



LED / IRLED Components and Application Example Used in Medical Systems

A.Aytekin¹, I. Kiyak²

¹*Institute of Pure and Applied Sciences, Marmara University, İstanbul, Turkey*

²*Department of Electrical & Electronics Engineering, Marmara University, İstanbul, Turkey*

Abstract

Medical units; requires dynamic color and lighting for patients, staff and caregivers' multiple tasks and comfort. This requirement can be met effectively with LED (Light Emitting Diode) based light sources. For this reason, LEDs have found their place in the medical sector. LEDs with their energy-saving and eco-friendly features, besides the lighting area they have begun to be used in many areas such as advertising signs, traffic signs, and imaging. In addition, due to its ability to spread variable wavelength, its use in the dermatology field is being discussed in the medical sector. The aim of this study is to highlight the importance of LEDs in the medical sector by examining the LED and IR LED components used in medical systems. The areas where the LEDs are used in the medical sector were handled and analysis and determinations was carried out in an application project.

Keywords: LED, medical, energy, lighting, efficiency.

1. INTRODUCTION

With the development of semiconductor technology, LEDs have been used frequently in the medical sector. LEDs, that have proven their superiority in the field of illumination, are used in the treatments methods of some dermatological diseases and malaria. In malaria studies, LED microscopes are used. LED fluorescent microscopes are seen to consume less power, have longer life than light microscopes. They also offer great advantages because they can be used in daylight settings and they can work with battery [1].

One of the reasons why LEDs are used in the medical sector is the wide color spectrum. The color characteristics of the multi-colored Multichip LED luminaire for the interior are examined in the studies. A multi-colored LED prototype with color dynamism between 2700 and 6500 K was designed and evaluated for image quality, color temperature and luminous efficiency. In these studies, the designed multi-colored multichip LED luminaire has proven to be advantageous compared to conventional lamps used for dynamic illumination and task operation in health units [2]. In addition, high density narrow-spectrum light (HINS-light) studies have been carried out for hygiene of medical units. In these studies, the white LED's were included in the HINS-light EDS as the lighting effect would be predominantly white [3].

LEDs basically work on the principle that the electric energy that is emitted by the action of free electrons in the diodes is converted into optical light. The LEDs are classified based on the spectrum and wavelength of the light that they are emitting as visible light emitting LEDs and infrared LEDs (IR LED). The IR LEDs are based on their working principle that the signal of a certain wavelength is detected by the IR receiver [4-5-6]. IR LEDs are preferred in many applications due to cost, volume, long term reliability and fast switching advantages [7].

Durable, efficient, energy-saving, long-lasting and maintenance-free are the most important factors for the preferences of LEDs today. The advantages of the LED over other light sources are shown in Figure 1 [5]. According to chart, it is obvious that LED is the most economical solution. Provided that their lifetime is high.

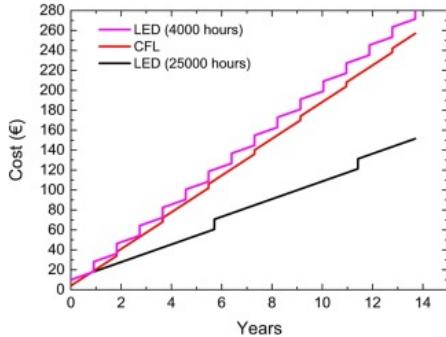


Fig. 1. Cost account for commercial or industrial buildings [5]

It was envisaged that the luminaires would run 12 hours a day when cost accounting was calculated for the lighting system. In this chart incandescent bulbs are not represented because they are cheaper than other light sources (It has not been used for such applications for many years). As you can see, the LEDs are the best solution provided that their lifetime is high. It is clear that the life span of the bulbs or the replacement period is as important as the recycling of the so-called "energy-saving" bulbs, at least as much as consumption [5].

In the structures that requires optimum visual sensitivity such as health institutions, the lightening bears one times more importance [8]. For this reason, it is important to analyze the lighting results in advance. M & V (Measurement and Verification) has become an indispensable process in EEDSM (Energy Efficiency and Demand Side Management) programs to measure and verify project performance accurately and reliably in terms of energy and cost savings [9].

Hospitals' energy consumption and CO₂ emissions are higher than commercial establishments. According to the U.S. Energy Information Administration (EIA) research, the share of lighting systems in energy consumption in healthcare systems is 16% and the share of electricity consumption is 44%. The reasons that is brought by these results, required the need for the studies on energy efficiency, saving, comfort and performance in hospitals [10]. In addition to the lighting luminaires selected in the studies, the emphasis has been placed on energy efficiency and saving of lighting control [8].

Lightening levels in hospitals are determined according to the room functions mentioned in the Cibse's book named "Code for Interior Lighting" [8].

While the use of LEDs is widespread in the lighting industry, the LED lights can be a solution for some treatments. LED lights are used in dermatology treatments for acne, scarring and leg ulcers [11]. It has been suggested that LED lights used in dermatology are effective in wound healing by increasing collagen production. After the discovery of solar healing by Danish physician and scientist Niels Ryberg Finsen, phototherapy was born as an artificial radiation source. Along with these improvements, the electromagnetic spectrum has become visible and the benefits of infrared wave segments have been discovered [12].

In this study, a simulation program for space lighting in a healthcare facility in the projecting process will be used to indicate the contributions to the project if LEDs are preferred. The appropriateness of the designed enlightenment to the standards will be examined. In this structure, that will be used for health purposes, a detailed analysis for lighting, energy saving and ergonomics will be carried out.

2. LEDS USED IN MEDICAL TECHNOLOGY

LEDs in the medical sector have a wide range of application areas. LEDs have been replaced the halogen lamps in the medical sector due to their long service life, durability, maintenance requirements, low operating cost, high color rendering yield and low heat dissipation. Advantages of LEDs ensure optimal lighting requirements in operating rooms. Power LED's medical lamps have become the lighting model of choice for surgical teams all over the world with innovative lighting technologies [13].

2.1. Operation LED Lamps

Operation lamps are designed to provide efficient illumination in extended operations without excessive heat dissipation. For LED luminaires to be installed in the ceiling, transformers are installed in the ceiling or the DC

voltage is converted to a lower voltage through the control panel installed in the wall to apply the luminaire [14].

Because surgery is the most important factor in the operating room, lighting should be done accordingly. Surgical lights are designed to provide optimal illumination in small areas of surgery and low-contrast diagonal cuts and body cavities. Optic position is achieved by inserting light for the surgical procedure. Compared to LED's, halogen lamps have low lighting power. The lighting power of the halogen lamps (the ratio of the lighting lumen to the 1 watt input power) is much lower than the LED's. That is, LEDs use less power to provide the same level of illumination. LEDs consume about 33% less energy than halogen lamps [15].

Filters used to prevent invisible radiation caused by halogen illumination also further degrade lighting efficiency [13]. LEDs designed for surgery do not require such applications. In addition to achieving a 95% color rendering ratio in LEDs, very low temperature and low light pollution are emerging [16].

Another issue that is important in surgical interventions is the formation of shadows. Shadow formation in LEDs can be controlled better than halogen lamps. There is a single bulb and a versatile reflector in the halogen lighting system. This versatile bulb creates hot and cold areas that should not be present. LED headlamps collect LEDs in one single head. This creates a block to prevent self-overlapping LEDs, for this reason the LED spots are round and consistent [15]. There is no shadow formation as the heads of surgeons move around the light field during surgery [17]. Figure 2 shows the LED lamp test applied in the operating room [15].



