB doğrultulu olarak gözlenirler.

Özellikle sahanın kuzeyinde D-B doğrultulu olarak gözlenen fayın doğuya doğru devamı yoktur. Devam edebileceği muhtemel lokasyonlarda detaylı inceleme yapılmış ancak herhangi bir veri bulunamamıştır. Muhtemelen bu fay bu lokasyonda sönmümlenip 600-700 m. güneye sıçrayarak farklı segment halinde doğuya doğru devam eder. Güneye sıçrayan segment ise yaklaşık 500 m. uzunluğunda devam eder (şekil 14).

Her iki segmenti birbirinden ayıran ve bu segmentlere yaklaşık dik/verev konumlu olarak uzanan fay ise KB-GD doğrultuludur. Yaklaşık 700-800 m. uzunluğunda gözlenen fay düzlemi üzerinde fay çizikleri net değildir. GB bloğu düşen fayın GB eteklerinde üst kısımlarda genç yelpaze oluşukları, alt kısımlarda ise nispeten daha yaşlı yamaç molozu bulunur. Önündeki yelpaze tortullarının da faya doğru eğimli olmaması dikkat çekicidir. Eğer fay yakın bir geçmişte hareket etmiş olsaydı tortulların faya doğru kısmen eğimli olması beklenirdi. Ayrıca fayın KB'ya ve GD'ya doğru devamı yoktur. Kuzeyde ve güneyde D-B doğrultulu fayların geçtiği hatlardan itibaren devamı gözlenmez. Bu durum D-B doğrultulu iki fay segmenti arasında gelişen yersel aktarım rampası kırığı (relay ramp) olabileceği şeklinde yorumlanır. Bu

muhtemelen fayın yakın bir geçmişte hareket etmediği veya çökelme hızının fayın hareketinden daha fazla olduğu şeklinde yorumlanır.

Sonuç olarak aktif bir fay olan Gökova fayının doğudaki segmentleri ayrıntılı haritalanmış ve jeolojik özellikleri belirlenmiştir. Özellikle son yıllardaki bölgede gözlenen sismik aktivite dikkate alınarak bu kırık hatları boyunca yapılaşmalarda gereken hassasiyetin gösterilmesi gerekir.

## 5. KATKI BELİRTME

Bu çalışmada Muğla Vizyon Jeoloji Müh., İnş. San. Tic. Ltd. Şti. tarafından desteklenen PAÜ., Müh. Fak., Döner Sermaye Projesi kapsamında hazırlanmıştır. Yazar arazi çalışmalarında gerekli yardım ve kolaylıkları sağlayan Jeoloji Mühendisi Coşkun Çataalkaya ve Jeoloji Mühendisi Beril Çataalkaya ve Jeofizik Mühendisi Akın Aydoğan'a teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Dirik, K., 2007, Neotectonic Characteristics and Seismicity of the Reşadiye Peninsula and Surrounding Area, Southwest Anatolia, TJK Bülteni, 50/3, 130-149
- Dora, Ö., Kun, N. Ve Candan O., 1992, Menderes Masifinin Metamorfik tarihçesi ve Jeotektonik Konumu, TJK bülteni, 35,1-14
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı 2011, 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Denizli (NJ 35-12) Paftası, Seri No:12, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara-Türkiye
- Görür, N., Şengör, A.M.C., Sakıncı, M., Tüysüz, O., Akkok, R., Yiğitbaş, E., Oktay, F.Y., Barka, A., Sarıca, N., Ecevitoglu, B., Demirbağ, E., Ersoy, S., Algan, O., Güneysu, C., Aykol, A., 1995. Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea. *Geol. Mag.* 132, 637–650.
- Gürer, Ö., F. ve Yılmaz, Y., 2002, Geology of the .ren and Surrounding Areas, SW Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences (Turkish J. Earth Sci.)*, Vol. 11, 2002, pp. 1-13.
- Kartal, R.F., Kadirioğlu, F.T. ve Kılıç, T., 2014, Muğla Bölgesinin Sismik Aktivitesi ve Yapay Sarsıntılar, 18. ATAG toplantısı Bildirileri, Muğla
- Hançer, M., 2016, Akyaka Beldesindeki Muğla Üniversite Sahasında Jeolojik-Jeoteknik Etüd için istenen Fay Araştırma raporu, Vizyon Jeo. Müh. Ltd., Şti. tarafından destekli PAÜ, Müh. Fak., Döner Sermaye Raporu, 25s.,
- Koçyiğit, A. 2005. The Denizli graben-horst system and the eastern limit of western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta* 18/3-4, 167-208.
- Kurt, H., Demirbağ, E. and Kuşçu, İ., 1999, Investigation of the submarine active tectonism in the Gulf of Gökova, southwest Anatolia-southeast Aegean Sea, by multi-channel seismic reflection data, *Tectonophysics*, 305, 477-496.
- MTA Yerbilimleri Harita görüntüleyici ([www.yerbilimleri.mta.gov.tr](http://www.yerbilimleri.mta.gov.tr))
- Yağmurlu, F., Özgür, N., Görmüş, M., Pınar, A., Kamacı, Z., Şentürk, M., Şener, E. ve Uysal, K., 2009, Investigation of active seismotectonic features and seismic hazards of the southern part of Aegean-Peloponnisos-plate in the area between Burdur and Muğla, SW Turkey, TÜBİTAK Final Raporu, Proje No: 105Y365



## KABLO TERMİNAL ÇIKARMA APARATLARININ İLERİ TEKNOLOJİLER İLE YERLİ ÜRETİMİ

İsmet ÇELİK<sup>1</sup>, Bünyamin KAYA<sup>2</sup>, N. Çağatay ÜSTÜNDAĞ<sup>3</sup>

### ÖZET

Otomotiv sektöründe kullanılan kablo donanımlar, setler halinde hazırlanarak montaj prosesine aktarılmaktadır. Kabloların uçlarına preslenen terminaller, soketlerin içinde bulunan deliklere yerleştirilmektedirler. Soketlerin montajı sırasında terminaller, soket deliği içinde kilitleme yaparak, kabloların geri çıkmasını önlemektedirler. Özellikle kontrol işlemi sırasında, soket delikleri içerisine yanlış yerleştirilmiş kabloların soket içerisindeki doğru gözlere takılmaları için çıkartılması gerekmektedir. Bu işlemin soket deliğine ve kablo terminaline zarar vermeden yapılması gerekmektedir. Terminal çıkarma işleminde soket ve terminal tipine göre tasarlanmış ve terminal çıkarıcı adı verilen terminal çıkarma aparatları kullanılmaktadır. Bu çalışmada ithal edilen terminal çıkarıcıların, Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi'nin alt yapısı kullanılarak, tamamen yerli kaynaklar ile üretilmesi sağlanmıştır. Plastik terminal çıkarıcı parçaları plastik parça üreten üç boyutlu yazıcı ile imal edilmişlerdir. Metal terminal parçaların prototipleri ise metal üç boyutlu yazıcı ile imal edilmişlerdir. Kullanım testlerini geçen metal parçalar ise daha ucuz olması nedeniyle tel elektro erozyon tezgahı ile imalatları yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Otomobil kablo üretimi, üç boyutlu yazıcı, WEDM, tasarım, imalat

### ABSTRACT

Cable equipment used in the automotive sector is prepared in sets and transferred to the assembly process. Terminals pressed to the ends of the cables are inserted into the holes in the sockets. When mounting the sockets, the terminals lock in the socket hole to prevent the cables from returning. During the inspection process, incorrectly placed cables in the socket holes must be removed to fit into the correct receptacles in the socket. This operation must be done without damaging the socket hole and the cable terminal. The terminal extraction system uses terminal extraction devices which are designed according to socket type and terminal type and called "Terminal çıkarıcı". In this study, we imported ourselves, using the substructure of Dumlupınar University Advanced Technology Center, to produce with completely national resources. The plastic terminal extractor parts are manufactured with a three-dimensional printer that produces plastic parts. Prototypes of metal terminal parts are manufactured with three-dimensional metal printer. The metal parts passing the usage tests are made with wire electroerosion machine because it is cheaper.

<sup>1</sup> Doç.Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail: [ismet.celik@dpu.edu.tr](mailto:ismet.celik@dpu.edu.tr)

<sup>2</sup> Elektrik Öğretmeni, Nursan Kablo Donanımları A.Ş. , Tasarım Bölümü, 43300, Tavşanlı-Kütahya, e-mail: [bkaya@nursankd.com](mailto:bkaya@nursankd.com)

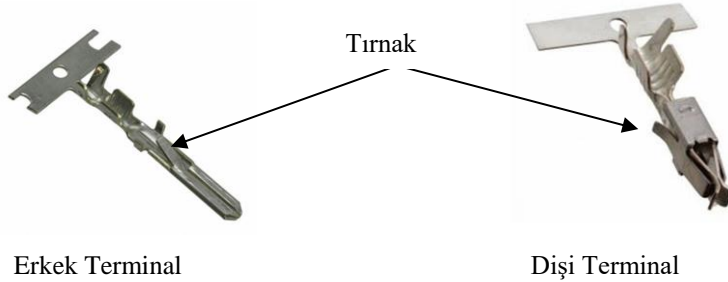
<sup>3</sup> Makine Mühendisi, Nursan Kablo Donanımları A.Ş. , Tasarım Bölümü, 43300, Tavşanlı-Kütahya, e-mail: [custundag@nursankd.com](mailto:custundag@nursankd.com)

Yazışmaların yapılacağı yazar: İsmet ÇELİK, [ismet.celik@dpu.edu.tr](mailto:ismet.celik@dpu.edu.tr)

**Keywords:** Automobile cable production, three-dimensional printer, WEDM, design, manufacturing

## 1. GİRİŞ

Binek ve ticari araçların kablo donanımlarını yapan Nursan Kablo firmasında günde ortalama 1 Milyon adedin üzerinde kablo-socket bağlantısı yapılmaktadır. Bir montaj operatörünün günde yaklaşık 6.000 adedin üzerinde socket-kablo montajı yapmakta olduğu söylenebilir. Proses içinde binlerce farklı kablonun montajı, çap, renk, çizgili ve çizgisiz olma gibi özelliklere göre, insan gözüyle tespit edilerek yapılmaktadır. Kabloların uçlarına bağlanan metal parçalara ise terminal adı verilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Kablo terminalleri

Terminaller kablolarla bağlandıktan sonra socketlerdeki deliklerine doğru delikte olacak şekilde yerleştirilirler. Yerleştirilen terminallerin socketten geri çıkmamaları için üzerlerinde tırnakları vardır. Bu tırnaklar socket içindeki deliğin kanalına otururlar ve kablo terminalinin dışarıya çıkmasını önlerler. Şekil 2' terminal socketi ve Şekil 3 'de socketlere terminalleri ile bağlanmış kablo setleri görülmektedir.



Şekil 2. Terminal ve çoklu



Şekil 3. Kablo setleri

Kablo terminallerinin socketlerindeki delik konumlarına doğru şekilde yerleştirilmeleri gerekmektedir. Ancak fabrikanın üretim hacmi ve socket yerleştirmelerinin elle yapıldığı düşünüldüğünde günde yüzlerce kablo terminali socket içinde yanlış deliğe takılabilmektedir. Her kablo socketi kontrolden geçmekte ve yanlış takılan kablo terminal, terminal çıkarıcılar ile çıkarılmakta ve doğru deliğe takılmaktadır.

Terminalin çıkartılması sırasında hem terminalin hem de soket deliğinin zarar görmemesi gerekmektedir. Bunun için kullanılan bir el aleti olan ve BİZ adı verilen el aparatları kullanılmaktadır. Şekil 4' kullanılan Terminal çıkarıcılar görülmektedir. Terminal çıkarıcıların uçları soket deliğine girecek, kablo delik ve terminale zarar vermeyecek şekilde çok ince ve hassas yapıldır



Şekil 4. Terminal çıkarıcılar

Nursan Kablo fabrikasında kullanılan terminal çıkarıcılar Uzakdoğu ve Avrupa ülkelerinden ithal edilmekte ve genelde sapları ile birlikte tek parça olarak satın alınmaktadır. İthal edilen parçaların fabrikaya tesliminde zaman açısından problemler de yaşanabilmektedir. Bu çalışmada, terminal çıkarıcıların Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi tasarım ve üç boyutlu yazıcılar alt yapısı kullanılarak tamamen ulusal kaynaklar ile imal edilmesi sağlanmıştır.

### 1.1. Üç Boyutlu Yazıcılar

Üç boyutlu yazıcıların tarihsel geçmişine bakıldığında, yaklaşık 100 yıl önce heykeltraşçılık ve topoğrafik model gibi faaliyetlerde kullanılmak üzere başladıkları ve günümüzde 1,5 Milyar Dolar'dan daha fazla endüstriyel yatırım yapılacak duruma geldiği görülmektedir [1]. Prototiplemede ve doğrudan fonksiyonel parça yapımında kullanılan bu yöntem ticaret, araştırma ve eğitim alanlarında önemli yenilikler getirmektedir. Bu teknolojinin temeli topoğrafya ve heykeltraşçılığa dayanır [2]. 1972'de başlayan ilk uygulamalarında bir ışın çubuğu ile toz yığıma şeklinde başlamış olan bu teknoloji günümüz ileri tasarım ve imalat alanında, mekanik parça tasarımı, proses modelleme ve kontrol, biyomedikal uygulamalar gibi bir çok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Üretim serbestliği olan ve serbest imalat olarak da adlandırılan bu imalat yönteminde, üretilecek parça için herhangi bir geometri kısıtlaması yoktur. Günümüzde, 3D yazıcılarda kullanılan en yaygın malzemeler ABS, PLA, Naylon gibi plastiklerdir. Bu plastiklerden farklı olarak metal alaşımlarının, seramiklerin, ahşap, tuz, şeker ve hatta altın tozlarının da kullanıldığı görülmektedir [3]. Yapılacak araştırmalar ile daha farklı malzemelerin tozlarının kullanılması mümkün olabilir. Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı katmanlı imalat teknolojileri, imalat alanında çok büyük yenilikleri ve kolaylıkları sunan, ileri imalat teknolojileridir. Katmanlı imalat teknolojileri ile ilgili dünyada yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki çalışmalara ulaşılmıştır.

2007 yılında ABD’de Amerikan Ulusal Bilim Fonu tarafından finanse edilerek RapidTech isimli ulusal bir merkez kurulmuştur. Bu merkez 150 üniversite ve 500 şirket ile 3 boyutlu endüstriyel uygulamaları konularında çalışmalar yapmaktadır [4]. Tennessee Teknik Üniversitesi rapid prototyping laboratuvarında, rapid prototyping teknolojileri konusunda uzaktan erişimin mümkün olduğu dersler verilmektedir. Laboratuvar web tabanlı olarak hizmet vermektedir[5]. STEM kariyer seviyesi olarak adlandırılan bir çalışmada USA da lise öğrencilerine rapid prototyping teknolojilerini ve 3D dizayn tekniklerini tanıtan programlar uygulanmaktadır. 2009 yılında başlayan ve halen devam eden projede, lise öğrencilerinin bu kavramaları tanıdıkça, yüksek öğrenimlerini teknik üniversitelerde yapmayı tercih edecekleri değerlendirilmektedir[5]. Saddleback Kolejinde de benzer çalışmalar yürütülmektedir [5]. 2003 yılından itibaren katmanlı imalat teknolojileri özellikle tıp uygulamalarında kullanılmaya başlamıştır. Dental ve medikal alanda protez, implant, köprü, iskelet ve medikal laboratuvar parçalarının üretimi başarıyla gerçekleştirilmektedir. Cerrahi operasyonlar modellenilebilmektedir. İmplant yapımında STL formatındaki emar verileri kullanılmaktadır [6,7,8,9].

Catalonia Teknik Üniversitesinde yapılan bir çalışmada Fuzzy sonuç çıkarma mekanizmasının kullanıldığı bir uzman sistemin katmanlı imalat sistemlerinde kullanılması ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Leuven Üniversitesi (Belçika) Makine Mühendisliği Bölümünde SLS (Selective Laser Sintering) ve SLE (Selective Laser Erosion) yöntemleriyle çalışan prototipleme cihazları ile seramik, metal ve polimer malzemelerin rekabetçi bir şekilde üretilmesi için araştırmalar yapılmaktadır. Çalışma medikal implant ve mekanik parçaları içermektedir [10]. Slovenya’da Maribor Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü ve Tıp Fakültesinin işbirliği ile kemik yapılarında kullanılacak implantların tasarımı ve katmanlı imalat teknolojiler ile üretimi konusunda araştırma ve uygulama çalışmaları yapılmaktadır. STL datası CAD datasına dönüştürülmüş, CAD ortamında düzenlemeler yapılmış ve daha sonra M270 makinesinin kullanıldığı DMLS teknolojisi ile Ti6Al4V tozundan implant üretilmiştir [11].