Fig. 2. Shadow of lamp test [2]

The person performing the surgical procedure in the lamp shadow test is performing a shadow test by bringing his / her hands between lamp and work. In the operating rooms, mobile and reflective LEDs also provide controllable illumination by being mounted on sterilizable arms [15].

LED sources are capable of producing millions of colors along with white light in a wide range of color temperatures [16].

2.2. IR LED

In the medical sector, IR LEDs are available for adjusting light intensity. IR LEDs that are used by remote control require low cost. Thanks to the IR LED, a dimmer circuit should be designed to dim the lamp used in the operating room. This circuit provides an advantage in terms of power saving. The diagram used for IR communication is shown in Figure 3 [13].

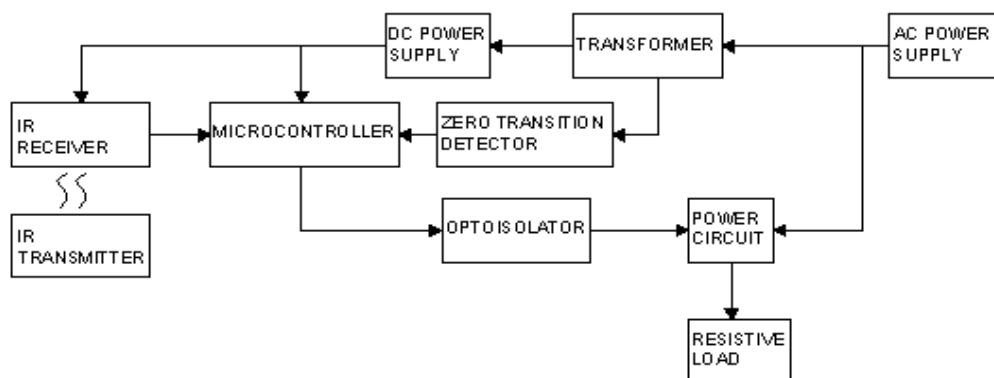


Fig. 3. Dimmer circuit block diagram designed for dimming the operating room LED-lightening luminaire [3]

3. APPLICATION DESIGN

The architectural plan of the health institution project examined is shown in Figure 4. The ceiling lighting is positioned according to the general ceiling plan, and the steerable lighting is positioned according to the operating table layout shown in furnishing plan.



Fig. 4. Operating room furnishing plan

The minimum luminous level that should be provided in the operating room is 100 lux [14]. Accordingly, the operating room architecture has been imported into the DIALUX lighting simulation program. In Figure 5 and Figure 6, the light emitting curve of the selected sterile ambient illumination is shown in the operating room lighting simulation.

The light flow of the light source of the sterile media ceiling is 4258 lumens, color temperature 4000 K, color rendering is (CRI)> 80 and consumption power is 46 W. The drive has a constant current output system. Luminaire life is > 50.000 hours [18]. According to IEC 60601-2-41 standard for color temperature, surgical lamps should be between 3000 K and 6700 K [19].

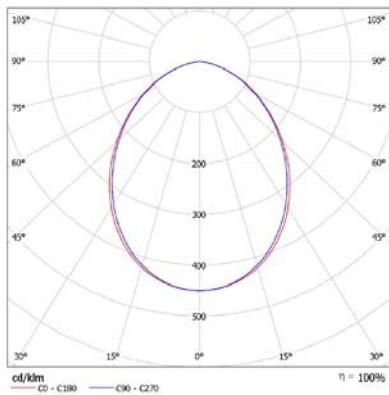


Fig. 5. Light emitting curve of the operating room ceiling LED lighting luminaire (cd/klm: 1000 lumen reduced units of light emitting curves)

The light flow of the navigable operating room light source is 4849 lumens, color temperature is 4000 K, color rendering is (CRI)> 80 and consumption power is 34.8 W. The drive has a constant current output system. Luminaire life is >60000 hours [20]. The selected luminaires must be dim-compatible to be dimmed.

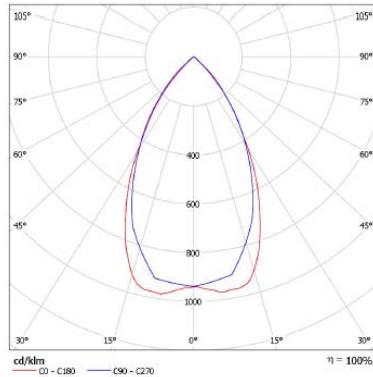


Fig. 6. Operating room LED steerable light emitting curve (cd/km: 1000 lumen reduced units of light emitting curves)

The level of lightening in the working plane was determined considering that the height of the operating room tables is at least 0.85 m.

To compare LEDs and conventional lighting in medical systems, a different simulation was performed by selecting a compact fluorescent luminaire. However, for directional lighting, the reflector LED used in the LED lighting simulation was chosen. The light emitting curve of the selected compact fluorescent is shown in Figure 7. The same number of compact fluorescent luminaires each have 2581 lumens of light flow and 64 W power. The compact fluorescent luminaire has a color rendering (CRI) of 58.6. The life of the luminaire is approximately 10,000 hours [21].

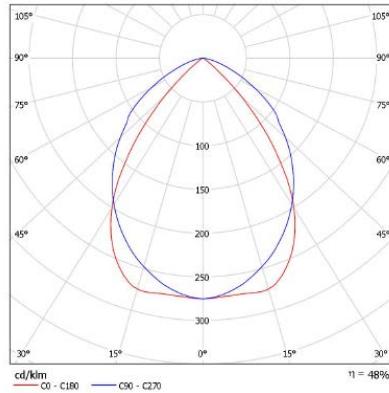


Fig. 7. Light emitting curve of the compact fluorescent lighting luminaire selected for comparison (cd/km: 1000 lumen reduced units of light emitting curves)

4. RESULTS OF DESIGN

In the simulation results, the regional lightening light intensities in the operating room are shown in Figure 8 and Figure 9 respectively as LED and conventional systems are simulated separately.

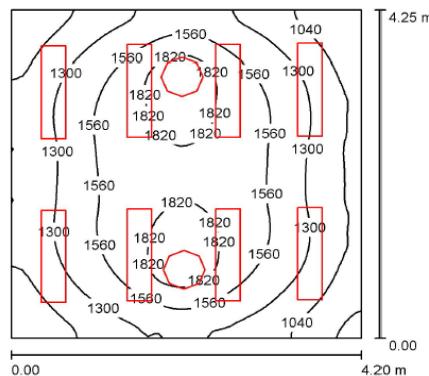


Fig. 8. Regional lighting levels with LED lighting in the operating room (Scale: 1/55)

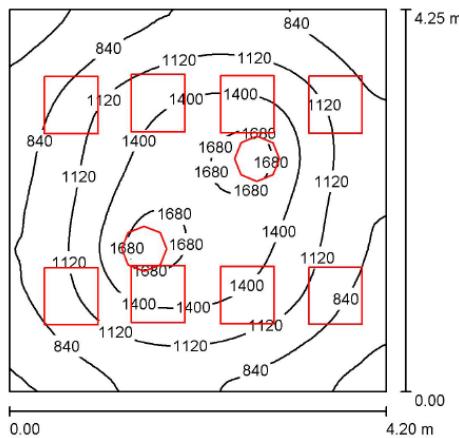


Fig. 9. Regional brightness levels in conventional operating room with conventional lighting (Scale: 1/55)

In Table 1 and Table 2, luminaire information for LED and conventional systems is given.

Table 1. LED lighting system luminaire light flow and power information

No	Pieces	Specification(<u>Correction factor</u>)	$\Phi(\text{Luminaire})$ [lm]	$\Phi(\text{Lamps})$ [lm]	P[W]
1	8	ARLIGHT E E 3012 GAC-46W-4K(1.000)	4258	4260	46.1
2	2	EAE 3109674 PB2 035U 40FS00 LB 4K84IC(1.000)	4849	4849	34.8
Total:			43760	43778	438.2

Table 2. Conventional lighting system luminaire light flow and power information

No	Pieces	Specification(<u>Correction factor</u>)	$\Phi(\text{Luminaire})$ [lm]	$\Phi(\text{Lamps})$ [lm]	P[W]
1	2	EAE 3109674 PB2 035U 40FS00 LB 4K84IC(1.000)	4849	4849	34.8
2	8	LITPA 200331881 FGS 300/4x18W-WP(1.000)	2581	5400	64.0
Total:			30349	52898	581.6

Table 3. Mean, maximum and minimum brightness intensity according to LED lighting system simulation

Surface	ρ [%]	Em[lx]	Emin[lx]	Emax[lx]	Emin/Em
Working plane	/	1412	752	2015	0.532
Floor	20	1144	730	1473	0.638
Ceiling	70	298	199	334	0.669
Walls (4)	50	667	221	1284	/

Table 3 shows the average, maximum and minimum brightness intensities in the LED lighting system.

Table 4. Average, maximum and minimum brightness intensities according to the conventional lighting system simulation

Surface	ρ [%]	Em[lx]	Emin[lx]	Emax[lx]	Emin/Em
Working plane	/	1104	459	1819	0.415
Floor	20	911	507	1293	0.557
Ceiling	70	184	128	211	0.699
Walls (4)	50	401	145	641	/

1000 lux criterion in the working plane and minimum illumination to normally illumination ratio value minimum illumination to normally illumination ratio value is bigger than 0.4 which is the uniformity condition in the working plane are provided [14].

5. EVALUATION

According to the simulation results, energy efficiency, luminous efficacy, color rendering, luminaire life, installation cost and energy saving were evaluated.

5.1. Energy Efficiency and Luminous Efficacy

According to the simulation results, the sum of the luminous fluxes in the LED lighting system is 43760 lumens, and the total luminous flux produced by the luminaires is 43778 lumens. Here energy efficiency can be calculated as $43760 \text{ lumens} / 43778 \text{ lumens} = 0.99$. In the conventional lighting system, the sum of the luminous fluxes is 30349 lumens, and the total luminous flux produced by luminaires is 52898 lumens. Here energy efficiency is calculated as $30349 \text{ lumens} / 52898 \text{ lumens} = 0.57$.

According to these results, the LED lighting system is superior to the conventional system in terms of energy efficiency. Furthermore, when looking at the minimum illumination to normally illumination ratio value of these two different lighting systems, more homogenous lighting was achieved with the LED lighting system.

According to the simulation results, LED light sources with lower power in the same number provide higher illumination intensity than compact fluorescent lamps.

Looking at Table 1 for the luminous efficacy (Luminous efficacy lm / W), it is seen that the lumen / watt ratio in the LED lighting system is 99.9. In Table 2 this ratio is 90.95. According to this, LED lighting system is superior in terms of luminous efficacy.

With the selection and control of lightening luminaire in energy consumption, it is possible to save approximately 50% in lighting energy. The most efficient system for long-term use is the LED lighting system. When considering the standards as seen from the simulation results, with the LED lighting system it is possible to obtain high efficiency with low power consumption in medical environments such as operating rooms where high brightness level is required. It is advantageous to install LED lighting in order to meet the performance requirements required by the standards.

5.2. Color Rendering Index (CRI)

While color rendering index is CRI> 80 in the LED lighting system, this ratio drops to 58% in the conventional system. In environments where color sensitivity, such as an operating room, should be optimal, LED lighting systems seem to be superior to the classical system. According to the CIE (International Commission on Illumination), the color rendering index in medical units is at least 80.

5.3. Luminaire Life

One of the important criteria in choosing a luminaire is the luminaire life. The life of the LED luminaire is 50,000 hours, while the compact fluorescent can operate for approximately 10,000 hours. The LED lighting system lasts at least 5 times longer.

5.4. Installation Cost and Energy Saving

LED lighting system installation costs 5-6 times more than the conventional system [18, 21].

However, looking at Table 1 and Table 2, 143.4 Wh is the savings with the LED system. The difference created by the cost of installation is amortized over a period of time with power saving. Since the same number of luminaires are used, it is possible to calculate the depreciation times by comparing the power consumption. When only this work carried out in this study is taken into consideration, the difference in the installation cost of the LED lighting system is compensated in a very short time.

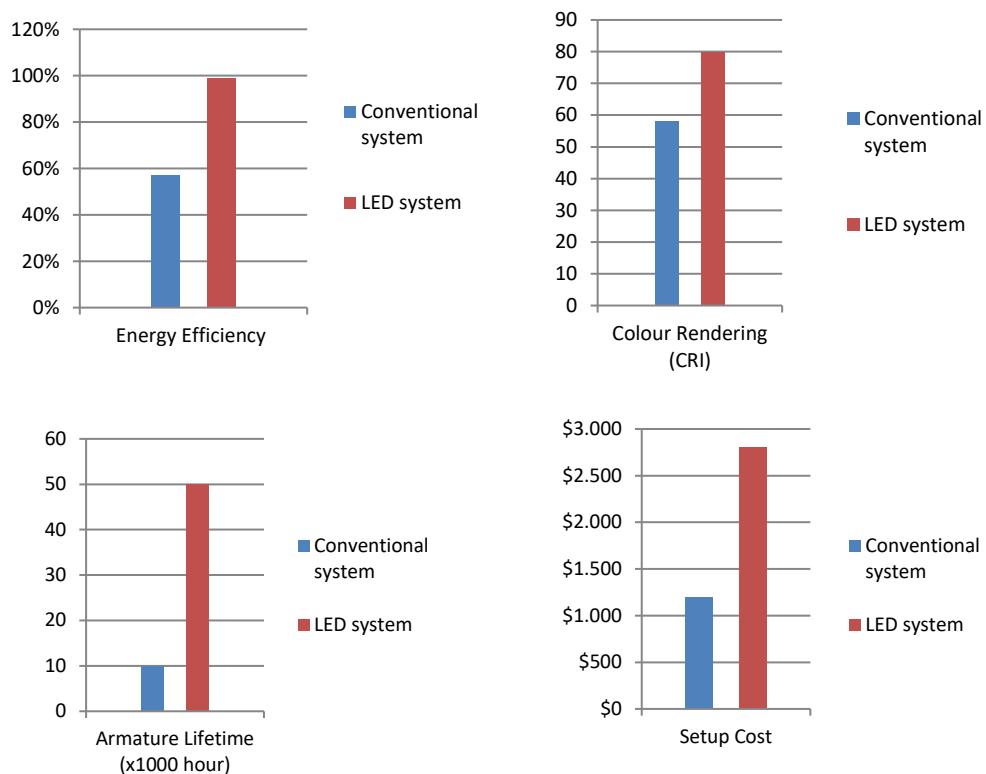


Fig. 10. Comparison of conventional system with LED lighting system

When this graph is examined, it is seen that the lighting system using LED luminaires is superior to the conventional fluorescent lighting system in the four cases examined except the installation cost. Dissemination of domestic production LED-based lighting systems for the lighting sector, which is about 20% in energy consumption, is of great importance for the country's economy.