Katmanlı imalat teknolojilerinin Türkiye’deki durumu incelendiğinde aşağıdaki tespitler yapılmıştır. 1990’lı yıllardan itibaren Türkiye’de bazı imalatçı firmalar bu teknolojileri kullanmaya başlamışlardır. 1993 yılından itibaren Arçelik firması katmanlı imalat sistemlerini kullanmaya başlamıştır. 2000 yılında birçok şirket özellikle mücevher ve kalıpcılık uygulamalarında 3D CAD yazılımlarını yoğun şekilde kullanmaya başlamıştır. Şirketler önce 2D ve 3D CAD yazılımlarını ve CNC makineleri kullanmaya başlamıştır. Daha sonra katmanlı imalat makineleri olarak 3 boyutlu yazıcılar kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de firma olarak 3DDT Ltd., CADEM A.Ş., 4C Ltd., Piramit, Protec, info(+)TRON, Plastosel, Yenasoft Ltd., Z Corp. Şirketleri katmanlı imalat alanında etkin faaliyet göstermektedirler. 3D teknolojilerinin yaygın olarak bulunduğu diğer yerler de üniversiteler ve teknoparklardır. ABIGEM Teknopark (Kocaeli), Dumlupınar Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Anadolu Üniversitesi, İTÜ, Sakarya Üniversitesi, TÜBİTAK Adana-USAM, Yıldız Teknik Üniversitesi ve Yeditepe Üniversitesi bu yeni teknolojilere sahip araştırma laboratuvarlarını kurma ve geliştirme durumunda olan üniversitelerdir. Sultanahmet Endüstri Meslek Lisesi’nde Z Corp ZPrinter 310 modeli mevcuttur. Mücevhercilik alanında GOLDAŞ ve Favori şirketleri; medikal uygulamalarda implant sektöründe Amerikan Hastanesi (Opr.Dr.Sacit KARADEMİR), GATA, 3DDT ve Hofmann Türk şirketlerinin çalışmaları örnek olarak verilebilir [12]. Direct Metal uygulamalarında Hofmann Türk, direct metal sinterleme metodu ile çalışan ofisini 2008 yılında açmıştır. Hofmann Türk Firması, 2008 yılında Gebze Organize Sanayi Bölgesi Teknopark’ında faaliyetine başlamıştır. LaserCusing teknolojisi ile metal prototip üretimi yapmaktadır[12].

Titanyum ve Kobalt-Krom (CoCr) metal tozları kullanılarak metal lazer sinterleme (LazerCUSING) yöntemiyle diş kronları ve köprüleri üreten bir merkez Gebze teknoparkı içinde faaliyetlerini sürdürmektedir. LazerCUSING yöntemi ile SLM (Selective Laser Melting) yöntemine benzer şekilde çalışan makine ile metal tozlarının füzyonu yapılarak 20 ve 50 µm lik katmanlarda üretim yapılmaktadır. LazerCUSING veya SLM teknolojisi fiber lazer tekniğiyle çalışmakta, mekanik özellikleri ve yoğunluğu daha iyi parçalar üretilebilmektedir[13].

Türkiye’de yapılan bilimsel çalışmalar incelendiğinde şu tespitler yapılmıştır. ODTÜ’de yapılan bir çalışmada sinterleme aralığının, lazer gücünün ve tarama hızının polyamid olarak üretilen parçalarda etkileri incelenmiştir. Çalışmada plastik lazer sinterleme makinesi (P380) ve polyamid tozu (PA2200) kullanılmıştır. Üretilen ürün parçalar yoğunluklarına, mikro yapılarına ve gözenek boyutlarına göre karakterize edilmiştir. Parça gözenek boyutları değiştirilerek gerilme testleri uygulanmıştır. Gözenekli yapıdaki 0.7 g/cc - 0.95 g/cc yoğunluktaki ürünlerin gerilme testlerinde 20 - 45 Mpa değerler alınmıştır. Değiştirilen üç parametre ile gözeneklilik yapısının ilişkisi tanımlanmaya çalışılmıştır[14].

İTÜ’nün tersine mühendislik laboratuvarında anten açma mekanizması ve düşey rüzgar türbini parçalarının modellenmesinde katmanlı imalat sistemleri kullanılmaktadır. Katmanlı imalat makineleri, rüzgar türbini parçalarının modellerini üretmek için yaygın şekilde kullanılmaktadır. Cube Sattelite (CubeSat) adı verilen anten açma sisteminin optimum formunu modellemek için de bu imalat teknolojisinden yararlanılmaktadır. Oluşturulan plastik modeller sayesinde gerçek metal mekanizma üretilmeden test amaçlı bu ürünler üretilmektedir[15].

İTÜ’de yürütülen ve 106M053 no’lu TÜBİTAK projesince desteklenen çalışmada, bir hastadan alınan verilerin CAD ortamında düzenlenerek çene kemiği gibi kemik yapılarının katmalı imalat teknolojileri ile üretilmesi gerçekleştirilmektedir[16]. Akdeniz Üniversitesi ile Lancaster Üniversitesi’nin ortaklaşa yaptıkları bir çalışmada katmanlı imalat teknolojileriyle üretilen parçaların termal ve mekanik gerilme analizleri araştırılmaktadır [17].

## **1.2. Tel Erozyonla İmalat Makinesi (WEDM-Wire Electro Erosion Discharge Machining)**

Tel erozyonla imalat yönteminde (WEDM), dielektrik sıvı ortamında elektriksel kutuplara bağlanan tel elektrot ve iş parçası arasında oluşan, elektriksel boşalmımlarla yüksek bir sıcaklık meydana gelmekte ve yerel olarak metali ergiterek kesme işlemi yapılmaktadır [18]. Bu tezgahlarda genellikle çapı 0,05-0,4 mm arasında değişen pirinç, molibden, tungsten ve bakır tel kullanılmaktadır. Günümüzde tel erozyon teknolojisi, üretim mühendisliği alanında önemli bir rol oynamaya başlamıştır. Bu tezgahlar sanayide yapımı zor veya karmaşık olan birçok iş parçasının oldukça düşük yüzey pürüzlülüğünde üretilmesinde kolaylık sağlamaktadır [19]

Bu çalışmada katmanlı imalat teknolojileri ve WEDM teknolojileri kullanılarak terminal çıkarıcıların üretilmesi açıklanmıştır.

## **2. YAPILAN ÇALIŞMA**

Bu çalışmada Uzakdoğu ve Avrupa ülkelerinden ithal edilen ve binek, hafif ticari ve ticari araçlar için kablo donanım üretim firmasında yoğun şekilde kullanılan kablo terminal çıkarma

aparathlarının (terminal çıkarcısı) yeniden tasarımı ve imalatı yapılarak Türkiye'de imal edilmesi amaçlanmış ve başarılıdır.

Kablo donanım için kullanılan soketlerin delikleri kullanıldığı yer ve görevlerine göre şekilsel ve sayısal olarak değişkenlik göstermektedir. Soketlerde bulunan göz sayısı 1'den başlayarak 100-200 aralığına kadar çıkabilmektedir (Şekil 5).

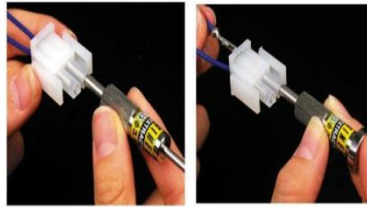
Fabrikada günlük ortalama 1 Milyon adedin üzerinde kablo-soket bağlantısı yapılmakta iken bir montaj operatörünün günde yaklaşık 6.000 adedin üzerinde soket-kablo montajı yapmakta olduğu söylenebilir. Proses içinde 1000'lerce farklı kablonun montajı, çap, renk, çizgili ve çizgisiz olma gibi özelliklere göre, insan gözüyle tespit edilerek yapılmaktadır. Çok sayıda kablonun gözle ayarlanarak soketlere takılması sırasında kablo uçlarının yanlış takılması sıklıkla oluşmaktadır.



Şekil 5. Tek gözlü ve 105 gözlü soket örnekleri

Soketlere takılan kablolar kablo kontrol kısmında incelenmekte ve soket deliklerine yanlış yerleştirilen kablo terminalleri ile yoğun şekilde karşılaşmaktadır. Bu durumda Terminal çıkarcısı adı verilen terminal çıkarcılar ile kablo ve soket deliğine zarar vermeden Şekil 6'da görüldüğü terminal çıkarcılmakta ve doğru olan deliğe takılmaktadır.

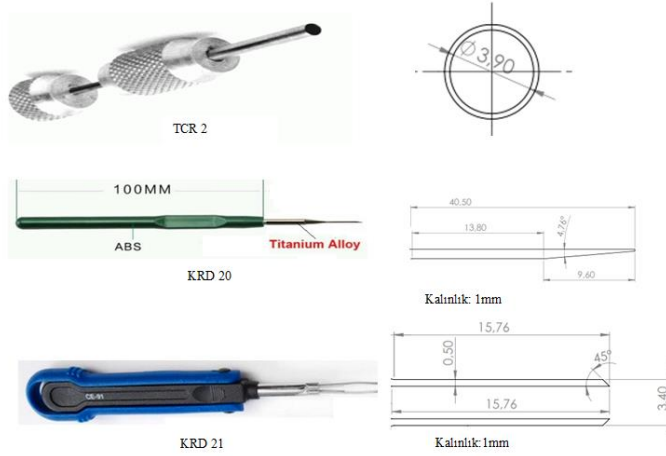
Fabrikada soket ve terminal tiplerine bağlı olarak yaklaşık 70-80 terminal çıkarcısı çeşidi bulunmaktadır (Şekil 4).



Şekil 6. Kablo terminalinin soket deliğinden Terminal Çıkarcısı ile çıkarılması

Soket ve terminal yapısına bağlı olarak geliştirilen terminal çıkarcılar çok ince uçlu aletlerdir. El ile kullanıldığından uçları sık sık kırılmakta ve değiştirilmeleri gerekmektedir. Yoğun kullanılan terminal çıkarcıların ayda 50 - 60 adet, az kullanılanların ise ayda 10-20 adet, uç kırılmaları yada aşınmaları nedeniyle yenilenmeleri gerekmektedir. Kırılma hasarı daha çok görülmektedir. Kırılan ve aşınan terminal çıkarcılar, 14 \$ - 31\$ arasında değişen fiyatlarda Uzakdoğu ve Avrupa ülkelerinden ithal edilmektedir. İthal edilen bu terminal çıkarcılar genelde komple metal olarak, sapları ile birlikte satın alınmaktadır. Şekil 7'de

fabrikada çok kullanılan ve üzerinde çalışılan TCR2, KRD20 ve KRD21 kodlu terminal çıkarıcılar gösterilmiştir.



Şekil 7. Fabrikada çok kullanılan ve üzerinde çalışılan terminal çıkarıcılar ve uç detayları

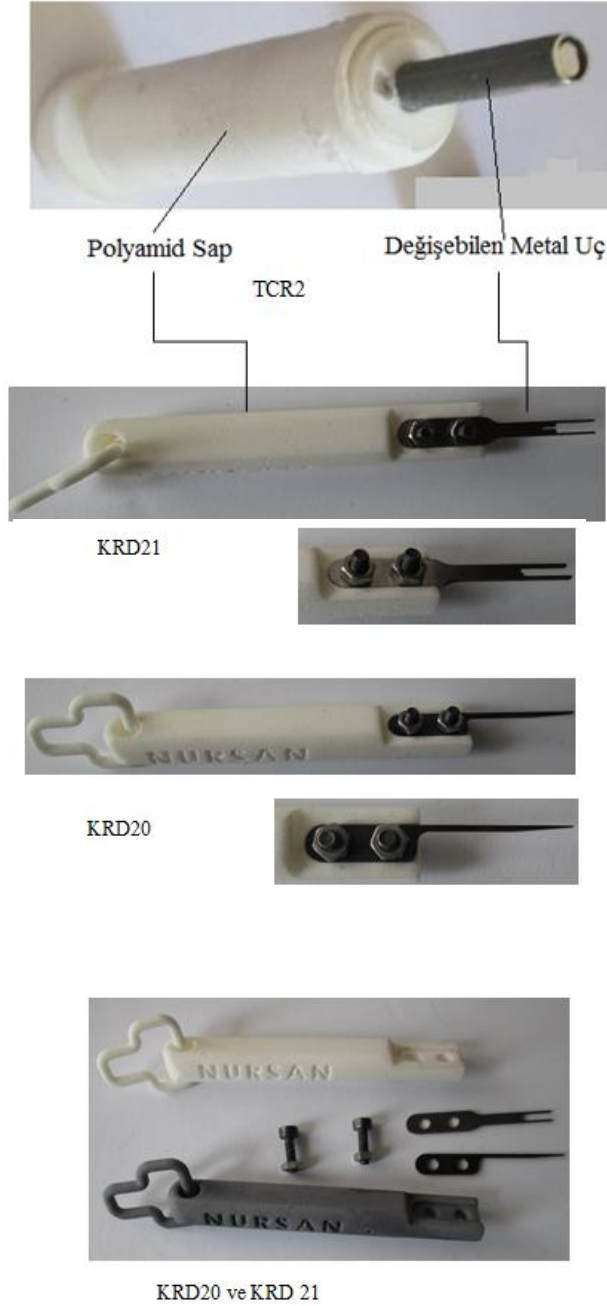
Yapılan çalışmada bütün terminal çıkarıcıların sadece aşınan ve kırılan ince uç kısımlarının metal, sap kısımlarının ise plastik olarak yapılması amaçlanmıştır ve bu düşünce ile yeni tasarımları yapılmıştır. Bu sayede sadece uç kısımlar değişmiş, sap kısımları bir defa satın alınmak suretiyle terminal çıkarıcı maliyetleri düşürülmüştür. Şekil 8'de yeni tasarlanan terminal çıkarıcılar görülmektedir.

Terminal çıkarıcıların tasarımında ve imalatında Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi Tersine Mühendislik ve Üç Boyutlu Yazıcılar birimiyle işbirliği yapılmıştır. Aparatların sap kısımları plastik lazer üç boyutlu yazıcı polyamid plastikten, metal uç kısımların prototipleri metal lazer üç boyutlu yazıcı metalden (CrCo) yapılmıştır. Prototipleri uygun bulunan metal uçların seri üretimi ise tel elektro erozyon (KRD20 ve 21), TCR2 ise CNC torna da yaptırılmıştır. Bu imalat yöntemleriyle imal edilen sapların ve metal uçların maliyetleri Tablo 1'de verilmiştir. edilmiştir.

Tablo 1. Terminal çıkarıcıların İthal ve Yerli İmalat fiyatları

Terminal Çıkarıcı Kodu	İthal Fiyatı (\$)	Sap	DPÜ İtem Tabanlı Fiyatı (TL)				Açıklama
			İmalat Yöntemi	Uç	İmalat Yöntemi	Toplam	
TCR 2	31	20	3D Yazıcı	20	CNC Torna	20	DPÜ tabanlı ulusal hesaplamada sap fiyatları dikkate alınmamaktadır. Çünkü saplar sürekli kullanılmakta, sadece uçlar değişmektedir
KRD20	14	10	3D Yazıcı	10	WEDM	10	
KRD1	14	10	3D Yazıcı	10	WEDM	10	

Not: İthal fiyatları Nursan Kablo Donanım A.Ş.'den, DPÜ fiyatları DPÜ İtem biriminden alınmıştır.

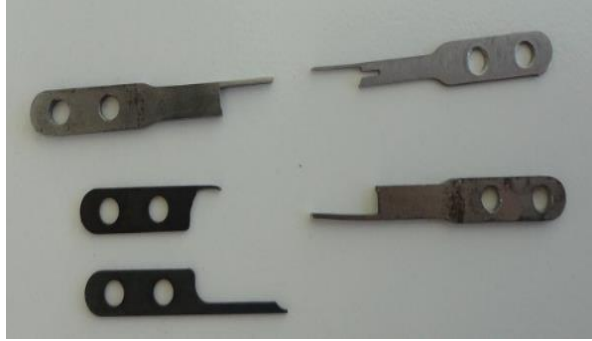


Şekil 8. Yeni tasarlanan ve imal edilen terminal çıkarıcılar

DPÜ İtem üç boyutlu yazıcıları, tel elektro erozyon tezgahı ve CNC torna ile üretilen terminal çıkarıcılar, hem daha ucuz imal edilmiş hem de sap kısımları plastikten yapıldıkları için daha hafif bir yapı imal edilmiştir. Bu sayede elle kullanılmaları sırasında daha kullanışlı bir el aparatı ortaya çıkmıştır.



Soket ve terminal yapısına bağlı olarak geliştirilen terminal çıkarıcılar çok ince uçlu aletlerdir. El ile kullanıldığından uçları sık kırılmakta ve değiştirilmeleri gerekmektedir. Şekil 9'da kullanılamaz hale gelmiş terminal çıkarıcı uçları örnekleri görülmektedir. Kırılan bu uçlar vidalarından sökülerek sapından ayrılmakta ve daha ucuza mal edilen yeni uç sapa tekrar bağlanabilmektedir. Çok kullanılan terminal çıkarıcıların bazılarının uçları 60 kez kırılmakta ve değiştirilmektedir. Örneğin KRD20 ve 21 kodlu çıkarıcıların her birisinin aylık 60 defa değişiminde 2500 TL'yi bulan, değiştirmeden kaynaklı, maliyet azalması sağlanmıştır.



Şekil 9. Kırılan/deforme olan terminal çıkarıcı uçları

### 3. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Kablo Donanım üretimi yapan fabrikada yoğun şekilde kullanılan terminal çıkarıcı tasarımında ve imalatında Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi Tersine Mühendislik ve Üç Boyutlu Yazıcılar Birimiyle işbirliği yapılmış ve yerli kaynaklar ile yeni terminal çıkartma aparatları geliştirilmiştir. Bu aparatlar fabrikada da başarılı şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Aparatların sap kısımları plastik lazer üç boyutlu yazıcı plastikten, bazı metal uç kısımlar metal lazer üç boyutlu yazıcı metalden ve birçoğu da daha ucuz olacağı için tel elektro erozyon ile yaptırılmıştır. Bu imalat yöntemleriyle metal uçların maliyetleri yaklaşık 14 \$ - 31\$ arasında değişen fiyatlardan 10-20 TL ye indirilmiştir. 10-20 TL ye de saplar imal edilmişlerdir, ancak saplar bir adet yaptırılıp sürekli kullanılacakları için maliyete etkileri çok azdır. Bu çalışma sonunda terminal çıkartma aparatlarının tamamen yerli kaynaklar ile daha ucuz, daha hafif ve kullanımı daha kolay olan tasarımları ve imalatları gerçekleştirilmiş ve sadece bir tip (KRD20) terminal çıkarıcı değişiminden aylık 2500 TL tasarruf sağlanmıştır.

### TEŞEKKÜR

Yazarlar çalışmalarında Dumlupınar Üniversitesi İleri Teknolojiler Merkezi (İLTEM) Tersine Mühendislik ve Üç Boyutlu Yazıcılar Birimi'nin alt yapısında bulunan SLS Formiga P110 plastik üç boyutlu yazıcıyı ve DMLS M270 Metal Üç boyutlu yazıcıyı kullanmışlardır. İLTEM'e ve personeline teşekkürlerini sunarlar.

#### 4. KAYNAKLAR

- [1] Wohlers, T., 2009, Wohler's report 2009, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 1-3.
- [2] David, L.B., Joseph J.B.J., Ming C.L. and David W.R., 2009, brief history of additive manufacturing and the 2009 roadmap for additive manufacturing: looking back and looking ahead, US-TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 5-11
- [3] Rayna T., Striukova, L., 2016. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. *Technological Forecasting & Social Change* 102, 214-224
- [4] Patton, W.,K., 2009, Connecting Education and Industry Through Rapid Technologies, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 17-21
- [5] Fidan, İ. & Işık, B., 2009, Rapid Prototyping-Distance Delivery Tools, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 31-36.
- [6] Winder, J. and Bibb, R., 2005, Medical rapid prototyping technologies: state of the art and current limitations for application in oral and maxillofacial surgery, *J Oral Maxillofac Surg.*, 63, 1006-1015
- [7] Sannomiya, E.K., Silva, J.V., Brito, A.A., Saez, D.M., Angelieri, F, and Dalben, G.S., 2008, Surgical planning for resection of an ameloblastoma and reconstruction of the mandible using a selective laser sintering 3D biomodel, *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 106, 36-40
- [8] Pelo, S., Tassiello, S., Boniello, R., Gasparini, G. And Longobardi, G., 2006, A new method for assessment of craniofacial malformations, *J. Craniofac Surg*, 1035-1039, ISSN 1049-2275
- [9] Muhammad, E.H., 2011, Advanced applications of rapid prototyping technology in modern engineering, Published by InTech, Janeza Trdine, 9, 51000 Rijeka, Croatia, ISBN 978-953-307-698-0
- [10] Munguia, J. & Remova, C.R., 2009, An Educational Tool for RM Feasibility Evaluation, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 53-58
- [11] Drstvensek, I., Valentan, B., Brajljih, T., Strojnik, T., Ihan, H.N., 2009, Direct digital manufacturing as communication and implantation tool in medicine, US-TURKEY Workshop On Rapid Technologies,75-81
- [12] Negis, E., 2009, A short history and applications of 3d printing technologies in Turkey, US-TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 23-36
- [13] Sinirlioglu,M.C., 2007, M2Cusing: Production of Aluminium and Titanium Parts via LaserCUSING, LANE 5, Erlangen, Germany,505-516

[14] Erdal, M., Dağ,S.,Jande, Y.A.C., Tekin,M.C., 2009, Production and Characterization of Uniform and Graded Porous Polyamide Structures Using Selective Laser Sintering, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 43-50

[15] Aslan, A.R., 2009, Rapid Prototype Studies and Applications in İTÜ – FAA, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 27-30

[16] Ergun, C., Toru, R.S., Bahadır, A., Yılmaz, S., Basa, S., 2009, Customized Scaffold Fabrication with Solid Free Form Technique, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 51-52

[17] Celik, H.K., Tan, Y.S., Seviour, R., Rennie, A.E.W., 2009, Effect of Thermal and Mechanical Deformation of Metamaterial FDM Components, US – TURKEY Workshop On Rapid Technologies, 83-88

[18] Prohazska, j., Mamalis, A. G., Vaxevanidis, N. M., 1996, The Effect of Electrode Material on Machinability in Wire Electro Discharge Machining, Journal of Materials Processing Technology, 69, 233-237

[19] Haşçalık, A., Çaydaş, U., 2003, Tel erozyon ile işlemede kesme parametrelerinin mikroyapı ve yüzey pürüzlülüğüne etkisi., Fırat Üniversitesi Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları Dergisi, 3, 118-121

## TEK SERBESTLİK DERECELİ ROBOT İLE BALANCE MASTER TEST CİHAZINDA DENGE VE PERFORMANS ÖLÇÜMÜ

Tolga OLCAY<sup>1</sup>, Ata ELVAN<sup>2</sup>, Cihan DAYANGAÇ<sup>3</sup>, Ahmet ÖZKURT<sup>4</sup>,  
İbrahim Engin ŞİMŞEK<sup>5</sup>

### ÖZET

Son yıllarda genellikle nörolojik hastalıklar ile ortaya çıkan denge ve postural kontrol bozukluklarının seviyesinin belirlenmesinde ve rehabilitasyonunda pasif yöntemlerin yerini çeşitli alanlarda ölçüm yapabilen dinamik test cihazları almıştır. Bu alanda değerlendirme ve ölçümler, sabit veya giydirilebilir sensörler aracılığı ile yapılmakta ve kaydedilmektedir. Mevcut sistemlerdeki klinik deneylerin sonuçlarından, elde edilen verilerin kişiden kişiye değiştiği görülmektedir. Yeni geliştirilen cihazların geliştirme ve test aşamalarında, veri tekrarlanabilirliği sağlamak için insan yerine aynı hareketleri yapabilecek robotlar tercih edilebilir. Bu çalışmada Dokuz Eylül Üniversitesi bünyesinde geliştirilmekte olan denge platformunun deneysel çalışmalarında kullanılmak amacıyla geliştirilen tek serbestlik dereceli robot ile “Balance Master” isimli denge ve performans test cihazında yapılan test sonuçlarına yer verilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Balance Master, Denge ve postural kontrol, Tek eksenli robot.

### ABSTRACT

In recent years, dynamic test devices have been able to measure in various areas take place of passive methods for determination of balance and postural control disorder levels those occur with neurological diseases and rehabilitation. In this working area, evaluation and measurements are made and recorded via fixed or wearable sensors. As a result of clinical trials in the existing systems, it appears that the obtained data has changed from person to person. In the development and testing phases of newly developed devices, robots, which can do the same movements instead of people, can be preferred to provide data repeatability. In this study, the test results of the single degree-of-freedom robot that developed for use in the experimental works of the equilibrium platform developed in Dokuz Eylül University, with the balance and performance test device named Balance Master are included.

**Keywords:** Balance Master, Balance and postural control, The single degree-of-freedom robot.

---

<sup>1</sup> Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksek Okulu, Mekatronik Bölümü, Uğur Mumcu Cd. 135 Sk. No:5 Buca/İzmir Tel: 0 (232) 420 09 08 Fax: 0 (232) 440 29 29, tolga.olcay@deu.edu.tr

<sup>2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu, Mithatpaşa Cad. No 56/15 İnciraltı Sağlık Yerleşkesi 35340 Balçova/İzmir, Tel: 0 (232) 277 50 30 Fax: 0 (232) 412 49 46, ata.elvan@deu.edu.tr

<sup>3</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mekatronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Tınaztepe Yerleşkesi, 35390 Buca/İzmir, Tel: 0 (232) 453 17 17 Fax: 0 (232) 453 87 87, cdayangac@gmail.com

<sup>4</sup> Yrd. Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Tınaztepe Yerleşkesi No:207-I, 35390 Buca/İzmir, Tel: 0 (232) 301 72 11 Fax: 0 (232) 301 7210, ahmet.ozkurt@deu.edu.tr

<sup>5</sup> Doç. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Fizik Tedavi ve Rehabilitasyon Yüksek Okulu, Mithatpaşa Cad. No 56/15 İnciraltı Sağlık Yerleşkesi 35340 Balçova/İzmir, Tel: 0 (232) 277 50 30 Fax: 0 (232) 412 49 46, ibrahim.simsek@deu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Denge ve postural kontrolün sağlanması günlük yaşam aktivitelerinin gerçekleştirilmesinde çok önemli parametrelerdir. İnsanda dengenin ve postural kontrolün sağlanması vücudun pek çok sisteminin sağlıklı bir şekilde çalışması ile mümkün olmaktadır. (Iqbal, 2011; Mergner, 2007) Günümüzde nörolojik hastalıkların büyük çoğunluğunda denge rehabilitasyonuna duyulan ihtiyaç nedeniyle bu alana yönelik gelişmeler hızı bir şekilde artış göstermiştir.

Son yıllarda platformlar ile vücut salınımları kantitatif veriler ile ölçümlenebilmekte ve kaydedilebilmektedir (J. Jacobs, Horak, Tran, & Nutt, 2006; Moore, MacDougall, Gracies, Cohen, & Ondo, 2007). Değerlendirmeler statik postürografiler, dinamik postürografiler ve giyilebilir sensörler yardımı ile yapılmaktadır. Statik postürografiler değerlendirilecek kişinin ayakta duruş sırasında mümkün olan en iyi düzeyde durduğu sırada postüral salınımlarının ölçülmesini yapmaktadır. Statik ölçümler ve denge değerlendirmeleri sırasında zorluk düzeyi değiştirilebilmektedir. Destek yüzeyinin azaltılması, gözlerin kapatılması ve destek yüzeyi özelliklerinin değiştirilmesi ile zorluk düzeyi değiştirilebilmektedir (Colnat-Coulbois ve ark., 2005; Reid, Adbulhadi, Black, Kerrigan, & Cros, 2002).

Bu gelişmelere paralel olarak Dokuz Eylül Üniversitesi bünyesinde vücut salınımlarını ölçmek üzere bir prototip platform tasarlanmaktadır. Bu platformun geliştirilme çalışmalarının insansız test aşamalarında kullanılmak üzere salınım hareketi yapan bir robot tasarlanmıştır. Test çalışmalarında robot kullanılmasının bir sebebi, insan hareketlerindeki düzensiz ağırlık merkezi yörüngelerden kurtulmaktır. Bu robot ile öncelikle mevcutta kullanılmakta olan ölçüm sistemleri ile denemeler yapılmış ve elde edilen sonuçlar yeni geliştirilmekte olan platform ile karşılaştırılmıştır. Bu makalede mevcut ölçüm sistemi ile yapılan çalışmalar ve sonuçları anlatılmıştır. Makalenin ilk kısmında ölçüm ve karşılaştırma amaçlı üretilen robot ile ölçüm cihazı tanıtılmış, sonra yapılan deneyler ile elde edilen bulgular verilmiştir. Son olarak da elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

## 2. MATERYAL VE METHOD

### 2.1. Balance Master

Balance Master (Şekil 1) denge ve performans test cihazı hastaların günlük yaşam aktiviteleri sırasındaki fiziksel aktivitelerini simüle eden ve bu aktiviteler sırasında statik ve dinamik denge parametrelerini ölçen bir cihazdır.



Şekil 1. Balance Master denge ve performans test cihazı.

Bu cihaz ile Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi (Modified Clinical Test of Sensory Interaction of Balance), Denge Limitleri Testi (Limits of Stability) gibi çeşitli statik ve dinamik denge yeteneklerini değerlendiren klinik testler yapılabilmektedir. Bu testler sırasında Hareket Hızı (Movement Velocity, MVL), Yön Kontrolü (Directional Control, DCL) gibi ağırlık merkezinin hareket değerleri kaydedilebilmektedir (Pickerill & Harter, 2011).

## 2.2. Test Robotu

Test çalışmalarında kullanılacak olan robotumuz (Şekil 2) öne ve arkaya salınım hareketi yapacak şekilde tek serbestlik dereceli olarak tasarlanmıştır. Mekanik yapı 20x20 ve 20x40 alüminyum sigma profiller kullanılarak yapılmıştır. Profil birleştirme parçaları, kart ve güç kaynağı taşıyıcıları gibi bağlantı elemanları çalışma grubu tarafından tasarlanarak üç boyutlu yazıcı ile üretilmiştir. Robotun temel fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 2. Test robotu ve CAD çizimi.

Tablo 1. Test robotunun temel fiziksel özellikleri.

Test robotunun temel fiziksel özellikleri.	
Boy x Genişlik x Derinlik	80 x 50 x 27 cm
Ayak Uzunluğu	27 cm
İki Ayak Arası Genişliği	24 cm
Ağırlık	6 kg
Ağırlık Merkezi Yüksekliği	80 cm
Motor Eksen Yüksekliği	16,5 cm

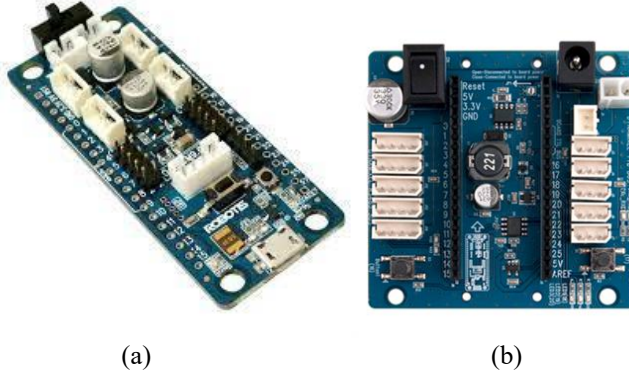
Robotun salınım hareketi için bir adet Dynamixel Pro L54-50-S500 akıllı robot servo motoru (Şekil 3) kullanılmıştır. Bu motor sürekli çalışma durumunda 14 Nm tork uygulayabilir. L54-50-S500 motorları kendi üzerindeki mikroişlemci ile pozisyon, hız, tork, sıcaklık, akım ve yük gibi değişkenleri izleme özelliğine sahiptir. İzlenen bu özelliklerin bazıları (tork, hız, pozisyon vb.) istenilen sınır değerleri için ayarlanabilirler. Bu şekilde motorun ve sistemin aşırı

yüklemesi ya da istenilen sınır değerleri dışına çıkılması engellenmektedir.



Şekil 3. L54-50-S500 akıllı robot servo motor.

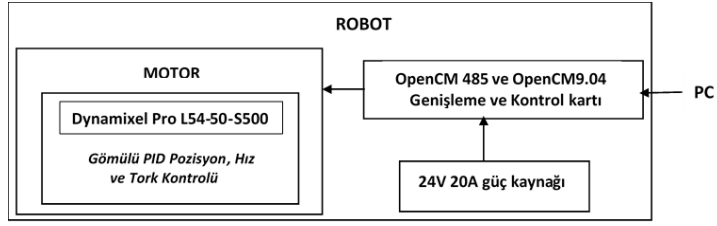
Dynamixel motorlarını kontrol etmek için ARM Cortex-M3 32bit CPU temelli bir kontrol kartı olan OpenCM9.04 (Şekil 4.a) kullanılmıştır. OpenCM9.04 platformu açık kaynak kodlu bir kontrol kartıdır. Kontrol kartı, OpenCM9.04 için tasarlanmış olan ve Arduino IDE gibi C/C++ dillerinde kolayca program yazmaya olanak sağlayan açık kaynak kodlu ROBOTIS OpenCM yazılımı ile programlanabilmektedir. OpenCM9.04 RS485 ve TTL haberleşme metotları ile Dynamixel motor kullanımını sağlar.



Şekil 4. a) OpenCM9.04 kontrol kartı b) OpenCM 485 genişleme kartı

Çalışmada Open CM9.04 kontrol kartı, OpenCM 485 (Şekil 4.b) genişleme kartı ile birlikte kullanılmıştır. Kart, güç kaynağı için SMPS, DXL PRO 24V ve Li-on batarya bağlantı soketlerine sahip olup, 5-30 V arası geniş giriş voltaj aralığına sahiptir. Çeşitli Dynamixel motorlar ile uyum sağlayacak şekilde 5 adet 3 pin TTL ve 5 adet 4 pin RS485 bağlantı soketlerine sahiptir. Bu özellikler ek olarak 1 adet aç/kapa butonu ile 2 adet programlanabilir butona sahiptir. Bu butonlar ile önceden hazırlanmış çeşitli programlar istenilen anda devreye alınabilmektedir.

Çalışmada kullanılan robotun güç ihtiyacını motor alt bölümüne yerleştirilmiş bir adet 24V 20A güç kaynağı ile sağlamaktadır. Robot kontrol blok diyagramı şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5. Robot kontrol blok diyagramı.

### 3. DENEY

Çalışmada “Balance Master” cihazında yer alan, statik ve dinamik denge yeteneklerini değerlendirilen testlerden, Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi (Modified Clinical Test of Sensory Interaction of Balance) ve Denge Limitleri Testi (Limits of Stability) yapılmıştır.