ACKNOWLEDGMENT

This study is supported by Marmara University, Deanery of Technology Faculty.

6. REFERENCES

- [1] LED Fluorescence Microscopy: Novel Method For Malaria Diagnosis Compared With Routine Methods, Riddhi Hathiwala, Preeti R.Mehta, GitaNataraj, SiddhiHathiwala, Science Direct, 2017.
- [2] Color Characterization Of Multicolor Multichip LED Luminaires For Indoor, A.M. Colaco, S.G. Colaco, C.P. Kurian, Savitha G. Kini, Science Direct, 2018.
- [3] Environmental Decontamination Of A Hospital Isolation Room Using High-Intensity Narrow-Spectrum Light, M. Maclean a, S.J. MacGregor, Science Direct, 2016.
- [4] The Dralabay website, (2017), (online), Available: <https://dralabay.wordpress.com>.
- [5] LED's For Lighting: Basic Physics and Prospects For Energy Savings, Bruno Gayral, Science Direct, 2017.

- [6] The Pelsan website, (2016), (online), Available: <http://www.pelsan.com.tr/tr-TR/isik-nedir/26108>
- [7] Effect Of Grating On IR LED Device Performance, Naresh C. Das, Science Direct, 2017.
- [8] Aydinlatma Kontrol Sistemlerinin Hastanelerde Kullanimi, Damla Altuncu, Burak Tansel, MSÜ.
- [9] Optimal Metering Plan For Measurement and Verification On A Lighting Case Study, Xianming Ye, Xiaohua Xia, Science Direct, 2016.
- [10] Hastane Aydinlatma Sistemlerinde Verimlilik, Tasarruf, Konfor ve Performans, Serhat Özenç, Arif Künar.
- [11] Dermatolojide Led Işıkları, C. Noé, M. Pelletier-Aouizerate, H. Cartier, Cilt 2, Sayı 1, Science Direct, 2015.
- [12] Dermatolojide Işık Yayan Diyot (LED), Mersin Üniversitesi, Tip Fakültesi, Deri ve Züherevi Hastalıkları Anabilim Dalı, Uzm. Dr. Belma Tursen, Prof. Dr. Ümit Tursen.
- [13] IEC 60-601 Standartlarına Göre Power LED' li Seyyar Cerrahi Aydinlatma Sistemi Tasarımı, Kıbrıs Yakın Doğu Üniversitesi Biyomedikal Mühendisliği Anabilim Dalı, Lefkoşa, 2016.
- [14] The Emo website, (2015), (online), Available: <http://www.emo.org.tr/ekler>
- [15] World Health Organization, (2016), "Hospital Medical Equipment - General Information: Surgical Lights" World Health Organization publications, Cenevre/ Switzerland.
- [16] The Lamp 83 website, (2016), (online), Available: <http://www.lamp83.com.tr>
- [17] Chris Walters, (2008), "Clinical Benefits of LED' Surgical Lights," Surgical Products, American Cancer Society lung cancer screening guidelines, USA.
- [18] The Arlight website, (2016), (online), Available: <http://www.arlight.net>
- [19] Medical Electrical Equipment International Standard, (2006), IEC 60601-2-41/TS EN 60601-2-41, Journal of Medical Device Regulation, third edition, 18-22.
- [20] The EAE website, (2016), (online), Available: <https://www.eaeaydinlatma.com/tr/>
- [21] The Litpa website, (2018), (online), Available: <https://www.litpa.com.tr/>



Illumination Design of Educational Environment with Efficient Lighting Luminaries

A.Spor¹, I. Kiyak²

¹*Institute of Pure and Applied Sciences, Marmara University, İstanbul, Turkey*

²*Department of Electrical & Electronics Engineering, Marmara University, İstanbul, Turkey*

Abstract

There is a proportional relationship between enhancing the quality of education and lighting educational environments. The better the extent of lighting in an educational environment is, the better the quality of education is. The lighting design of educational environments has been seen to have a direct impact on the efficiency of education. Studies show that parameters such as color rendering, color temperature and lighting uniformity of the light source directly affect the quality of education.

In this study, an educational environment was modified to be suitable for human physiology. Moreover, the form of lighting design that was most efficient in terms of influence on success in the educational environment was comparatively interpreted using the Dialux lighting design program. An attempt was made to achieve the most efficient lighting design by analyzing the lighting intensity levels, effectiveness factors, color rendering and color temperatures of the designs created using fluorescent and LED luminaires in the same educational environments.

Keywords: interior lighting, lighting design, power efficiency, LED luminary, fluorescent lamp

1. INTRODUCTION

Lighting is one of the important applications among the modifications made in the environment where people live; this is because one of the basic principles to ensure that all indoor and outdoor areas of use are sufficiently healthy and comfortable is the sufficient amount of lighting [1].

A good amount of lighting not only provides conditions that must be met in order to make the living environment comfortable and healthy but also saves time and energy and increases efficiency. If an environment is not illuminated well, the resulting difficulties of sight tire the eyes. Many accidents occur due to inadequate lighting. Inadequate amount of light leads to a decrease in efficiency. Accidents are reduced and success at work is increased in a place that is illuminated well, because the functions of vision, perception, decision-making and implementation are faster in such a place [2, 3].

Good lighting improves motivation and work efficiency as well as preventing the eyes from getting tired quickly. Insufficient lighting leads to impairment of the eyes and increased work accidents. Additionally, fatigue caused by insufficient lighting leads to distraction, demoralization, and temporary and permanent blindness. A good amount of lighting ensures to get fast and quality products. A poor amount of lighting, on the other hand, obstructs sight and reduces work efficiency to a great extent. There are two types of lighting to illuminate areas of use, natural lighting (daylight) and artificial lighting. Natural lighting is the most common and the cheapest one of these two types of illumination. Lighting that is close to daylight is superior to artificial lighting in terms of efficiency of vision [4].

Sunlight makes objects look nice and enhances work efficiency and comfort. Moreover, using natural light provides energy savings. Savings through electricity also leads to a reduction in environmental pollution. It has

been determined that working conditions under natural light positively influence people's psychology and let them work more comfortably [5, 6].

The LED technology is spreading at a great rate in the world of lighting. LED means "Light Emitting Diode." It is an electronic circuit component that converts the electrical energy into the light energy by using semiconductors. The first LED produced in 1962 was red in color and had a narrow field of use. After 50 years of use, the LED technology has begun to be produced in various colors and illuminate the world. Among the lighting components, they have achieved to become the most efficient lighting component, consuming the lowest energy and having the longest life [7].

The power consumption per light flux is quite high in incandescent lamps, discharge lamps and fluorescent lamps, which had been used before the LED technology. Moreover, they have a very low lifespan. The light sources are compared in Table 1.