Denge limitleri testinde robotun destek yüzeyini oluşturan ayakları, platform üzerinde bulunan denge sistemi üzerinde önceden belirlenmiş yerlere yerleştirilmiştir. (Şekil 6) Test öne ve arkaya doğru olan denge ölçümlerini içermektedir. Robot, öne doğru motor ekseninden 6,7 derece/saniye hız ile 10 dereceye, arkaya doğru 6,7 derece/saniye hız ile -10 dereceye hareket edecek şekilde programlandı. Testin başlaması ile robotun öne ve arkaya doğru ağırlık aktarma hareketleri, cihaz tarafından ağırlık merkezinin yer değişimi olarak kaydedilmiştir. Denge limitleri testi sırasında robotun ağırlık merkezinin, Hareket Hızı derece/saniye cinsinden, Yön Kontrolü ise yüzdelik olarak kaydedilmektedir.

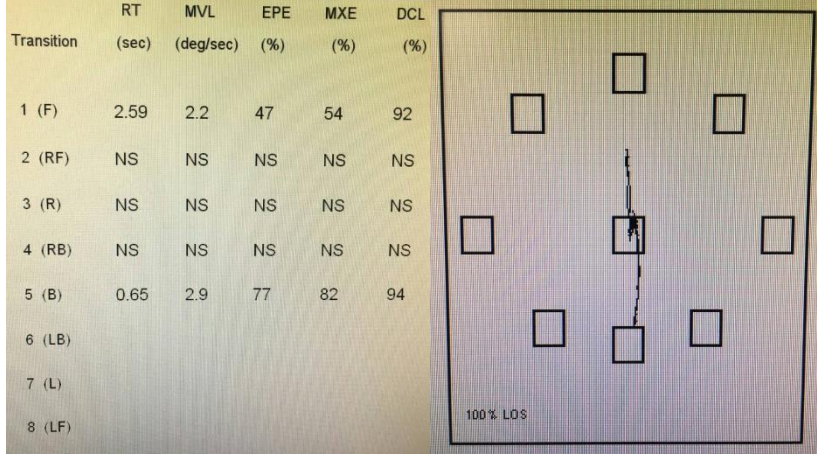


Şekil 6. Denge limitleri testi.

Robot öne olan hareketi sırasında, ağırlık merkezini 2,2 derece/saniye hız ile hareket ettirmiştir. Robot arkaya olan hareketinde ise ağırlık merkezini 2,9 derece/saniye ile hareket



ettirmiştir. Robot öne olan hareket sırasında %92 oranında yön kontrolü gösterirken, arkaya olan hareketi sırasında %94 oranında yön kontrolü göstermiştir. Şekil 7'da test robotu ile öne ve arkaya yapılan denge limitleri test sonuçları verilmiştir.



(a)

(b)

Şekil 7. Denge limitleri test sonuçları, a) Hareket hızı ve yön Kontrolü değerleri, b) Ağırlık merkezinin hareket izi.

Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi'nde ise robotun hareketsiz anındaki ağırlık merkezinin hareketleri veri olarak kaydedilmiştir. Bu testte ağırlık merkezinin hareketi derece/saniye cinsinden kaydedilmektedir.

Robotun hareketsiz durumunda ağırlık merkezinin hareketi incelendiğinde ise 0,7 derece/saniye salınım yaptığı tespit edilmiştir. (Şekil 8)

Name: TMAN, DEU		Diagnosis: Not Specified		File: FD3524.DRX		
ID: AT1003524		Operator: Not Specified				
Date of Birth: 19/10/2007		Referral Source: Not Specified				
Height: 120 cm		Comments: Robot Test				
<b>Modified CTSIB</b>						
Test Date: 23/10/2017						
Test Time: 14:08:45						
Conditions	SWAY VELOCITY(deg/sec)/LOB(sec)			COG ALIGNMENT(deg)		
	Trial 1	Trial 2	Trial 3	Trial 1	Trial 2	Trial 3
Firm-EO	0.7 / 10	0.6 / 10	0.8 / 10	0, -0.1	0.3, 1.1	0.3, 3.1
Firm-EC	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS
Foam-EO	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS
Foam-EC	NS	NS	NS	NS, NS	NS, NS	NS, NS

Şekil 8. Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi sonuçları.

#### 4. SONUÇ

Robotun statik ve dinamik koşullarda yapılan denge ölçümlerinin, insan ölçümlerine benzer yönlerinin bulunmasına rağmen birçok açıdan insanlardan farklılık gösterdiği görülmektedir.

Deney sonuçları, klinik olarak yapılan çalışmalarla karşılaştırıldığında, denge limitleri testi, yön kontrolü parametresinin sağlıklı bireylerle benzerlik gösterdiği görülmektedir. Hareket hızı parametresinde ise robotun öne ve arkaya doğru olan hareket hızlarının birbirine yakın değerler olduğu görülmektedir. Buna karşın insanlarda öne ve arkaya doğru olan ölçümlerde benzer ya da yakın sonuçlar her zaman görülmemektedir. Bunu sebebi ölçülen değerlerin hem kişiden kişiye hem de aynı kişide değişik ölçümler arasında da farklılıklar göstermesidir (Bauer, Groger, Rupperecht, & Gassmann, 2008).

Ağırlık merkezinin hareket izi olarak da robot ve insan arasında farklılıklar bulunmaktadır. İnsanların denge ile ilgili ölçümlerinde ağırlık merkezinin hareketi doğrusal bir hareket yerine yay benzeri hareketler ile gerçekleşmektedir. Test robotumuzun tek eksende çalışması ve insan hareketlerinin serbestlik derecesi olarak kaotik olması bu farklılığın bir sebebi olarak düşünülmektedir.

Dengenin Kliniğe Uyarlanmış Duyusal Etkileşim Testi sonuçları insanın hareketsiz ayakta duruş pozisyonunda vücut salınımlarını ölçmektedir. Hareketsiz ayakta duruş pozisyonu insanda şuuraltı olarak kontrol edilebildiği gibi dikkat seviyesinin artırılması ile kontrol edilebilmektedir. Bu anlamda klinikte takip edilen insanda yapılan değerlendirmeler aynı değerlendirme seansı içinde bile farklılıklar gösterebilmektedir (Bauer et al., 2008). Tasarlanan robotta ise ağırlık merkezinin hareketlerinde bir düzen olduğu saptanmıştır. İnsan denemelerine göre meydana gelen temel farklılık ise insanda dengenin kontrolünü sağlayan pek çok sistemin olması gerektiğidir (J. V. Jacobs & Horak, 2007; Konrad, Girardi, & Helfert, 1999). İnsanda postural kontrol ve dengenin sağlanması merkezi sinir sisteminin karmaşık organizasyonu ile mümkün olmaktadır. Bu karmaşık organizasyonla baş, gövde, kol ve bacak eklemlerinin pozisyonları ve yaratacakları kuvvetler sağlanmaktadır (Cavanagh, Derr, Ulbrecht, Maser, & Orchard, 1992; Dalakas, 1986; Diener, Dichgans, Guschlbauer, & Mau, 1984). Fakat test robotunda bu durum daha az karmaşık bir şekilde kontrol edildiği için her değerlendirmede benzer sonuçlar elde edilebilmektedir.

Sonuç olarak test robotumuz ile Balance Master denge ve performans test cihazında yapılan dinamik ve statik denge testleri sonunda elde edilen verilerin, sağlıklı insan verileri ile bazı noktalarda örtüştüğü, bazı noktalarda ise farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Bununla birlikte insanlı test sonuçlarının, kişiden kişiye değişmesi, deney sayı ve yöntem değişiklikleriyle de ciddi olarak değişime uğraması sebebiyle yeni geliştirilecek denge platformu karşılaştırma testleri için yetersiz kaldığı görülmektedir. Robot ile yapılan testlerin ise tekrarlanabilirlik oranının insana göre çok daha fazla olduğu ve test robotunun karşılaştırma testleri için yeterli olduğu görülmüştür.

## 5. KAYNAKLAR

- [1]. Bauer, C., Groger, I., Rupprecht, R., & Gassmann, K. G. (2008). Intrasession reliability of force platform parameters in community-dwelling older adults. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(10), 1977-1982. doi: 10.1016/j.apmr.2008.02.033
- Cavanagh, P., Derr, J., Ulbrecht, J., Maser, R., & Orchard, T. (1992). Problems with Gait and Posture in Neuropathic Patients with Insulin-Dependent Diabetes Mellitus. *Diabetic Medicine*, 9(5), 469-474.
- Colnat-Coulbois, S., Gauchard, G., Maillard, L., Barroche, G., Vespignani, H., Auque, J., & Perrin, P. P. (2005). Bilateral subthalamic nucleus stimulation improves balance control in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76(6), 780-787.
- Dalakas, M. C. (1986). Chronic idiopathic ataxic neuropathy. *Annals of neurology*, 19(6), 545-554.
- Diener, H., Dichgans, J., Guschlbauer, B., & Mau, H. (1984). The significance of proprioception on postural stabilization as assessed by ischemia. *Brain Res*, 296(1), 103-109.
- Iqbal, K. (2011). Mechanisms and models of postural stability and control. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc*, 2011, 7837-7840. doi: 10.1109/iembs.2011.6091931
- Jacobs, J., Horak, F. B., Tran, V., & Nutt, J. (2006). Multiple balance tests improve the assessment of postural stability in subjects with Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 77(3), 322-326.
- Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2007). Cortical control of postural responses. *Journal of neural transmission (Vienna, Austria : 1996)*, 114(10), 1339-1348. doi: 10.1007/s00702-007-0657-0
- Konrad, H. R., Girardi, M., & Helfert, R. (1999). Balance and aging. *Laryngoscope*, 109(9), 1454-1460. doi: 10.1097/00005537-199909000-00019
- Mergner, T. (2007). Modeling sensorimotor control of human upright stance. *Prog Brain Res*, 165, 283-297. doi: 10.1016/s0079-6123(06)65018-8
- Moore, S. T., MacDougall, H. G., Gracies, J.-M., Cohen, H. S., & Ondo, W. G. (2007). Long-term monitoring of gait in Parkinson's disease. *Gait Posture*, 26(2), 200-207.
- Pickerill, M. L., & Harter, R. A. (2011). Validity and Reliability of Limits-of-Stability Testing: A Comparison of 2 Postural Stability Evaluation Devices. *J Athl Train*, 46(6), 600-606.
- Reid, V., Abdulhadi, H., Black, K., Kerrigan, C., & Cros, D. (2002). Using posturography to detect unsteadiness in 13 patients with peripheral neuropathy: a pilot study. *Neurology & clinical neurophysiology: NCN*, 2002(4), 2-8.

## FENOLİK BİLEŞİKLERİN ENKAPSÜLASYONU

Eylem Atak<sup>1</sup>, Esmâ Yıldız<sup>1</sup>, Mehmet Emin Uslu<sup>1\*</sup>

### ÖZET

Enkapsülasyon teknolojisi günümüzde hem akademik hem endüstriyel alanda çokça başvurulan bir yöntemdir. Aktif maddenin kararlılığının korunması, etkinliğinin artırılması, dış etkilerden korunması ve yavaş salımı için kullanılan enkapsülasyon işlemi aktif bir maddenin başka bir maddeyle kaplanması yada hapsedilmesiyle oluşan sistemlerdir. Boyutlarına göre nano ve mikro olarak ikiye ayrılır. Enkapsülasyon işleminin uygulandığı birçok teknik mevcuttur. Bunlardan bazıları; püskürterek kurutma, püskürterek soğutma, ekstraksiyon, koaservasyon, liyofilizasyon ve emülsifikasyondur. Bu tekniklerden uygun olan tercih edilirken, uygulanacak proses, çekirdeği oluşturan aktif maddenin yapısı, mikro veya nanokapsül için uygulanması, elde edilmesi istenen parçacık boyutu, çekirdek ve çekirdeği kaplayan duvarın fiziksel ve kimyasal özellikleri, serbest salım mekanizması, üretim ölçeği ve maliyet gibi faktörler göz önünde bulundurulur. Çeşitli yöntemlerle elde edilen nano/mikro boyutlu kürelerin boyut ve yüzey analizlerinin yapılması, hedeflenen ürüne ulaşması konusunda yol göstericidir. Fenoller bitkiler tarafından salgılanan canlılar için birçok açıdan yararlı olan hidroksil grubuna sahip benzen halkalarıdır. Eczacılık, tıp, kimya alanlarında ve endüstride sıkça kullanılan bir aktif bileşendir. Isı, ışık, oksijen, vücutta kalma süresi, vücut içindeki diğer besin maddeleri fenollerin etkinliğini azalttığı için literatürde fenollerin enkapsülasyonu çalışmalarına sıkça rastlanılmaktadır

**Anahtar Sözcükler:** Fenolik bileşikler, Enkapsülasyon, Mikrokapsülasyon, Nano-enkapsülasyon,

### ABSTRACT

Encapsulation technology is a frequently applied method both in academic and industrial fields today. The encapsulation process used to protect the stability of the active substance, increase efficiency, protect from external influences and slow down will be integrated by covering or imprisoning an active substance with another substance. Encapsulation is divided into nano and micro according to their sizes.

There are many techniques in which the encapsulation process is applied. Some of these techniques are spray drying, spray cooling, extraction, coevaporation, lyophilization and emulsification. When the appropriate one of these techniques is preferred, these factors are taken into account; the structure of the active substance forming the core, the application of the microcapsule or nanocapsule, the desired particle size to be obtained, the physical and chemical properties of the core and core wall, the release mechanism, taken. The size and surface analysis of nano / micro-sized spheres obtained by various methods is a guide for reaching the target product. Phenols are benzene rings with a hydroxyl group useful in many

---

<sup>1</sup> Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü, Manisa

\* Öğr.Gör.Dr. , E-posta: emin.uslu@cbu.edu.tr Yazışmaların Yapılacağı Yazar.

respects for organisms secreted by plants. It is an essential compound used in encapsulation applications and used in the fields of pharmacy, medicine, chemistry and the industry.

**Keywords:** Phenolics, Encapsulation, Micro-encapsulation, Nano-encapsulation

## 1. GİRİŞ

Enkapsülasyon, katı, sıvı veya gaz halindeki aktif maddelerin farklı bir madde ve sistemle kaplanması işlemidir (Gökmen ve ark., 2012). Küçük çekirdek malzemesinin bir duvar malzemesi içinde hapsediği ve kapsül oluşturduğu sistemlerdir (Ezhilarasi ve ark., 2012). Enkapsülasyon işlemleri, aktif maddeyi dış etmenlerden korumayı, aktif bileşenin kararlı olmasını ve yavaş salımını amaçlar (Andrade ve ark., 2015; Gökmen ve ark., 2012).

Aktif bileşenin doğru zamanda ve doğru yerde salımı ürünün işlevselliğini artırır (Ezhilarasi ve ark., 2012). Bu anlamda kapsülleme teknolojisi gıda, kimya, tıp, eczacılık, veterinerlik, biyoteknoloji ve kozmetik gibi birçok alanda sıkça başvurulan bir yöntem haline gelmiştir (Gökmen ve ark., 2012). Enkapsülasyon işlemleri etkin maddenin aktif izolasyonu, kaplanması, muhafazası ve kontrollü salımı olarak sıralanabilir (Andrade ve ark., 2015). Aktif maddenin ve taşıma sisteminin fonksiyonunun korunması için dikkat edilmesi gereken bazı unsurlar vardır. Bu hususlar aşağıdaki gibidir;

- Amaca uygun aktif maddenin belirlenmesi,
- Aktif maddeye uygun kaplama malzemesinin belirlenmesi,
- Uygun kaplama yönteminin belirlenmesi,
- Aktif maddenin ve kaplama malzemesinin fiziko-kimyasal özellikleri,
- Aktif maddeye ve kaplama malzemesine uygun işlem koşulları,
- Aktif maddenin muhafaza süresi,
- Enkapsülasyon işleminden sonraki depolama koşulları,
- Parçacık boyutu ve yoğunluğu,
- Maliyeti (Gökmen ve ark., 2012)

Enkapsülasyon çeşitleri boyutlarına göre ikiye ayrılır.

### 1.1 Micro-enkapsülasyon

Mikro-kapsülasyon uygun etken maddeden meydana gelen mikro boyutta bir çekirdek ve onu çevreleyen bir kabuktan oluşur. Kabuk aktif bileşiği ortamın etkilerinden korur ve uygun oranda salımına izin verir. Mikro-kapsüller boyutları 0.2 µm'den daha büyük salım izin veren kabuk ve çekirdekten oluşur.(Paulo ve Santos, 2017). Mikro-kapsüller farklı şekillere sahip olabilirler. Şekilleri aktif maddeye ve kaplama metoduna göre değişir. Aktif maddenin şekline göre düzensiz ve tam bir küre şeklinde olabilir. Çok çekirdekli, tek çekirdekli yada matris yapısına sahip olabilirler.

### 1.2 Nano-enkapsülasyon

Nano-kapsülasyon, boyutları 10 ile 1000 nm arasında olan aktif maddenin çekirdek içinde çözünür halde olduğu yada yüzeye bağlanmış halde bulunan küçük parçacıklardır (Deraman ve ark., 2013). Hazırlama yöntemlerine göre nanoküre ve nanokapsül olarak iki gruba ayrılırlar (Demir, 2013). Hücre içi alımına bakıldığında nano boyutlu kapsüller micro boyutlu kapsüllere göre daha avantajlıdır. Deraman ve arkadaşları Caco-2 hücreleriyle yaptıkları çalışmalarında nano boyutlu kapsüllerin mikro boyutlu kapsüllere oranla neredeyse 6 kat daha fazla alımını göstermişlerdir. (Deraman ve ark., 2013)

**Nanokapsüllerde** aktif bileşen bir kaplama metaryeli ile hapsedilmiş ve bir boşlukla sınırlandırılmış veziküler sistemlerdir. **Nanoküreler**, küre içinde aktif bileşenin fiziksel ve homojen olarak dağılmış matriks sistemleridir (Hamidi ve ark., 2008).

## 2. NANOKAPSÜLASYONUN AVANTAJLARI

- Sterilizasyonları kolaydır.
- Fiziksel olarak parçalanabilirler ve çıkan ürün toksik değildir.
- Etkin maddeyi hapsedme kapasiteleri yüksektir. Bu sayede hücre içine etkin maddenin çok miktarda salımı yapılabilir.
- Biyolojik alanlarda birçok uygulamada kolaylık sağlarlar.
- Boyutları küçük olduğundan hücre içine alımı daha kolaydır.
- Etkin maddenin kararlılığını ve verimini artırır.
- Üretim teknikleri basit ve kolay uygulanabiliridir.
- Hedef bölgeye yüksek etkinlik gösterdiğinden diğer bölgelerde toksinliği azaltır (Derman ve ark., 2013).

## 3. FENOLİK BİLEŞİKLER VE KAPSÜLENMESİ

Fenolik bileşikler benzen halkasına bağlı bir veya birden fazla hidroksil ve fonksiyonel gruba sahip maddelerdir. Doğal antioksidanların en aktif üyeleridir (Güleşçi ve Aygül, 2016). Fenolik bileşiklerin başlıca kaynağı bitkilerdir. Fenolik bileşikler bitkilerin sekonder metabolitleridir. Her bitki kendisini korumak amaçlı birçok fenolik bileşiği farklı nitelik ve miktarlarda üretirler. Fenolik bileşikler bitkilerde en çok bulunan maddedir ve günümüze kadar 5000 den fazla fenol bileşiğinin yapısı tanımlanmıştır. Fenoller bitkilerin metabolizmasında sürekli olarak bulunanları olmakla birlikte örneğin meyve/sebze yapısında tat ve renk vermekte görevli olanlar, stres altında bitkinin korunma amaçlı ürettiği metabolitler olabilirler örneğin resveratrol (Nizamlioğlu ve Nas,2010).

Sahip olduğu özelliklerinden dolayı ilaç endüstrisinde, gıda endüstrisinde, eczacılık ve tıp alanlarında son zamanlarda polifenoller araştırılmasında artış sağlanmıştır. Polifenoller bitkinin hemen hemen her yerinde üretilen ve antioksidan, anti-inflantuar, anti-viral etkilerinden dolayı insan sağlığı açısından çok önemli bir yere sahiptir. Birçok araştırma bize polifenollerin kardiovasküler hastalıkların etkisinin azaltılmasında, kanser, ilerlemesini önemli düzeyde yavaşlatılmasında, diyabetik hastalıkların engellenmesinde ve osteoporoz riskini azalttığını göstermektedir (Fang ve Bhandari, 2010).

Ancak polifenolun *in vitro* etkinliği *in vivo* etkinliğinden daha yüksek seviyededir. Eczacılık alanındaki uygulamalarında; bağırsaklardaki düşük geçirgenlik, gastrik olarak kalış süresinin yetersizliği, düşük çözünürlük sebeplerinden dolayı oral alımı takiben molekülün çok az bir kısmı vücut içerisinde kalmaktadır. Hastalıkların önlenmesinde aktif maddenin etkinliği çok önemlidir. Ayrıca sıcaklık, oksijen, ışık, pH, enzimler, diğer besin maddelerinin varlığı da polifenollerin aktivitesini kısıtlamaktadır. Peolifenoller gibi maddelerin aktifliğini korumak amacıyla çeşitli mekanizmalar sağlanmalıdır (Fang ve Bhandari, 2010).

## 4. ENKAPSÜLASYON TEKNİKLERİ

Enkapsülasyon uygulamalarında sıkça kullanılan bazı teknikler mevcuttur. Bu teknikler, uygulanacak prosese bağlı olarak, çekirdeği oluşturan aktif maddenin yapısına, mikro veya

nanokapsül için uygulanmasına, elde edilmesi istenen parçacık boyutuna, çekirdek ve çekirdeği kaplayan duvarın fiziksel ve kimyasal özelliklerine, istenen serbest salım mekanizmasına, üretim ölçeğine ve maliyet hesaplamasına göre tercih edilir. Başlıcaları; püskürterek kurutma, püskürtme soğutma, ekstraksiyon, koaservasyon, liyofilizasyon ve emülsifikasyondur (Caballero ve ark., 2003).

#### **4.1 Püskürterek Kurutma**

Bu yöntem kapsülenecek bir aktif maddenin ve kaplama materyalinin bulunduğu bir solüsyonun kullanılması ile oluşur. Oluşan solüsyon, içerisinde sıcak havanın dolaştığı bir kurutma makinesinde nebülizasyon işlemine tabi tutulur. Solüsyon içerisindeki su, sıcak hava ile karşılaştığında buharlaşarak uzaklaşır. Ortamda sadece istenen iki madde bırakılmış olur. Kaplama yapacak materyal aktif maddeyi içine alır. Bu yöntemde büyük ölçekli ekipmanlarla çalışmak uygundur. Çeşitli kaplama materyali kullanma konusunda avantaja sahiptir. Yöntemin işleyişi basit ve maliyeti düşüktür. Böylece yüksek verimde ve düşük maliyetle işlem gerçekleştirilir. Bunların yanındaki handicap, elde edilen ürünlerin eşit ebatlara sahip olmamasıdır (Laohasongkram, 2011).

Bu metot, enkapsülasyon prosesi için en çok tercih edilenlerdendir. Uzun yıllar boyunca, pigmentleri, yağları ve çeşitli aromaları kapsüllemek için uygulanmıştır. Fakat metot içerisinde kurutma kullanıldığından ve bu yüksek sıcaklıkta uygulandığından, çoğu termo duyarlı mikroorganizma ve uçucu yağlar için kullanımı sınırlıdır. Oluşacak ürünün buharlaşması ve mikroorganizmaya zarar vermesi gibi sonuçlar doğurabilir (Madene ve ark., 2006).

#### **4.2 Püskürterek Soğutma**

Sprey soğutmalı kapsülleme tekniği, partiküllerin soğuk havaya maruz bırakılarak katılaşmasına dayanır. Mikropartiküller, aktif maddenin bulunduğu çekirdek (core) ve kaplama malzemesinin (wall) bulunduğu bir solüsyon içerisinde bulunur. Bu karışım, kurutma makinesi ile nebülizasyon işlemine tabi tutulur. Sonraki adım olarak, havanın düşük sıcaklıktaki sirkülasyonu ile ortamdaki sıcaklık düşürülür. Sıcaklığın azalması ile, malzeme katılaşmaya başlar; core madde, duvar malzemesi tarafından içine alınarak kapsülendir (Champagne ve Fustier, 2007).

Püskürterek soğutma tekniği, düşük sıcaklıklarda yapılması planlanan kapsüllemeler için uygundur. Bunun yanında, ölçeklendirme yapılma konusunda büyük avantaja sahip olduğu gibi, ayrıca maliyetinin ucuz olması nedeniyle de tercih edilen metotlar arasında bulunur. Dezavantajları ise, malzeme içerisine alınan core maddenin kapasitesi düşük olabilmektedir ya da çekirdeğin doğrudan dışarı atılması söz konusu olabilmektedir. Bu teknik, esasen mineral ve vitamin kapsüllemesi konusunda kullanılmıştır (Rathore ve ark., 2013).

#### **4.3 Ekstraksiyon (Özütleme)**

Bu yöntemde, çok değerlikli bir iyon ile temas ettiğinde çekirdeği hareketsiz bırakan bir polisakkarit jeli kullanılır. Örneğin, core madde sodyum alginat çözeltisi içine bırakılır. İndirgenmiş kalibreli bir pipet yardımı ile sertleştirme çözeltisi (örneğin kalsiyumklorid) çözelti içerisine damla damla bırakılarak özümsemeye tabi tutulur (Swarbrick, 2004).

Bu yöntemin en önemli tercih edilme sebebi, oksijene karşı neredeyse tamamen bir bariyer sağlanması ve oluşan ürünün oksijenle temas kurmamış olması sebebiyle raf ömrünün uzun

olmasıdır. Bunun yanında yöntemin dezavantajı ise ağızda hissedilecek kadar büyük parçacıklar oluşturmasıdır, yaklaşık olarak oluşan ürünün boyutları 500-1000 nm arasındadır. Diğer bir dezavantaj ise, yöntemin uygulanışına bağlı olarak, tercih edilebilecek duvar malzemesinin sınırlı oluşudur.

#### **4.4 Koaservasyon**

Koaservasyon, ortamdaki fizikokimyasal özelliklerin değiştirilmesi ile (örneğin sıcaklık, pH, iyonik kuvvet, polarite) duvar malzemesi olacak polimerin çekirdeğin etrafında çökmesini amaçlayan bir yöntemdir (Azeredo, 2005). Proses, tek bir makromolekül bulundursa basit koaservasyon; karşı yüklerin iki ya da daha fazla molekülü olduğunda ise kompleks koaservasyon olarak adlandırılır.

Koaservasyon işlemi, yüksek sıcaklık veya organik çözeltili gerektirmediğinden, oldukça basit ve maliyeti düşük bir yöntem olarak bilinir. Genellikle aroma içeren yağların kapsüllenmesinde bu yöntem kullanılır (Oliveira et al., 2007). Yöntemin içerdiği tek dezavantaj, ortam koşulları değiştirilmesine dayalı bir yöntem olduğundan, sınırlı pH, elektrolit ve kolloid konsantrasyonlarında çalışılması gerekmektedir (Comunian ve ark., 2013).

#### **4.5 Liyofilizasyon**

Liyofilizasyon, materyalin vakum yardımıyla süblimasyon işlemine maruz bırakılarak dondurulması ve dehidrasyonunun sağlaması prensibine dayanır. Bu işlem, yüksek sıcaklıklar ihtiyaç duymadan materyalden suyun uzaklaştırılmasını sağladığında uygulanabilirliği yüksektir (Chen ve Wang, 2007).

Yöntemin geliştirme amacı, yüksek sıcaklığın getirdiği değişimleri en az seviyede tutarak yüksek kalitede ürünler ortaya çıkarılmasıdır. Liyofilizasyon, genellikle esans ve tatlandırıcı kapsülleme işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Ticari yönden uygulanabilirliği, yüksek maliyet gerektirmesi ve prosesin uzun zaman gerektirmesi sebebiyle düşüktür (Marques ve ark., 2006).

#### **4.6 Emülsifikasyon**

Bu yöntemde, çekirdeği oluşturacak core madde, duvar malzemesinin içeren organik çözücü içerisine bırakılır. Emülsiyon oluşturması için emülsiyon stabilizeri olan su veya yağ ile karışım karıştırılır. Sonraki adım olarak, organik çözücü ortamdaki buharlaştırma yöntemi ile ayrılır. Organik maddenin uzaklaşmasıyla, duvar malzemesi ile core madde etkileşime geçer ve duvar malzemesi polimeri çekirdeği içine alarak globül oluşumunu gerçekleştirir (Zanetti, 2001).

Bu teknik, nano ve mikro boyutta partikül üretiminde, yöntemin basitliği, hazırlama koşullarındaki malzemelerin çeşitli şekilde farklılaştırılması, formülasyonun kolaylığı gibi nedenlerle sıkça tercih edilmiştir. Emülsifikasyon, yaygın olarak enzimleri, mineralleri, vitaminleri ve mikroorganizmaları kapsülleme proseslerinde kullanılmıştır (Azeredo, 2005).

### **5. KONTROLLÜ SALIM MEKANİZMASI VE SALIMI ETKİLEYEN FAKTÖRLER**

Kontrollü salım, enkapsülasyon uygulamalarında en önemli parametrelerden ve istenen karakteristik özelliklerden biridir. Salım oranını etkileyen başlıca faktörler aktif maddenin



bulunduğu matriks yapısı ve kullanılan duvar materyali ile aktif maddenin kimyasal özellikleri arasındaki ilişkidir. Çekirdekteki (core) aktif maddenin yavaş bozulan bir matriks içerisine enkapsülasyonu, maddenin yavaş ve kontrollü salımı için olanak sağlar. Maddenin polimerin bozunması ile salımının gerçekleştirilmesinin yanı sıra, polimerin sertleşmesi sırasında oluşan gözeneklerden geçişi ile oluşan difüzyon kontrollü salım da mevcuttur. Örneğin, nükleofilik grup içeren maddeler (elektronca zengin maddeler), polimer matrisinden zincir kopmasına sebep olabilir ve yapıda daha çabuk bir bozunum gözlenir. Bu durum, ilaç salım oranının artmasında etkilidir. Polimerin moleküler ağırlığı, yapısal olarak farklı polimerlerin karıştırılması, porozite, kristallik gibi faktörler salım mekanizmasının kontrolünde etkilidir (Freiberg ve Zhu, 2004).

Salım profilinin en istenen hali, zamanla sabit bir salım oranının yakalanmasıdır. Diğer durumda, serbest salım mekanizması daha komplekstir ve kontrolü daha karmaşıktır. Genellikle uygulanan iki farklı salım mekanizması şu şekildedir:

1. Kürenin yüzeyinden aktif maddenin ilk patladığı ana bağlı ve serbest hızla gerçekleştiren salım sistemi,
2. Daha sabit bir hızla gerçekleşen difüzyon ve bozunmaya bağlı salım sistemi (Freiberg ve Zhu, 2004).

Yang ve arkadaşlarının (2000) bu iki farklı salım mekanizmasını, ilk patlama ve difüzyona bağlı salımı, incelediği çalışmaya ait grafik aşağıda gösterilmiştir (Yang ve ark., 2000). Çalışmalarında, DLPLA ve DLPGA mikrokürelerinden sığır serum albümininin serbest bırakma profillerini elde etmişlerdir. Sıcaklığı da parametre olarak kabul ettiklerinde, düşük sıcaklıktaki mikrokürelerin hızlı bir patlama yarattığı ve sonrasında yavaş serbest salım profili verdiğini gözlemişlerdir. Yüksek sıcaklıkta oluşan mikroküreler ise en hızlı salım oranına sahip olmanın yanı sıra, küreler içindeki büyük üniform gözeneklerin etkisiyle sabit hızlı salım gerçekleştirmiştir (Yang ve ark., 2000).

Bu konu üzerine çalışmış diğer araştırmacıların sonuçlarına göre, ilk patlamadan sonra sabit hızlı salım oranları elde edilebilmiştir. Bir diğer sonuçlara göre, herhangi bir patlama gerçekleşmeden, zero-order kinetiğine yakın salım profilleri elde etmeyi başaramışlardır. İstenen prosese bağlı olarak daha karmaşık sonuçların olduğu fakat ayarlanabilir mekanizmalara sahip çalışmalar da mevcuttur (Narayani ve Rao, 1996; Makino ve ark., 2000; Yang ve ark., 2000; Berkland ve ark., 2002; Kakish ve ark., 2002).

### **5.1 Polimerin Moleküler Ağırlığı**

Partikülleri oluşturan polimerin sahip olduğu moleküler ağırlık (MW), yapının bozunması ile doğrudan ilişkilidir. Bu konu üzerine yapılan çalışmalardan en son yapılanlar gösteriyor ki, düşük moleküler ağırlık içeren partiküller, aktif maddeyi daha hızlı serbest bırakmaktadır. PLA ve PLGA polimerleri üzerinde, MW ile ilgili yapılan testler başarıya ulaşmıştır (Tuncay ve ark., 2000; Ravivarapu ve ark., 2000).

### **5.2 Yapısal Olarak Farklı Polimerlerin Karıştırılması**

Farklı yapılarıdaki iki polimerin fiziksel olarak harmanlanması, kürelerin salım mekanizmasında değişikliğe neden olabilir. Bu konuda yapılan son çalışmalara bakıldığında, Mi ve arkadaşları (2002), hidrofobik yapıdaki iki polimeri, kitin ve PLGA, karıştırıp bu sistemin hidrasyonunu incelemiştir. Bozunum kitinde daha hızlı gerçekleşmiş ve yüksek miktarda kitin içeriğine sahip küreler daha hızlı salım yapmıştır. PLGA ise daha yüksek

hidrofobisiteye sahip olduğundan, salımı yavaş şekilde gerçekleştirmiştir. Bu iki farklı polimeri içeren sistem, iki aşamalı salım profiline sahip olmuştur. Küre bozunumunda, öncelikle kitinin hızlı bozunması sebebiyle hızlı bir salım gerçekleşirken, ardından PLGA içeriği yüksek partiküller salımı yavaşlatmıştır (Mi ve ark., 2002).