Table 1. Power, Efficiency and Lifespan Values of 5 Types of Lamps with 1600 Lumen Light Flux

LAMP TYPES		POWER VALUES	EFFICIENCY VALUES	LIFE VALUES
Incandescent Lamp	Glow Filament Lamp	115 Watt in 1600 lumen	1600 lumen/115 Watt = 14	1.000 hours
	Halogen Lamp	100 Watt in 1600 lumen	1600 lumen/100 Watt = 16	3.000 hours
Fluorescent Lamps	T series	28 Watt in 1600 lumen	1600 lumen/28 Watt = 57	7.000 hours
	Compact	23 Watt in 1600 lumen	1600 lumen/23 Watt = 70	3.500 hours
LED Lamp		15 Watt in 1600 lumen	1600 lumen/15 Watt = 220	>50.000 hours

Unlike fluorescent lamps, LED lamps do not emit ultraviolet and infrared rays. And, unlike fluorescent lamps, they do not contain mercury vapor and similar gases, either. For this reason, they are environmentally friendly. Another superior feature of LED lamps is that the light they emit is stable and does not flicker. Fluorescent lamps and economical incandescent lamps flicker in a way that human eyes cannot sense. For this reason, they are harmful for the health of eyes [8, 9].

In educational environment designs, stone wool suspended ceilings are generally used in dimensions of 60 cm × 60 cm. As a result, 4 × 18W fluorescent lamps with parabolic cover glass luminaires are quite common. In such applications, if it is desired to use tube-shaped LED lamps instead of tube fluorescent lamps, it is not necessary to replace any luminaires. Electric energy savings of 30% to 45% can be achieved if LED lamps are used, without lowering the lighting quality [10, 11, 12].

Tube fluorescent lamps can be replaced with tube-shaped LED lamps; in addition, LED-based luminaires measuring 60 cm × 60 cm with opaque lids are also used as an alternative to 4 × 18W fluorescent lamp luminaires [13].

Lighting design is a discipline of science and art, defining the relationship between space and user by using sources of light. It is a discipline of science as it uses scientific data to explore the physical and psychological effects of light on people. It is a discipline of art as it includes the act of design (certain subjective and aesthetic norms are used in it). The main purpose of lighting design is to make people feel good. Research has proven that a well-planned lighting design positively affects learning processes in educational institutions, efficiency in offices, and recovery span in hospitals [14].

This study focuses on the use of lighting in educational settings. Moreover, the study explains the aspects of lighting with LED luminaires in educational environments that are superior to those with fluorescent luminaires.

2. DESIGN PROJECT

A lighting design was carried out for an educational environment within the scope of this study. The design was achieved using the Dialux program.

- First, an appropriate-size classroom was planned.
- In this classroom, windows and doors were added as well as steps to raise elevation.
- Classroom objects were added. The colors and surface materials of the objects were selected.
- Finally, lighting luminaires were added, and calculations were made for a good quality of lighting.

2.1. Description of Space

The lighting of the educational environment was designed using LED lamps — which are considered to be the most efficient lighting components — and fluorescent lamps. The educational environment and environment's steps as seen that figure 1 and 2.

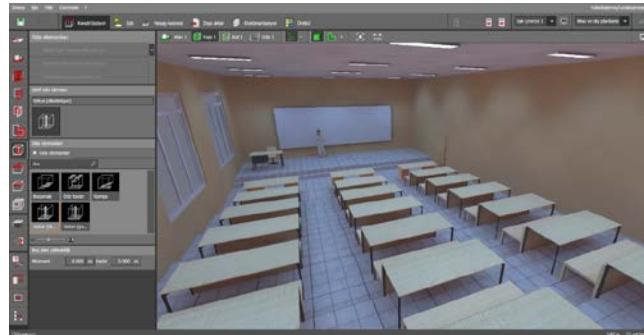


Fig. 1. The educational environment



Fig. 2. The educational environment's steps

The educational environment had an area of 222.6 m² and a maximum height of 5 m. The ceiling, the walls, and the floor were selected to have reflection ratings of 70%, 49%, and 51.6%, respectively.

The educational environment was in a stepped and angled structure to allow the board to be viewed comfortably. For this reason, the work plane was set at an angle of 4° from the front to the back, covering the top of each desk.

The work plane was created by setting a slope of 4° between the front and back of the educational environment. Its heights varied from place to place but floated above the desks at approximately equal elevations. Thus, the work plane at the front and back side had the dimensions of the same plane. Bright colors is shown that figure 3.



Fig. 3 Bright colors

Bright colors were used in the interior of the educational environment. Light-colored square ceramics were preferred for floor overlays. A light beige tone was used for the walls. The desks had a beige maple-colored wooden coating, and their feet were metal. The windows were wide and long to allow daylight. The reflection coefficients of the colors in the designed educational environment were high in general.

2.2. $4 \times 18W$ Fluorescent Luminaires with a Dimension of 60×60 cm and a LED Luminaire with a Dimension of 60 cm \times 60 cm

In educational environments, stone wool suspended ceilings provide sound acoustics. They also strengthen a building. They consist of square pits of 60×60 cm. Lighting luminaires are placed in these pits. The fluorescent lamp used by default consisted of 4 18-Watt fluorescent tubes. The educational environment designed in the Dialux software was fitted with 6×8 luminaires (48 in total). The standard number used in stone wool suspended ceilings was chosen as the number of luminaires (The vertical and horizontal distances between two luminaires were approximately 60 cm and 120 cm, respectively).

The Philips brand TBS165 G 4XTL5 18W luminaire was used as the luminaire. The total assembly power was $61W$, the total light flux was 4800 lumens, and the temperature was $7000K$.

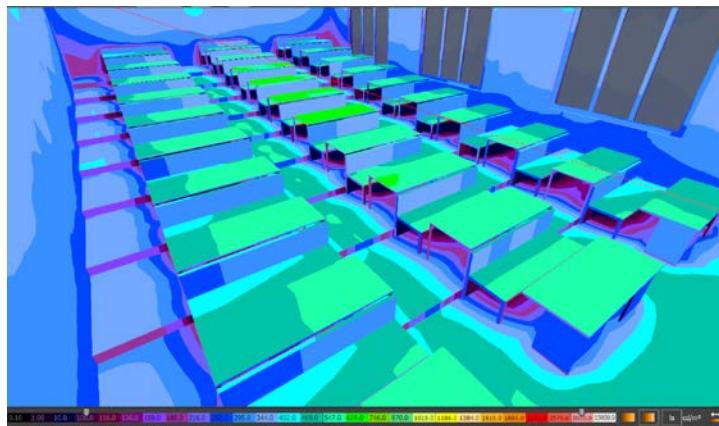


Fig. 4. Inverted-Color appearance of the fluorescent luminaire in the dialux program

As seen in Fig.4, according to the “Demo table” in the section “Buildings for educational purposes: schools” in the “Minimum Lighting Levels Table EN 12464-1: 2011 Standard” of the Electrical Engineers Association [17], the top of desks used in an educational environment should receive at least 500 lux of light intensity. However, in the figure, only the tops of desks in the center received above 500 lux of light intensity. The light received by the edges of the desks at the sides remained at 400 lux.

Lighting intensity values calculated according to the work plane were as follows:

The maximum lighting intensity value: 861 lux

The average lighting intensity value: 619 lux

The minimum lighting intensity value: 325 lux

The value of lighting intensity level determines whether the light rays emitted from a source are uniformly distributed at each point of the work plane. It is calculated using the following ratio: “Minimum Lighting Intensity / Average Lighting Intensity.” The closer this ratio is to 1 , the smaller the difference between levels of lighting intensity will be, and the more uniform lighting levels will be.

The lighting intensity value for the fluorescent luminaires was calculated as $E_{min}/E_{ave} = 0,50$

With the advancement of LED technology in the modern age, 60×60 LED luminaires have begun to be produced for 60×60 stone wool suspended ceilings in order to provide better quality lighting in educational environments.