### 5.3 Kristallik

Kürelerdeki oluşan kristal yapı genellikle X-ışınımı kırınımı (XRD) ya da Differential Scanning Calorimetry (DSC) ile araştırılmaktadır. Oluşan kristal yapının salım üzerine etkisi çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Son yapılan çalışmalardan birine bakıldığında, Edlund ve Albertsson'un çalışması şunu göstermektedir: öncelikli olarak amorf kürelerde oluşan bozunma, kristal bölgelerde oluşan daha yavaş bir bozunma ile devam etmiştir. Bu gözleme dayalı olarak, polimer zincirini etkileyen kristalleşme derecesi, bozunum oranını etkilemektedir. Bunun yanı sıra, kürelerin bozunmasının başında, kristalleşme düzeyi artış göstermiştir. Bu durum, bozulmuş zincirlerin kristalleşmesi ya da amorf bölgelerin tercihe bağlı bozunması olarak öngörülmüştür (Edlund ve Albertsson, 2002).

### 5.4 Porozite (Gözeneklilik)

Kürelerin oluşumunda sertleşme aşamasında açığa çıkan gözenekler, organik çözücü uzaklaştıkça belirginleşir. Küre hazırlama aşamasındaki tekniklerle, küre gözenekliliği kontrol edilebilir ve böylece gözenekte oluşan farklılıklar salım kinetiğini değiştirir. Yang ve arkadaşları gözeneklilik konusunda yaptığı araştırmalar sonucunda şu sonuca ulaşmıştır: oldukça gözenekli olan bir matris, kendisi gibi eşdeğer bir küre olup gözenekliliği az olan bir matristen daha fazla salım yapabilmektedir (Yang ve ark., 2000). Diğer araştırmacılar da bu durumun serbest bırakma profilinde de gözlemlendiği sonucuna varmışlardır Chung ve ark., 2001).

### 5.5 Boyut Dağılımı

Salım profillerinin bağlı olduğu diğer bir etmen kürelerin boyutlarıdır. Küre boyutunun artması ile aktif maddenin salım oranının azaldığı çok önceden saptanmıştır (Narayani ve Rao, 1996). Bu bilgiye dayanarak, farklı boyutlardaki küreleri karıştırması farklı bir kontrol mekanizması ortaya çıkarabildiği söylenebilir. son yapılan çalışmalar bu düşüncüyü desteklemektedir. Berkland ve arkadaşları, farklı boyutlardaki (1-35 µm) mikroküreleri karıştırarak zero-order kinetiğine sahip salım profili elde etmişlerdir (Berkland ve ark. 2001, 2002).

### 5.6 pH Kontrollü Salım

Kontrollü salımın gerçekleştirilmesindeki diğer faktörlerden biri, pH ayarlamasıdır. pH'a duyarlı gruplara sahip olan mikrokürelere, istenilen biyolojik ortamlarda salım yapması hedef olarak konulabilir. (Gupta ve Kumar, 2001) Lynn ve arkadaşları (2001) hücrelerarası pH'larda mikrokürelerin yaptığı salım profilini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada, 7.0-7.4 pH aralığında kararlı, pH 6.5'e düşürüldüğünde ise çözünebilir bir poly(-aminoester) kullanmışlardır. Test sonuçlarına göre, pH 7.4'te serbest salım profilinin çok yavaş olduğu gözlenmiştir. Ardından, pH 5.1'e düşürüldüğünde ise tam ve ani bir salım profili gözlenmiştir. Bu sonuçlar, hedeflenen ortam, organ veya bölge için iyi bir malzeme olabileceğini göstermektedir (Lynn ve ark., 2001).

## **6. NANO/MİKROKÜRELERİ KARAKTERİZASYONU**

Çeşitli yöntemler ile elde edilen nano/mikrokürelerin analiz edilmesinde birçok cihaz ve yöntem kullanılabilir. Bu teknikler partiküllerin yüzey modifikasyonunu, parçacık boyutunu, yüzey morfolojisini ve yüzeyde oluşan yükü belirlemede yardımcı olurlar. Bunlardan bazıları; FTIR spektroskopisi, Foton korelasyon Fourier spektroskopisi, Zeta potansiyel tayini, Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM)' dir. Kumar ve arkadaşlarının (2004) DNA taşıyıcı özelliği bulunan PLGA nanokürelerinin karakterizasyonunu yaptığı çalışmada bu cihazlar kullanılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir:

### **6.1 FTIR Spektroskopisi**

Polimer yüzeyinin modifikasyonunu değerlendirmek için FTIR spektrometresi kullanılabilir. Kumar ve arkadaşları, FT-IR (ATR) spektrometresi (Perkin Elmer sistemi 2000) cihazını kullanarak, oluşturdukları nanokürelerin polimer yüzeyini incelemiştir. Ölçüm için, çözelti içerisindeki partikülleri ATR kristaline yaymışlardır. Azot akımı ile suyu uzaklaştırması sonucunda partiküllerin analizi yapılmıştır (Kumar ve ark., 2004).

### **6.2 Foton Korelasyon Fourier Spektroskopisi**

Oluşan kürelerin parçacık boyutunun saptanmasında, Foton korelasyon Fourier spektroskopisi kullanılabilir. Kumar ve arkadaşları, oluşturdukları nanoküreleri, 90° saçılma açısı olan Photon Correlation Spectroscopy ALV 5000 (Laser Vertriebsgesellschaft mbH, Langen, Germany) cihazı ile incelemiştir. Ölçüm için tüm numuneleri mineralize etmişler ve seyreltme uygulamışlardır. Böylece, katkı maddelerinin etkisi en aza indirmeyi sağlamışlardır (Kumar ve ark., 2004).

### **6.3 Zeta Potansiyel Tayini**

Nano/mikrokürelerin yüzeylerinde oluşturduğu yükü tayin edebilmek için kullanılan bir yöntem olan Zeta potansiyel tayini, Kumar ve arkadaşlarının çalışmalarında kullandığı bir yöntemdir. Mettler DL 25 (Mettler-Toledo, Giessen, Almanya) otomatik titratörüne bir akış ölçüm hücresi ile bir Malvern Zetasizer 2000 HS'de (Malvern, Birleşik Krallık) zeta potansiyeli ölçümü ile belirlenmiştir. Nanopartiküller öncelikle demineralize su ile seyreltilmiş, ardından uygun pH değerlerinde titrasyon işlemine tabi tutulmuştur (Kumar ve ark., 2004).

### **6.4 Atomik Kuvvet Mikroskopisi (AFM)**

AFM, nano/mikroparçacıkların yüzey morfolojisini ve büyüklüğünü tespit etmekte sıkça tercih edilir. Kumar ve arkadaşları, Atomic force microscopy (AFM) Nanoscope IV Bioscope (Digital Instruments, Veeco) cihazını tapping moda kullanarak parçacık analizini yapmıştır (Kumar ve ark., 2004).

## **7. SONUÇ**

Enkapsülasyon tekniği incelendiğinde, bir aktif madde ve duvar malzemesinin birbiri ile etkileşerek oluşturduğu nano ve mikro boyutlu küreler karşımıza çıkar. Bu tekniği uygulanma sebeplerinden en önemlisi, kontrollü bir mekanizma ile aktif maddenin istenilen salım hızıyla ve istenilen zamanda maddenin akışını sağlamaktır. Tekniğin basit ve uygulanabilirliği yüksek olması sebebiyle, gıda, kimya, tıp, eczacılık, veterinerlik, biyoteknoloji ve kozmetik gibi birçok

alandaki kullanımı süregelmektedir. Günümüzde, özellikle yararları birçok çalışma tarafından onaylanmış olan fenolik bileşiklerin kapsülleme uygulamaları göz önünde olan çalışma alanlarıdır. Enkapsülasyon oluşumunda, birçok tekniğin uygulanması ve duvar malzemelerin fenolik bileşikler için fazla miktarda bulunması sebebiyle araştırma konusu olarak dikkat çekmektedir.

## 8. KAYNAKLAR

- Andrade, B., Song, Z., Li, J., Zimmerman, S. C., Cheng, J., Moore, J. S., ... & Katz, J. S. (2015). New frontiers for encapsulation in the chemical industry. *ACS applied materials & interfaces*, 7(12), 6359-6368.
- Azeredo, H.M.C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. *Alimentos e Nutrição*, v.16, n.1, p.89-97, 2005.
- Berkland, C., Kim, K., Pack, D.W., 2001. Fabrication of PLG microspheres with precisely controlled and monodisperse size distributions. *J. Control Release* 73, 59-74
- Berkland, C., King, M., Cox, A., Kim, K., Pack, D.W., 2002. Precise control of PLG microsphere size provides enhanced control of drug release rate. *J. Control Release* 82, 137-147.
- Caballero, B. et al. *Encyclopedia of food sciences and nutrition*. 2.ed. New York: Academic, 2003. 6000 p.
- Champagne C.P.; Fustier P. Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, v.18, n.2, p.184-190, 2007.
- Chen, G.; WANG, W. Role of freeze drying in nanotechnology. *Drying Technology*, v.25, n.1, p.29-35, 2007.
- Chung, T.-W., Huang, Y.-Y., Liu, Y.-Z., 2001. Effects of the rate of solvent evaporation on the characteristics of drug loaded PLLA and PDLLA microspheres. *Int. J. Pharm.* 212, 161-169
- Comunian, T.A. et al. Microencapsulation of ascorbic acid by complex coacervation: Protection and controlled release. *Food Research International*, v.52, n.1, p.373-379, 2013.
- Demir, D. (2013). Dosetaksel İçeren Nanopartiküllerin Formülasyonu ve in Vitro Değerlendirilmesi.
- Derman, S., Kızılbey, K., Akdeste, Z. M. (2013). Polymeric nanoparticles. *Sigma*, 31, 107-120.
- Edlund, U., Albertsson, A.-C., 2002. Degradable polymer microspheres for controlled drug delivery. *Adv. Polym. Sci.* 157, 67-112
- Eyüpoğlu, S., Kut, D. (2016). Mikroenkapsülasyon Teknolojisi Ve Tekstil Sektöründe Kullanımı/Microencapsulation Technology And The Use Of Microencapsulation Technology In Textile Industry. *Istanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(29), 9.
- Ezhilarasi, P. N., Karthik, P., Chhanwal, N., Anandharamkrishnan, C. (2013). Nanoencapsulation techniques for food bioactive components: a review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(3), 628-647.
- Fairhurst, D., Loxley, A. (2008). Micro-and nano-encapsulation of water-and oil-soluble actives for cosmetic and pharmaceutical applications. *Science and Applications of Skin Delivery Systems*. Allured Publishing Corporation, 313-336.
- Fang, Z., Bhandari, B. (2010). Encapsulation of polyphenols—a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21(10), 510-523.
- Freitas, S. et al. Microencapsulation by solvent extraction/ evaporation: reviewing the state of the art of microsphere preparation process technology. *Journal of Controlled Release*, v.102, n.2, p.313-332, 2005.
- Freiberg, S., & Zhu, X. X. (2004). Polymer microspheres for controlled drug release. *International journal of pharmaceutics*, 282(1), 1-18.

- Gamboa, O.D. et al. Microencapsulation of tocopherols in lipid matrix by spray chilling method. *Procedia Food Science*, v.1, p.1732-1739, 2011.
- Gouin, S. Microencapsulation: industrial appraisal of existing technologies and trends. *Trends in Food Science and Technology*, v.15, n.7-8, p.330-347, 2004.
- Gökmen, S., Palamutoğlu, R., Sarıçoban, C. (2012). Gıda endüstrisinde enkapsülasyon uygulamaları. *Electronic Journal of Food Technologies*, 7(1), 36-50.
- Gupta, K.C., Kumar, M.N.V.R., 2001. pH dependent hydrolysis and drug release behavior of chitosan/poly(ethylene glycol) polymer network microspheres. *J. Mater. Sci. Mater. Med.* 12, 753–759.
- Güleşci, N., Aygül, İ. (2016). Beslenmede Yer Alan Antioksidan ve Fenolik Madde İçerikli Çerezler. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 5, 109-129.
- Hamidi, M., Azadi, A., Rafiei, P. (2008). Hydrogel nanoparticles in drug delivery. *Advanced drug delivery reviews*, 60(15), 1638-1649.
- Kakish, H.F., Tashtoush, B., Ibrahim, H.G., Najib, N.M., 2002. A novel approach for the preparation of highly loaded polymeric controlled release dosage forms of diltiazem HCl and diclofenac sodium. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 54, 75–81
- Karabulut, A. B. (2008). Resveratrol ve Etkileri. *Türkiye Klinikleri Journal of Medical Sciences*, 28(6), 166-169.
- Kumar, MNV Ravi, U. Bakowsky, and C. M. Lehr. "Preparation and characterization of cationic PLGA nanospheres as DNA carriers." *Biomaterials* 25.10 (2004): 1771-1777.
- Laohasongkram, K. et al. Microencapsulation of Macadamia oil by spray drying. *Procedia Food Science*, v.1, p.1660-1665, 2011.
- Lynn, D., Amiji, M., Langer, R., 2001. pH-responsive polymer microspheres: rapid release of encapsulated material within the range of intracellular pH. *Angew. Chem. Int. Ed.* 40, 1707–1710.
- Madene, A. et al. Flavor encapsulation and controlled release - a review. *International Journal of Food Science and Technology*, v.41, n.1, p.1-21. 2006..
- Makino, K., Mogi, T., Ohtake, N., Yoshida, M., Ando, S., Nakajima, T., Ohshima, H., 2000. Pulsatile drug release from poly(lactide-co-glycolide) microspheres: how does the composition of the polymer matrixes affect the time interval between the initial burst and the pulsatile release of drugs? *Colloid. Surf. B: Biointerfaces* 19, 173–179.
- Marques, L.G. et al. Freeze-drying characteristics of tropical fruits. *Drying Technology*, v.24, n.4, p.457-463, 2006. Available from: . Accessed: Jul. 03, 2012. doi: 10.1080/07373930600611919.
- Mi, F.-L., Chen, C.-T., Tseng, Y.-C., Kuan, C.-Y., Shyu, S.-S., 1997. Iron(III)-carboxymethylchitin microsphere for the pH-sensitive release of 6-mercaptopurine. *J. Control Release* 44, 19–32.
- Narayani, R., Rao, K.P., 1996. Gelatin microsphere cocktails of different sizes for the controlled release of anticancer drugs. *Int. J. Pharm.* 143, 255–258
- Nizamlioğlu, N. M., Sebahattin, N. A. S. (2010). Meyve ve sebzelerde bulunan fenolik bileşikler; yapıları ve önemleri. *Electronic Journal of Food Technologies*, 5(1), 20-35.
- Oliveira, A.C. et al. Stability of microencapsulated *B. lactis* (BI 01) and *L. acidophilus* (LAC 4) by complex coacervation followed by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, v.24, n.7, p.685-693, 2007.
- Paulo, F., Santos, L. (2017). Design of experiments for microencapsulation applications: A review. *Materials Science and Engineering: C*.
- Rathore, S. et al. Microencapsulation of microbial cells. *Journal of Food Engineering*, v.116, n.2, p.369-381, 2013.
- Ravivarapu, H.B., Burton, K., DeLuca, P.P., 2000. Polymer and microsphere blending to alter the release of a peptide from PLGA microspheres. *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 50, 263–270.

- Swarbrick, J. Encyclopedia of pharmaceutical technology. 2.ed. New York: Informa Healthcare, 2004. 5536 p.
- Tuncay, M., Calis, S., Kas, H.S., Ercan, M.T., Peksoy, I., Hincal, A.A., 2000. Diclofenac sodium incorporated PLGA (50:50) microspheres: formulation considerations and in vitro/in vivo evaluation. *Int. J. Pharm.* 195, 179–188
- Yang, Y.-Y., Chung, T.-S., Bai, X.-L., Chan, W.-K., 2000. Effect of preparation conditions on morphology and release profiles of biodegradable polymeric microspheres containing protein fabricated by double-emulsion method. *Chem. Eng. Sci.* 55, 2223–2236.
- Zanetti, B.G. Desenvolvimento de microesferas de carbamazepina visando ao prolongamento da liberação do fármaco. 2001. 100f. Dissertação (Mestrado em Farmácia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

## AĞAÇTAKİ KİRAZIN TESPİT EDİLMESİ

Kemal Berki<sup>1</sup>, Kadir Artan<sup>1</sup>, Mustafa Orhan<sup>1</sup>

### ÖZET

Bu çalışmada kiraz hasadı esnasında kiraz üreticilerinin yaşadıkları zorluklar incelenmiştir. Kiraz üreticilerinden edinilen bilgiler doğrultusunda görüntü işleme metodu ile kiraz üreticilerinin yaşadığı kirazın yerinin tespiti problemine çözüm getirilmiştir.

Kiraz hasat zamanı çok kısa olan bir meyvedir. Ağaçların bulunduğu arazinin elverişsizliği nedeniyle, kiraz hasat işleminde insan gücünden çok tam mekanize otonom sistemlerin kullanılması üreticilerin hasat yapmalarını kolaylaştırabilir. Kiraz toplama işleminin detayları değerlendirildiğinde böyle bir otonom makinenin, kirazın tespit edilmesi, tespit edilen kirazın koordinatlarının belirlenmesi ve belirlenen koordinattan kirazın koparılması gibi üç ardışık problemi çözmesi gerektiği görülmüştür. Bu çalışmada bu problemlerden ilki olan kirazın tespit edilmesi ile ilgili bir uygulama görüntü işleme yöntemi ile tasarlanmıştır. Görüntü işleme işlemi için kontrolcü kartı olarak Raspberry Pi 3 kartı kullanılmış, yazılım kanadında ise C yazılım dili, QT Creator derleyicisi ve OpenCV kütüphanesinden yararlanılmıştır.

Sonuç olarak, yüksek ters ışık olmadığı durumlarda ağaçta hasat edilecek olgunluğa ulaşan kirazın tespiti %100 başarı ile sağlanmıştır. Ancak yüksek ters ışık olduğu durumlarda sistem kiraz olduğundan daha koyu gördüğünden dolayı tespit edememiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kiraz Toplama, Akıllı Kiraz toplama makinesi, görüntü işleme,

### DETECTION OF CHERRY ON TREE ABSTRACT

In this study, the difficulties of the cherry producers during the cherry harvesting were investigated. In the view of the information obtained from the producers of cherries, the problem of determining the location of the cherries, where the cherries are located, has been solved by the image processing method.

Cherry is a fruit that has a very short harvest time. Because of the unfavorable nature of the land where the trees are located, the use of autonomous systems in the cherry harvesting process can make it easier for the harvesters to harvest. When the details of the cherry picking process are evaluated, it has been seen that such an autonomous machine should solve three successive problems, such as determining the cherry, determining the coordinates of the cherry and breaking the cherry in the determined chord. In this study, an application related to the detection of the cherry which is the primary of these problems is designed with image processing method. As a controller, Raspberry Pi 3 card is used for image processing and in software side, C software language, QT Creator compiler and OpenCV library are used.

---

<sup>1</sup>Öğr.Gör., Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Soma MYO, Kemal.berki@cbu.edu.tr kadir.artan@cbu.edu.tr mustafa.orhan@cbu.edu.tr

As a result, when there is no high backlight, the detection of the cherry, that reaches the harvestable level, in the tree has been achieved with 100% success. However, in the case of high backlight, the system could not detect it because it was darker than the cherry.

**Keywords:** Cherry picking, Intelligent cherry picking machine, image processing

## 1. GİRİŞ

Dünya üzerinde kiraz Orta Doğu, Avrupa, Kuzey Amerika ve Avustralya gibi birçok ülkede yetiştirilmektedir. 2014 yılı rakamlarına bakıldığında dünya üzerinde toplam kiraz üretimi miktarı 2.25 ton olarak gerçekleşmiştir ve bu 2.25 ton kirazın 445.556 gramı Türkiye tarafından üretilmiştir[5]. Türkiye bu üretim miktarı ile 2014 yılında en çok kiraz üreten ülke olmuştur. Türkiye'yi 32.9852 gram ile Amerika Birleşik Devletleri takip etmektedir[5].

### TÜRKİYE'NİN DÜNYADA LİDER OLDUĞU ÜRÜNLER (2014)

Sıralama	Ürünler	Dünya Üretimi* (ton)	Türkiye Üretimi** (ton)	Üretimdeki Payımız(%)
1	FINDIK	713.451	412.000	68
	KIRAZ	2.245.826	445.556	20
	İNCİR	1.137.730	300.282	26
2	KAVUN	29.626.335	1.707.302	6
	KAYISI	3.365.738	270.000	8
	KARPUZ	111.009.149	3.885.617	4
	HIYAR	74.975.625	1.845.749	2
	HAŞHAŞ (TOHUM)	83.577	16.223	19
3	MERCİMEK	4.827.121	345.000	7
	ANTEP FISTIĞI	857.878	80.000	9
	AYVA	649.364	107.243	17
	VIŞNE	1.362.231	182.577	13
	KESTANE	2.051.564	63.762	3
	BİBER	32.324.345	2.127.944	7
	FASULYE (TAZE)	21.720.588	638.469	3
4	CEVİZ	3.462.731	180.807	5
	ZEYTİN	15.516.980	1.768.000	11
	DOMATES	170.750.767	11.850.000	7
	ISPANAK	24.277.812	207.676	1
	MANDALİN	29.864.484	1.046.899	4
5	NOHUT	13.731.001	450.000	3
	ŞEKERPANCARI	269.714.067	16.742.968	6
	ELMA	84.630.275	2.480.444	3
	PATLICAN	50.193.117	827.380	2

Şekil 1: 2014 Yılı Türkiyede meyvelerin üretim miktarları, dünya üretim miktarları[5].

Yıl	Kiraz Ağaç sayısı		Üretim (Ton)
	Meyve veren	Meyve vermeyen	
2010	14 740 000	7 409 000	417 905
2011	15 836 000	7 553 000	438 550
2012	16 916 000	7 264 000	470 887
2013	17 922 000	7 236 000	494 325
2014	19 087 000	7 232 000	445 556
2015	20 616 000	6 614 000	535 600
2016	21 314 000	6 447 000	599 650

Şekil 2: Türkiyedeki kiraz ağaçlarının sayısı[6]



Ülkemizde kiraz, yöresine ve cinsine göre nisan ayından ağustos ayına kadar yetiştirilebilen bir meyvedir[4]. Bazı bölgelerde nisan ayında kiraz hasadı başlarken bazı bölgelerde ağustos ayında hala kiraz hasadı yapılabilmektedir. Kiraz, hasat zamanı geldiğinde başka bir deyişle ağaçlarda kirazlar toplanması gereken olgunluğa eriştiğinde acilen hasat edilmesi gerekebilmektedir. Aksi halde kiraz kırmızı renginden bordo rengine dönebilir ve olgunlaşmaya devam edebilir. Olması gerekenden fazla olgunlaşmış bir kiraz ticari değerini yitirebilir. Bu sebeple kirazın zamanından önce ya da zamanından sonra toplanması kirazın satışında problemlere neden olabilir. Ancak maalesef bir ağaçtaki tüm kirazlar aynı anda olgunlaşamayabilir. Aynı ağacın kirazları birkaç gün ara ile olgunlaşabilir. Bu da kiraz üreticilerinin bir ağaç için kiraz toplama işlemini birden fazla kez yapmasına neden olabilir. Örneğin 100 ağaç olan bir kiraz bahçesinde sanki 200 ya da 300 ağaç varmış gibi iş yapılmasına neden olabilir. Bu problem kiraz hasadındaki zorluklarla birleşince kiraz üreticisinin sırtına daha çok yük bindirebilmektedir. Kiraz toplama işlemi zeytin, ceviz, elma ya da armut toplama işlemleri ile karşılaştırıldığında içerisinde çok fazla zorluk barındırır.

### BAZI TARLA BİTKİLERİ EKİLİŞ ALANI VE ÜRETİM MİKTARLARI

Ürünler	Ekim Alanı (1000 ha)										Üretim (1000 ton)									
	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016		
Buğday	8.490	8.090	8.103	8.096	7.529	7.773	7.919	7.867	7.672	20.010	17.782	19.660	21.800	20.100	22.050	19.000	22.600	20.600		
Arpa	3.650	2.950	3.040	2.869	2.749	2.721	2.787	2.784	2.740	9.551	5.923	7.240	7.600	7.100	7.900	6.300	8.000	6.700		
Çavdar	131	126	141	128	143	138	115	112	115	271	247	366	366	370	365	300	330	300		
Yulaf	100	91	88	86	89	93	94	103	99	209	196	204	218	210	235	210	250	225		
Çeltik	99	100	99	99	120	111	111	116	116	696	753	860	900	880	900	830	920	920		
Aspir	0,4	5	14	13	16	29	44	43	40	0,4	7	26	18	20	45	62	70	58		
Ayçiçeği	585	580	641	656	605	610	657	685	720	1.118	992	1.320	1.335	1.370	1.523	1.638	1.681	1.671		
Dane Mısır	536	595	594	589	623	660	659	688	680	3.811	4.274	4.310	4.200	4.600	5.900	5.950	6.400	6.400		
Kolza	5	28	31	27	30	31	32	35	35	13	84	106	91	110	102	110	120	125		
Kuru Fasulye	129	98	103	95	93	85	91	94	90	196	155	213	201	200	195	215	235	235		
Kütlü Pamuk	591	495	481	542	488	451	468	434	416	2.550	1.820	2.150	2.580	2.320	2.250	2.350	2.050	2.100		
Mercimek	424	319	234	215	237	281	250	224	252	623	131	447	405	438	417	345	360	365		
Nohut	524	505	456	446	416	424	389	359	360	552	518	531	487	518	506	450	460	455		
Patates	158	149	139	145	174	126	130	154	145	4.366	4.197	4.513	4.613	4.795	3.948	4.166	4.760	4.750		
Soğan(K)	66	66	63	66	73	62	60	58	60	1.765	2.007	1.900	2.141	1.736	1.905	1.790	1.879	2.121		
Soya	12	9	23	26	32	43	34	37	38	47	34	87	102	122	180	150	161	165		
Ş. Pancarı	326	322	329	297	281	291	289	274	322	14.452	15.488	17.942	16.126	15.000	16.489	16.743	16.023	19.465		
Tütün	146	147	81	77	108	136	106	920	922	98	93	55	45	73	90	75	68	70		
Çay	77	76	76	76	76	76	76	76	76	1.121	1.100	1.306	1.231	1.250	1.180	1.266	1.328	1.350		

Kaynak: TÜİK 2016

Şekil 3:Türkiyede yıllara göre meyve üretim miktarları[5]

Özellikle meyve şeklinde tüketilecek olan kiraz toplanırken kirazın bağlı bulunduğu yeşil sapları ile birlikte toplanmalıdır. Aksi halde kirazın sağlam kalma ömrü azalabilir. Bunun yanı sıra kiraz narın bir meyve olduğundan ağaçtan yere düştüğünde çok kolay çatlayabilir. Bu iki sebep de meyve şeklinde tüketilecek olan kirazların silkeleme metodu ile ya da sırkla vurarak düşürme metodu ile toplanamamasına neden olmaktadır. Başka bir deyişle bu kirazlar tek tek el ile sapı ile birlikte kopartılmalıdır. Tabi bu işlem için kiraz üreticileri farklı yöntemler geliştirmişlerdir. Örneğin ağaç üzerine çıkarak yetişebildikleri yerlerdeki kirazları toplarken, yere yakın yerlerdeki kirazlar için iki tarafı çengelli aparatlar sayesinde kirazın dalını aşağıya çekmek sureti ile toplayabilmektedirler. Ancak bu iki yöntem de ağacın dış kısımlarında kalan ya da yüksek kısımlarında kalan kirazları toplamak için yetersiz kalabilir. İşte bu noktada merdiven kullanarak kiraz toplama işlemini gerçekleştirebilirler. Ortalama bir kiraz ağacı için 4-5 metrelik bir merdiven gerekebilmektedir. Bu merdivenin üstüne çıktıktan sonra sadece ulaşabildikleri küçük bir alandaki kirazları toplayabilirler ve yan taraftaki kiraz için yere inip merdiveni yana kaydırmaları gerekmektedir. Bu da bir kiraz ağacını toplayabilmek için

defalarca merdiveni hareket ettirmek demektir. Bu sürekli merdiven hareketi eğer toprak sürülmüş yumuşak bir topraksa hem kiraz toplayıcılarını yavaşlatan hem de yoran bir problem olarak karşımıza çıkabilmektedir. Bunların yanı sıra merdivenden düşme riski olduğundan iş sağlığı güvenliği açısından da önlemlerin alınması gerekmektedir[4].

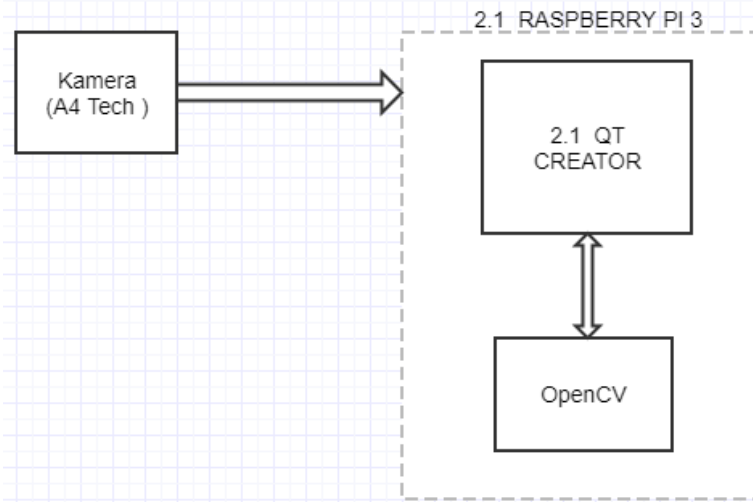
İşte bu problemlerden dolayı, bu çalışmada kiraz hasadında akıllı sistemlerin kullanılması üzerine çalışılmıştır . Bu akıllı sistemler otonom çalışabilmeli ve kiraz hasadını kendisi insana ihtiyaç duymadan yapabilmelidir. Böyle bir sistemin aşağıdaki üç problemi çözebilmesi gerekir.

1. Yeterince olgunlaşmış kirazın varlığının tespiti: Ağacın dallarında kiraz var mı yok mu, ilk tespiti yapabilmelidir. Bu tespiti yaparken sadece yeterince olgunlaşmış kirazlar yani ticari değeri olan kirazları görmeli, gereğinden fazla olgunlaşmış kirazları görmezden gelebilmelidir.
2. Tespit edilen kiraza ulaşabilmesi gerekmektedir. Bunun için kirazın bulunduğu noktaya göre koordinatlarını tespit edebilmelidir.
3. Kirazı, bulunduğu dal bir sonraki hasatta tekrardan meyve verebilmesi için dalına zarar vermeden ancak sapı ile birlikte kopartabilmelidir.

Yapılan bu çalışmada bu problemlerden ilki olan kirazın varlığının tespiti problemine çözüm getirilmiş ağaç üzerinde yeterince olgunlaşmış toplanması gereken kirazların tespiti başarı ile yapılabılmıştır.

## 2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada görüntü işleme metodu ile kirazın tespiti yapılmıştır. Bunun için kontrol ünitesi olarak Raspberry Pi 3 ve kamera olarak da A4 Tech USB kamera kullanılmıştır. Kirazı tanımak için QTcreator derleyicisi kullanılmıştır.



Şekil 4: Görüntü işleme için kullanılan araçlar

A4 Tech Kameradan alınan görüntü Raspberry Pi 3 kartına aktarılmış ve OpenCV Kütüphanesi aracılığı ile QT Creator derleyicisinde C++ dili kullanılarak kirazlar tespit edilmiştir. Kirazlar tespit edilirken kameradan alınan video görüntüsündeki tüm piksellerin HSV kodları bulunmuş ve hasat edilmesi gereken kirazın HSV kodları ile aynı olan pikseller

işaretlenmiştir. Bu sayede kirazların kameradaki yerleri tespit edilmiştir.

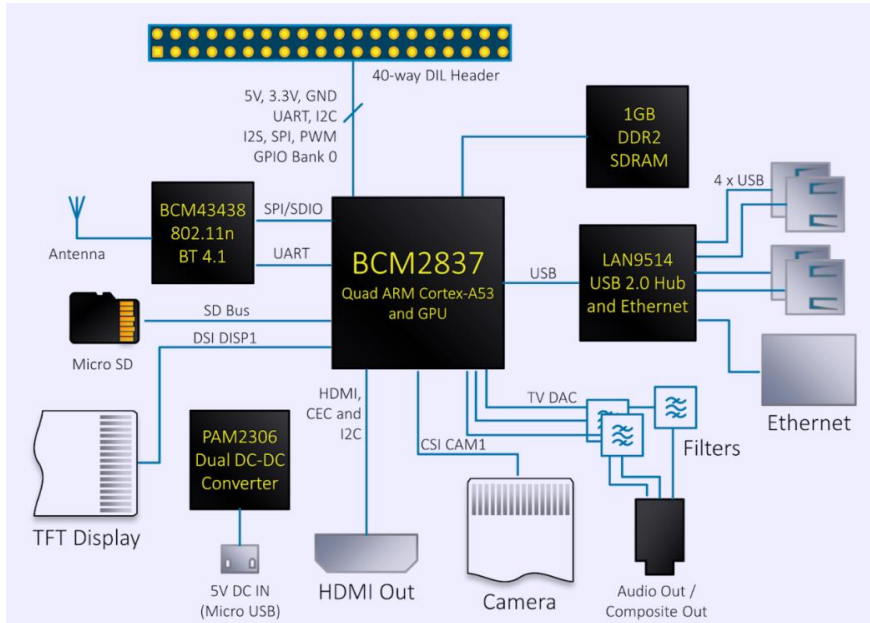
## 2.1 RASPBERRY PI 3

Yarıiletken üreticileri gün ve gün daha hızlı ve daha çok özelliklere sahip gelişmiş kontrolcüler ya da kontrol kartları geliştirebilmektedir. Bunlardan birisi de Raspberry kartlarıdır.



Şekil 5: Raspberry Pi 3 kartı görüntüsü

Raspberry kartları kendi içerisinde mikroişlemci ve ram barındıran aynı zamanda input ve output portları bulunan ve modele bağlı olarak da wifi, bluetooth gibi modülleri içerisinde barındırabilen ve aynı zamanda harici modüllerin kolay bağlanabilmesini sağlayacak olan USB, ethernet, kamera gibi port ya da konektörlere sahip açık kaynak yazılımlı paket kartlardır. Raspberry Pi 3 ise Raspberry ailesinin şubat 2016 da çıkardığı ve en gelişmiş üçüncü kuşak modül kartıdır.