The same educational environment was modified with a design including $6 \times 8 = 48$ LED luminaires. The LED luminaires that were used were Philips brand RC461B G2 PSD 1XLED34S luminaires. They consume 24 W of energy, and they have 3400 lumens of light flux. They have a color temperature of 4000 K. Inverted-Color Appearance of the LED Luminaire in the Dialux Program is shown that figure 5.

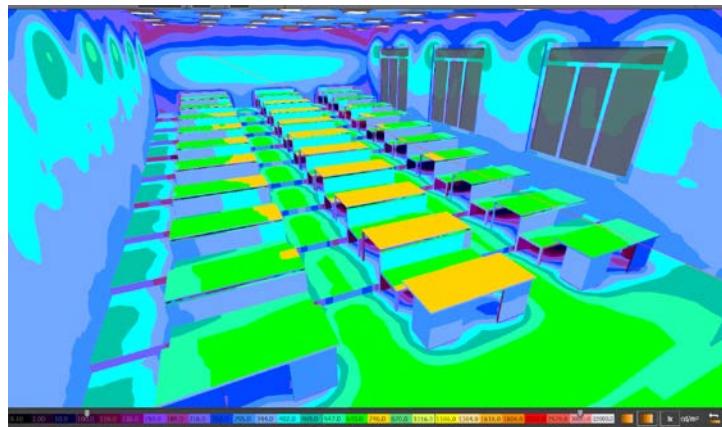


Fig. 5. Inverted-Color appearance of the LED luminaire in the dialux program

When the inverted colors in the figure were examined, it was seen that the tops of all the desks in the project made up of LED luminaires were above the 500-lux value as requested in the standard.

Lighting intensity values calculated according to the work plane were as follows:

The maximum lighting intensity value: 1041 lux

The average lighting intensity value: 746 lux

The minimum lighting intensity value: 397 lux

The lighting intensity value for the LED luminaires was calculated as $E_{\text{min}}/E_{\text{ave}} = 0,55$

The color temperature is the temperature of a dark object that produces a color tone that is close to its source. The difference in terms of color temperatures in the LED and fluorescent luminaire designs was 6000K and 4000K, respectively.

The color temperature values of daylight vary between 5500K and 6000K. The closer the color temperature value in the educational environment is to daylight, the higher the quality of lighting it will provide psychologically. The LED luminaire with the value of 6000 K used in the first design was close to daylight. The fluorescent luminaires with the value of 4000 K used in the second design were cold white and had a bluish color. This color improves attention and focus and is used in surgery rooms, but its use in an educational setting may lead to fatigue after a certain amount of time.

Color rendering is the comparison of color appearances of objects depending on differences in color temperatures of the lighting components by taking the appearance of colors under sunlight as a reference. The color of an object under daylight is considered its real color, and its CRI value is accepted to be 100. The closer the CRI value is to 100, the closer the appearance of color is to reality.

The color rendering values of incandescent lamps, LED lamps, and fluorescent lamps are in the ranges of 98–100 CRI, 80–95 CRI, and 70–80 CRI, respectively. The color appearance that is the best and closest to reality is obtained from the incandescent lamps [16].

The CRI value of the fluorescent lamps used in designing educational environments is approximately 75. It needs to be over 80 to provide lighting with good quality. The LED lamp used in the second design had a CRI value of 85. Thus, it had a more realistic color appearance than the first design.

2.3. Comparison of Fluorescent and LED Luminaires with the Same Light Flux

Rectangular-shaped luminaires as well as square-shaped luminaires are commonly used in educational environments. This is because the light flux per luminaire can be higher, and thus a less number of luminaires can be used. However, since they are not focused, they need to have a high level of light flux for better lighting.

In the educational environment, 18 fluorescent lamps were used in a 3×6 arrangement. In order to make an accurate comparison, the fluorescent luminaires were chosen to be Philips brand Smart Form TBS460, which had a light flux value approximately equal to that of LED luminaires that were used in the other design. This luminaire had two TL5 tube fluorescent lamps with a value of 54 watts. The lamp, which had 7000 K light color and approximately 8900 lumen light flux with its two tubes, consumed a total of 118-Watt energy. Inverted-Color Appearance of the Fluorescent Luminaire in the Dialux Program is shown that figure 6.

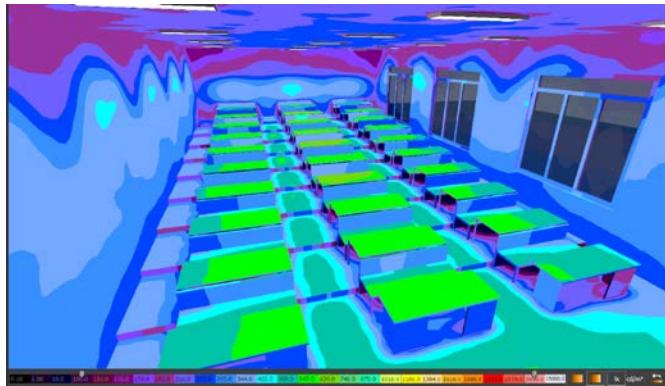


Fig. 6. Inverted-Color appearance of the fluorescent luminaire in the dialux program

Considering the false colors, the desks in the center were illuminated with a value of 800 lux and the desks at the sides with a value of 400 lux.

Lighting intensity values calculated according to the work plane were as follows:

The maximum lighting intensity value: 865 lux

The average lighting intensity value: 605 lux

The minimum lighting intensity value: 310 lux

The lighting intensity value for the fluorescent luminaires was calculated as $E_{\min}/E_{\text{ave}} = 0,48$

The educational environment with all the same features was designed with LED luminaires that had approximately the same light flux value as the fluorescent luminaires. The luminaires were placed in a 3×6 arrangement, and Philips - Maxos LED Performer - 4MX900 491 1 × LED71S/830 PSU DA20 type luminaires were used. They had the following features: 7100 lumen light flux, 68-Watt assembly power, 4000 K color temperature, and 85 CRI. Inverted-Color Appearance of the LED Luminaire in the Dialux Program is shown that figure 7.

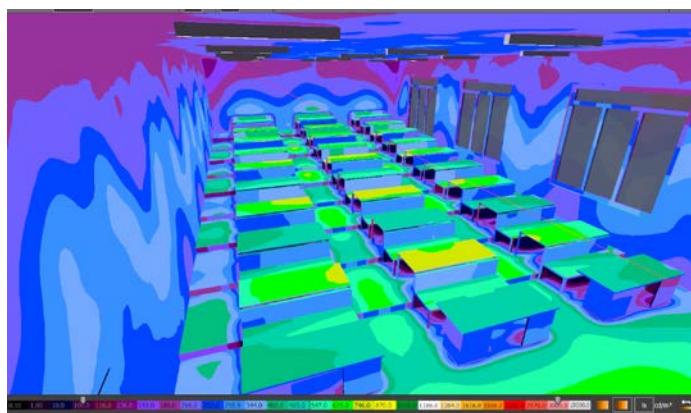


Fig. 7. Inverted-Color appearance of the LED luminaire in the dialux program

In the design consisting of LED luminaires, although the luminaires were positioned at the same places as in the design consisting of fluorescent luminaires, lighting with a value of 900 lux was visible on the desks at sides as well as on the desks in the center. Lighting intensity values according to the work plane:

The maximum lighting intensity value: 927 lux

The average lighting intensity value: 628 lux

The minimum lighting intensity value: 331 lux

The lighting intensity value for the LED luminaires: $E_{\min}/E_{\text{ave}} = 0,57$

2.4. Comparison of Fluorescent and LED Luminaires with the Same Power Values

The LED luminaires consuming 68 watts of power provide 7100 lumen light flux and create excellent lighting conditions in the educational environment. When a 68-Watt fluorescent luminaire is used instead of a 118-Watt

luminaire in the educational environment, the inverted-color appearance of the environment is as shown in Figure 8.