Şekil 6: Raspberry Pi blog diyagramı[17]

Raspberry Pi 3'ün özelliklerine bakarsak;

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN ve Bluetooth Low Energy (BLE)
- 40-pin Giriş Çıkış Portu
- 4 USB Portu
- Stereo ses çıkışı and composite video portu
- HDMI çıkışı
- CSI kamera portu
- DSI display portu
- Micro SD kart yuvası
- Micro USB 2.5 A'e kadar güç kaynağı

## 2.2 A4 TECH PK-635 USB KAMERA

Bu kamera bilgisayarlarda kullandığımız webcam diye de isimlendirilen bir USB kameradır. 640x480 pixel çözünürlük ile çekim yapabilen, interpolasyon ile 8 MPixel çözünürlüğe ulaşabilen 55 derecelik görüş açısına sahiptir[19].



Şekil 7: A4 TECH PK-635 USB kamera[19].

## 2.3 QT CREATOR

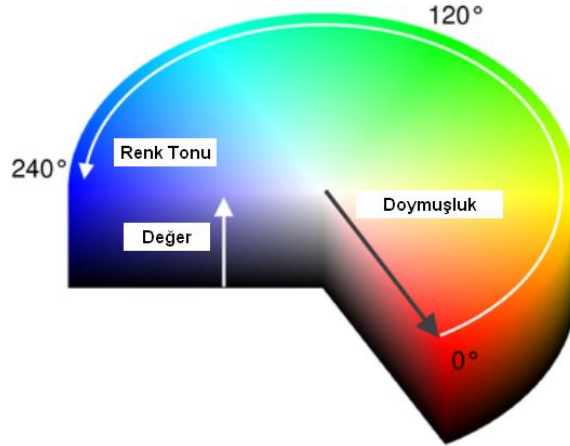
QT Creator Windows, Linux ya da Android gibi birçok işletim sistemi üzerinde çalışabilen bir geliştirici arayüzeyidir. Genellikle C++ dilini kullansa da Python, Ruby, PHP, Perl, Pascal, C# ve Java dilleriyle de kullanılabilir. **LGPL** (İng. GNU Lesser General Public License) lisansına sahiptir. Bu lisans sayesinde yazılım ücretsiz kullanıma açılmış ve özgürleştirilebilmiştir[16].

## 2.4 OpenCV

OpenCV, Intel tarafından geliştirilerek BSD lisansı ile lisanslanmış, “Bilgisayarla Görü/Görme” kütüphanesidir. Özellikle gerçek zamanlı uygulamalar hedef alınarak geliştirilmiş olması, ticari kullanımı dahil ücretsiz olması ve Windows, Linux, MacOS X gibi farklı platformlarda kullanılabilmesi bu kütüphaneyi diğer görüntü işleme araçlarından bir adım öne çıkarabilmektedir[13].

## 2.5 HSV Renk Sistemi

HSV renk sistemi RGB renk kodlarının silindirik koordinat sisteminde sunulmasını sağlayan özellikle görüntü tanımlama sistemlerinde sıklıkla tercih edilen bir sistemdir. HSV Hue, Saturation ve Value kelimelerinin kısaltmasından oluşturulmuştur. RGB kodlama sistemi içerisinde kırmızı, yeşil ve mavi renkleri barındırırken HSV rengi renk, renk yoğunluğu ve parlaklık olarak tanımlar. Burada renk silindirik sistemin altında kalan 0-360 derece arasındaki çemberi ifade eder. Açısal bir değerdir. Yoğunluk ise rengin canlılığını belirtir. Yüksek yoğunluk canlı renklere neden olurken, düşük yoğunluk rengin gri tonlarına yaklaşmasına neden olur. Yüzde olarak ifade edilir. Parlaklık ise rengin aydınlığını yani içindeki beyaz oranını belirler. Yüzde olarak ifade edilir.



Şekil 8: HSV Renk Sistemi

HSV renk sistemi her ne kadar bazı standartlara oturtulmuş ise de bu standartlar uygulamalara göre de değişebilir. Örneğin HSV standartlarında kırmızı renk 320° ile 20° arasında olmasına karşın bu uygulamada kullandığımızı OpenCV kütüphanesi, bu değerlerin yarısı yani 160° ile 10° arasında kırmızı olarak tanımlanmaktadır.

## 2.6 Yazılımın Geliştirilmesi

Bu çalışmada yazılım geliştirme aşamasında derleyici olarak QT Creator ve yazılım dili olarak C++ kullanılmıştır. Yazılım algoritmasında bir form üzerine yerleştirilen bir butona basarak kameranın açılması sağlanmış ve kamerada görülen olgunlaşmış kiraz rengine sahip noktalar tespit edilmiştir. Bu tespit esnasında en önemli noktalardan birisi daha önce de anlatıldığı gibi sadece olgunlaşmış kirazın rengine sahip noktaların tespit edilebilmesiydi. Çok açık kırmızı rengine ya da çok koyu kirazların tespit edilmemesi gerekebiliyordu. Bu problemin çözümü için farklı renk tonlarında içerisinde toplanması gereken ya da toplanması gerekmeyen 67 adet kiraz ile denemeler yapılmış ve bu denemeler sonucunda toplanması gereken kirazların renklerine ait HSV renk kodları çıkartılmıştır. Çıkarılan sonuca göre toplanması gereken kirazların HSV renk kodları OpenCV kütüphanelerinin skalasına göre minimum 160, 100, 100 ve maksimum 179, 255, 255 değerleri arasında olduğu tespit edilmiştir. 179'un üzerindeki kırmızı renk değerleri toplanmaması gereken koyu kırmızı kirazlara ait, 160'ın altındaki değer ise mavi renge ait olduğundan dolayı bu pikseller yazılım ile kontrol dışı bırakılmıştır.

Algoritmada istenilen kırmızılıktaki kirazlar tespit edilirse, bu tespitin bizim tarafımızdan görülebilmesi amaçlı ikinci bir ekran oluşturulmuş ve bu ekran bütünüyle siyah renge

büründürülmüştür. Sadece istenilen kirazlar var ise o kirazların bulunduğu kısım beyaz renge boyanmıştır. Bu sayede kirazın varlığının tespiti beyaz noktalar vasıtası ile anlaşılmıştır.



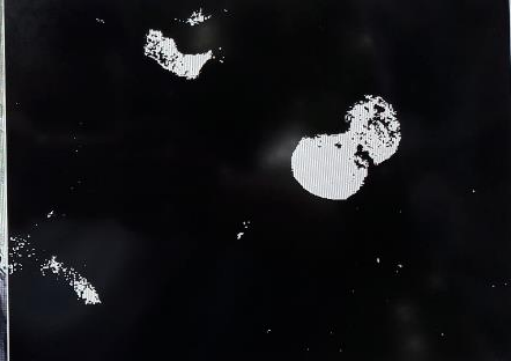
Şekil 9 Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 10 Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 11 Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 12

Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 13

Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 14

Kamera Görüntüsü

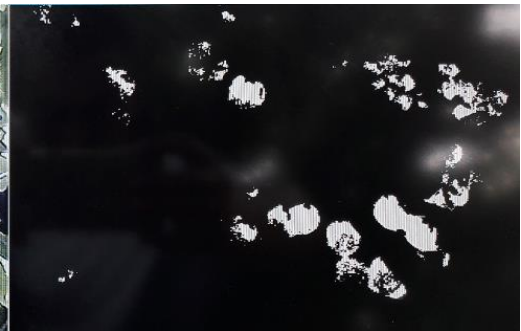


Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 15

Kamera Görüntüsü



Kiraz Tespit edilen noktalar



Şekil 16 Ters ışık içeren Kamera Görüntüsü

Ters ışıkta kiraz tespit edilemiyor.

## 5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Sonuç olarak kiraz toplama işinin zorluklarını ortadan kaldıracak bir kiraz toplama sisteminin oluşturulması için öngörülen problemlerden birincisi olan kirazın var olup olmadığının tespit edilmesi problemine bir çözümsel yaklaşım geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçlarda normal ışık altında kirazların %100 başarı oranı ile tespit edildiği görülmüştür. Ancak ters ışıkta başka bir deyişle kameranın kontrolü esnasında güneş ışığının kirazın arkasından gelmesi durumunda, kamerada kirazın olduğundan daha koyu bir renkte olduğu görülmüştür. Bu sebeple ters güneş ışığı altında tespit edilmesi gereken kirazların tespit edilemediği gözlemlenmiştir. Ancak bu durum insan gözü için de aynıdır. Yani kamera ile kirazın tespit edilemediği durumlarda insan gözü de kirazı ters ışık sebebi ile göremeyebilmektedir. Problemin çözümü için filtreli kamera kullanılabilir ya da kameranın açısı değiştirilerek güneş ışığına denk gelen noktalar ikinci bir kez kontrol edilebilir.

Bundan sonra yapılacak olan çalışmalar kirazın koordinatlarının bulunması ve kirazın usule uygun şekilde koparılması olacaktır. Bu çalışmaların da tamamlanması ile birlikte ülkemizin kiraz üreticilerinin bir problemine çözüm getirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Erişti E., 2010, "Görüntü İşlemede Yeni Bir Soluk, OPENCV", Bilişim'10 - XII. Akademik Bilişim Konferansı Bildirileri Muğla Üniversitesi
2. Hewitt R., 2007, "Seeing with OpenCV"
3. Sol , 2015, "Detect red circles in an image using OpenCV"
4. Eminoğlu, Öztürk, Acar, Kalıkara, 2015, "Meyve Hasadında Kullanılan Hasat Platformlarının Çalışma Koşullarının İyileştirilmesi Yönünden Değerlendirilmesi"
5. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı Bitkisel üretim Genel Müdürlüğü, Mart 2017, "Bügem Faliyetleri"
6. [http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt\\_id=1001](http://www.tuik.gov.tr/PreTablo.do?alt_id=1001)
7. Shahab T, Matin P, Shahram L, 2017, "A Raspberry-Pi Prototype of Smart Transportation"
8. Mimoun B, Zied L, 2017, "Emotion recognition system based on physiological signals with Raspberry Pi III implementation"
9. M. J. Allen; I. M. Coulson; N. E. Gough; Q. Mehdi, 1999, "Classifying coloured objects under different lighting conditions using the HSV colour model and a neural network"
10. H. Dasari; C. Bhagvati, 2007, "Identification of Non-Black Inks Using HSV Colour Space"



11. Smit T; Hemant M, 2016, "Food detection on plate based on the HSV color model"
12. Yue Y; Zhu J, 2017, "Algorithm of fingerprint extraction and implementation based on OpenCV"
13. Nagarasu B; Manimegalai M, 2016, "Automatic irrigation and worm detection for peanut field using Raspberry pi with OpenCV"
14. Frazer K. N, 2016, "Comparison of OpenCV's feature detectors and feature matchers"
15. M. Michalko; J. Onuška; A. Lavrín; D. Cymbalák; O. Kainz, 2016, "Tracking the object features in video based on OpenCV"
16. Helen B; Mikhail S, 2015, "CAMFT — the program for simulation of an ion bunch dynamics in external magnetic field with parallel computing"
17. <https://doc.xdevs.com/doc/RPi/pi3-block-diagram-rev4.png>
18. <https://www.raspberrypi.org/products/raspberrypi-3-model-b/>
19. <http://charlestonpcworx.tripod.com/id1.html>
20. <https://stackoverflow.com/questions/10948589/choosing-correct-hsv-values-for-opencv-thresholding-with-inranges>

### **EKLER\_1 (Ana Program)**

```
#include "mainwindow.h"
#include "ui_mainwindow.h"
///OPENCV KÜTÜPHANESİ///  
#include <opencv.hpp>
#include <core/core.hpp>
#include <highgui/highgui.hpp>
#include <imgproc/imgproc.hpp>
#include <objdetect/objdetect.hpp>
#include "cvconfig.h"
#include "opencv2/opencv.hpp"
#include "opencv2/highgui.hpp"
#include "opencv2/core.hpp"
#include <opencv2/core/core.hpp>
#include <opencv2/features2d/features2d.hpp>
#include <opencv2/highgui/highgui.hpp>
#include <opencv2/opencv_modules.hpp>
#include <opencv2/xfeatures2d/nonfree.hpp>
#include <opencv2/calib3d/calib3d.hpp>
using namespace std;
using namespace cv;
Mat cam_clone;
Mat res;
Mat anime_cam;
Mat grayframe;
MainWindow::MainWindow(QWidget *parent) :
    QMainWindow(parent),
    ui(new Ui::MainWindow)
{
    ui->setupUi(this);
}

MainWindow::~MainWindow()
```

```
{
    delete ui;
}
void MainWindow::on_pushButton_clicked()
{
    VideoCapture cap(0);

    while(1)
    {
        Mat Realcam;
        cap.read(Realcam);
        Mat3b rgb = Realcam;
        Mat3b hsv;
        cv::cvtColor(rgb,hsv, COLOR_BGR2HSV);
        Mat1b kiraz;
        inRange(hsv, Scalar(160, 100, 100), Scalar(179, 255, 255), kiraz);
        imshow("Filter_Camera",kiraz);
        imshow("Real_Camera",Realcam);
        waitKey(1);
    }
}
```

**T.C. MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ**  
**SOMA MESLEK YÜKSEKOKULU TEKNİK BİLİMLER DERGİSİ**  
**YAZIM KURALLARI VE YAYIN İLKELERİ**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi**, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu tarafından yılda iki kez yayımlanır. Dergide, Meslek Yüksekokulları Teknik Programlarında yer alan anabilim dallarıyla ilgili konularda özgün ve nitelikli çalışmalar, yabancı dillerden Türkçe'ye çeviriler ve güncel tez özetleri yayımlanabilir.

Dergiye gönderilen eserlerde aranacak yayın ilkeleri ve yazım kuralları aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

**1-)** Dergiye gönderilen yazı ve makaleler daha önce hiçbir yerde yayımlanmamış ve yayın hakları verilmemiş olmalıdır.

**2-)** Dergide yayınlanacak yazı ve makaleler Türkçe, İngilizce, Fransızca ve Almanca'dan herhangi biriyle yapılabilir. Ancak Türkçe hazırlanan çalışmalarda Türk Dil Kurumunun belirlediği kurallar esas alınmalıdır. Çalışmanın başında Türkçe başlık ve en fazla 200 sözcükten oluşan Türkçe ve İngilizce özet ile en fazla 10 tane anahtar sözcük verilmelidir.

**3-)** Dergide yayımlanacak çalışmaların biçim sırası

- Türkçe başlık
- Özet
- Anahtar sözcükler
- İngilizce özet
- İngilizce anahtar sözcükler
- Metin
- Kaynaklar
- Ekler

şeklinde olmalıdır.

**4-)** Çalışmanın başlığı sol üst kenardan 6 cm. aşağıdan yazılmalıdır. Başlığın sağ alt tarafına yazar veya yazarların adları akademik ünvanlarla birlikte yazılmalı çalıştığı kurum, iletişim ve elektronik posta adresleri ise adların yanına konulacak dipnot işaretleriyle sayfa altına verilmelidir. Eğer çalışma başka bir kurumdan destek aldıysa başlık yanına verilecek dipnotla sayfa altına ilgili kurum yazılmalıdır.

**5-)** Dergiye gönderilecek yazı ve makaleler MS Word programında yazılmış üç kopya olarak eposta veya kargo yoluyla gönderilmelidir.

**6-)** Çalışmalar ekleriyle birlikte 15 sayfayı geçmemelidir.

**7-)** Metin yazımı A4 boyutundaki kağıda tek aralıklı olarak times new roman tur karakteriyle 10 punto, dipnot ve açıklamalar 8 punto ile yazılmalıdır. Başlıklar 12 punto koyu, özet ve dipnotlar tek ara ile yazılmalıdır. Sayfa boyutları sol 5 cm, sağ 4 cm, üst 7 cm ve alt 5 cm. olacak şekilde ayarlanmalıdır.

**8-)** Metin içindeki alıntı ve aktarma yoluyla kullanılan kaynaklar; parantez sistemine göre soyadı, yılı ve sayfası olacak şekilde metin içinde cümle bitiminde gösterilmeli ve ayrıca kaynakçada da yer almalıdır. Açıklama ve diğer dipnotlar numaralandırma esasına göre metnin sonuna eklenmelidir.

**9-)** Manisa Celal Bayar Üniversitesi Soma Meslek Yüksekokulu **Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi** ulusal hakemli bir dergidir. Dergiye gönderilen yazı ve makaleler ilgili alandaki en az iki hakeme gönderilir. Oy birliği sağlanamazsa üçüncü bir hakeme gönderilerek sonuca karar verilir. Yazı ve makalelerin içeriğinden yazarlar ve hakemler sorumludur.

**10-)** Yazı ve makalesi yayımlanan her yazara derginin ilgili sayısından 1 adet gönderilir. Ayrıca telif ücreti ödenmez.

**11-)** Dergi yayın ilkelerine, yazım kurallarına ve bilimsel araştırma yöntemlerine uygun olmayan yazı ve makaleler yayın kurulunca dikkate alınmaz.