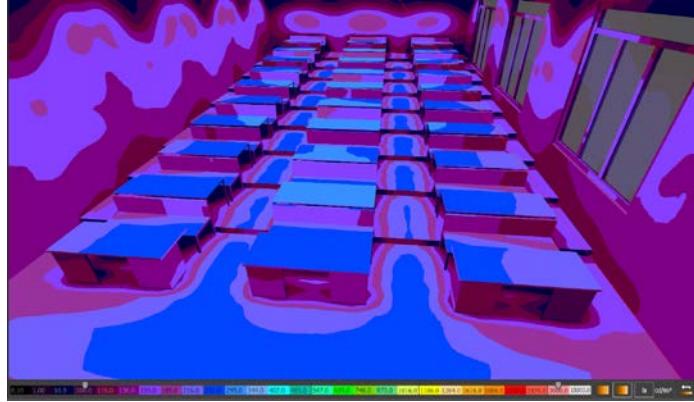


Fig. 8. Inverted-Color appearance of the fluorescent luminaire in the dialux program

The lighting intensity on the desks were not able to pass the value of 250 lux. It was down to 150 lux from place to place. According to the “5.36.5 Demo table” in the section “Table 5.36 — Buildings for educational purposes: schools” in the “Minimum Lighting Levels Table EN 12464-1: 2011 Standard” of the Electrical Engineers Association [17], the top of desks used in an educational environment should receive at least 500 lux of light intensity for a good quality of lighting. For this reason, the design created using 68-Watt fluorescent luminaires had insufficient lighting.

3. EVALUATION AND CONCLUSION

Three comparisons and five different lighting designs were interpreted and evaluated in this section.

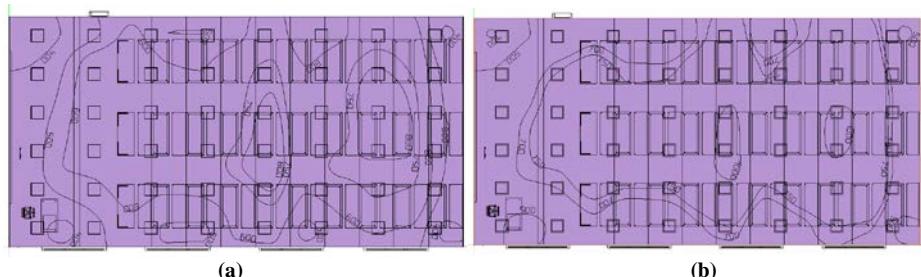


Fig. 9. Lighting distribution in the work plane: (a) Fluorescent (b) LED Luminaires with dimensions of 60 cm × 60 cm

According to the results shown in Figure 9, the tops of the desks were covered with 600-lux lines in the lighting distribution chart with fluorescent lamps. There were sporadic parts of the desks with lines of 500-lux lighting, which were below 600-lux light intensity. However, the tops of the desks were covered with 750-lux lines in the lighting distribution chart with LED lamps. Regardless of the lighting intensity values of the fluorescent and LED lightings, the LED lighting can be said to have lighting with much better quality.

The lighting intensity values of the 60×60 fluorescent luminaires and 60×60 LED luminaires were calculated to be the same. However, the LED luminaires were superior in terms of efficiency and proper spreading of light rays.

The efficiency of the fluorescent light producing 4800 lumens by consuming 61 watts of energy was $4800 \text{ lumens}/61 \text{ Watt} = 78.68$.

The efficiency of the LED light producing 3400 lumens by consuming 24 watts of energy was $3400 \text{ lumens}/24 \text{ Watt} = 141.66$.

According to the results in Section 2.2, the LED luminaire was found to be 80% more efficient than the fluorescent luminaire.

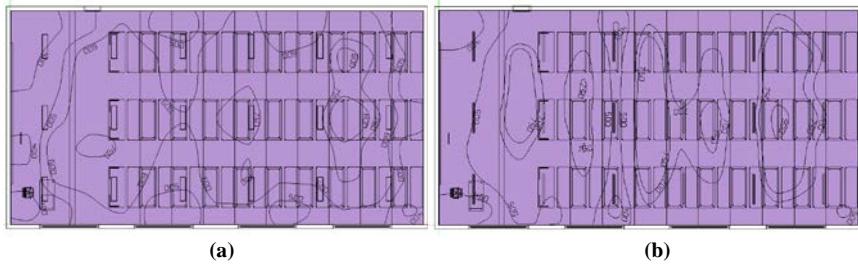


Fig. 10. Lighting distribution in the work plane: (a) Fluorescent (b) LED Luminaires with the same light flux

As seen in the two designs in Figure 10, the lines of 500-lux lighting cover approximately the same areas. The biggest difference was that in the design with LEDs, the line of 750-lux lighting was visible on the desks that were in the center, but in the design with fluorescents, the line of 750-lux lighting was only visible in the middle of the desks that were in the back and in the middle of the desks that were in the center.

The lighting intensity values of the two designs were almost equal (The lighting intensity level of the design with fluorescent luminaire was .51, and the lighting intensity of the design with LED luminaire was .53). The big difference between the two was productivity (efficiency factor).

A 118 Watts of power is needed to produce 8900 lumens in a fluorescent luminaire. $8900 \text{ lumen} / 118 \text{ Watt} = 75.42$.

A 68 Watts of power is needed to produce 7100 lumens in an LED luminaire. $7100 \text{ lumen} / 68 \text{ Watt} = 104.41$.

As seen in Section 2.3, the LED efficiency was 38.45% higher than the fluorescent efficiency.

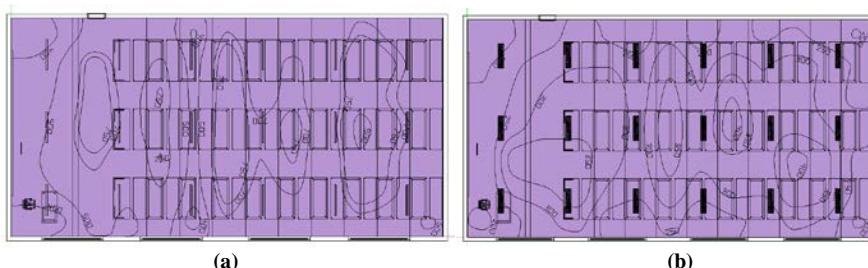


Fig. 11. Lighting distribution in the work plane: (a) Fluorescent (b) LED Luminaires with the same power

In Figure 11, there is a big difference between the lighting values in two different designs with the same power value. In the design with LEDs, the tops of the desks were lighted with a value of 500 lux, while in the design with fluorescents the tops of the desks were lighted with a value of about 270 lux. The value of 270 lux does not comply with standards.

It is between the 68-W LED luminaire producing 7100 lumens and the 68-W fluorescent luminaire producing 3500 lumens, which consume the same amount of power.

The efficiency of the LED light producing 7100 lumens by consuming 68 watts of energy was $7100 \text{ lumens} / 68 \text{ Watt} = 104.41$.

The efficiency of the fluorescent light producing 7100 lumens by consuming 68 watts of energy was $3500 \text{ lumens} / 68 \text{ Watt} = 51.47$.

As seen in Section 2.4, the LED efficiency was 49.29% higher than the fluorescent efficiency.

In conclusion, the LED lighting was proven to be superior to the fluorescent lighting in terms of lighting uniformity, efficiency factor, color rendering and color temperature.

REFERENCES

- [1] Coşkuner, S., Öztop, H., 2016: Farklı Kullanım Alanlarının Aydınlatılması: Verimlilik Ve Temel İlkeler. Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar e-dergisi, 1-5.
- [2] Eren, E., 1998: Örgütsel Davranış ve Yönetim Psikolojisi. *Beta Yayınları*, İstanbul.
- [3] İncir, G., 1985: İş Yerlerinin Aydınlatma Düzeni. *Milli Prodiktivite Merkezi Yayınları*, No:329, Ankara.
- [4] Stipanuk, D.M., Roffmann, H., 1992: Hospitality Management and Design. *Educational Institute of the American Hotel & Motel Association*, Lansing, MI.
- [5] Öztürk, Ç., 2006: Gelişmiş Doğal Aydınlatma Sistemleri ve Uygulama Örnekleri. Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

- [6] The Sunviva website, (2016), (online), Available: web site <http://www.sunvia.net>
- [7] The Lamp 83 website, (2018), (online), Available: www.lamp83.com.tr.
- [8] İleri, U., Çil, C., Z., Büke, G., 2011: Floresan Lamba Yerine Kullanılabilir LED'li Lamba. Çankaya Üniversitesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü.
- [9] Fluorescent and Other Mercury-Containing Lamps and the Environment, 2005: National Electrical Manufacturers Association, Rosslyn, VA, Mar.
- [10] W., R., A., Ryckaert, I., A., A., Roelandtsa, M., V., Gilsa, G., Durinck, S., Forment, J., Audenaert, P., Hanselaer, 2012: Performance of LED Linear Replacement Lamps. Light&Engineering, 20,1, 37-45.
- [11] W., R., A., Ryckaert, K., A., G., Smeta, I., A., A., Roelandtsa, M., V., Gilsa, P., Hanselaer, 2012: Linear LED tubes versus fluorescent lamps: An Evaluation. Energy and Buildings, 49, 429–436.
- [12] Ö., Güler, E., Erkin, M., B., Yurtseven, 2013: Tüp Şeklinde LED ve Flüoresan Lambalı Armatür Kullanımı Analizi. 9. Ulusal Aydinlatma Kongresi, 19-20 Nisan, İstanbul.
- [13] Erkin, E., Yurtseven, M., B., Güler, Ö., Onaygil, S., 2013: LED Panel Armatürlerin Ofis Aydinlatmasında Retrofit Amaçlı Kullanımının İncelenmesi. VII. Ulusal Aydinlatma Sempozyumu, İstanbul
- [14] The Nef website, (2018), (online), Available: <http://www.nef.com.tr>
- [15] The 3drender website, (2017), (online), Available: <http://www.3dRender.com>
- [16] Öztürk, L., D., Türkoğlu, A., K., Floresan Lamba İşık Renklerinin Karışımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Mim. Fak., Yapı Fiziği Bilim Dalı, İstanbul, TÜBİTAK-UME, Optik Grubu Laboratuvarları, Kocaeli
- [17] The Emo website, (2016), (online), Available: <http://www.emo.org.tr>



Investigation of the Impact of Leno Build on Burst Strength in Woven Fabrics

B. Berkhan Kastaci^{1*}, H.Z..Özek²

¹Tekstil Mühendisliği Bölümü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

²Tekstil Mühendisliği Bölümü, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye

Abstract

In this study, the effect of the number of leno warp weaves, which are the main variables of the leno fabrics, and the fabric characteristics of the array was investigated. Leno fabrics were compared with equivalent standard fabrics without leno warp. Each sample group was produced in three different pattern ranges containing leno warp and without leno warp. It is also produced in two different crossovers and three different weft densities. The effect of the structural properties of these samples on their physical performance to burst strength was analyzed on an experimental findings.

Key Words: Leno Weave, Leno Fabric Structural Properties, Leno Fabric Burst Resistance

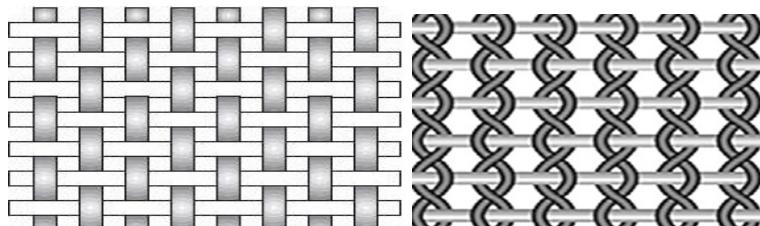
1. GİRİŞ

Dokuma kumaşlar çeşitli giyim ve kullanım amaçları için dokuma tekniğinin olanak verdiği çok değişik yapınlarda üretilirler. Bu yapıların özelliklerinin bilinmesi, hem üretim hem de kullanım açısından oldukça önemlidir. Dokuma kumaşlar yapılarına göre genel olarak;

- Basit yapılı dokuma kumaşlar
 - Karmaşık yapılı dokuma kumaşlar olmak üzere iki ana grupta incelenir [1].
- Diğer taraftan dokuma kumaşları 1. Normal dokunmuş kumaşlar, 2. Çapraz (leno) dokunmuş kumaşlar, 3. İlmeli yapılı kumaşlar, 4. Üç eksenli kumaşlar, 5. El dokumaları, 6. Dar dokumalar, 7. Üç boyutlu dokuma yapıları olmak üzere yedi ana grupta incelemek mümkündür [2].
- Standart yapılı dokuma, atkı ve çözgü olarak bilinen iki ayrı iplik grubunun 90° lik açıda birbiriyle kesişerek öngörülen örgü düzenine uygun, birbirinin altından ve üstünden geçerek bağlantılar yapması neticesinde oluşturulan geleneksel bir tekstil yüzeyidir (Şekil 1.1).

* Corresponding author. Tel.: +90 282-250-3651

E-mail address: bberkhan@nku.edu.tr



Şekil 1.1. Basit dokuma kumaş yapısı

Şekil 1.2. Leno kumaş yapısı

Leno yapıları ya da leno kumaşlar, karmaşık yapıları kumaşlar grubunda yeralır. Yapı içinde birbirine paralel konumlanmış standart çözgülere ek olarak ya da tümüyle leno çözgüler yeralır. Leno ya da döner gücü ile anılan dokuma yüzeyleri ise; çözgü ipliklerinin yukarı ve aşağı hareketinin yanında, aynı zamanda çapraz hareket ettirilmesiyle oluşturulan, seyrek dokunmuş fakat sağlam yapıları olan tekstil yüzeyleridir (Şekil 1.2) [3].

Leno dokuma kumaşlarda yan yana bulunan leno çözgü iplikleri atkı ile bağlantı yaparken birbirine paralel kalmayıp, aynı zamanda çapraz geçişler yaparak birbirine de bağlanırlar. Kumaşa seyrek fakat dayanıklı yapısını veren çözgü ipliklerinin meydana getirdiği bu çapraz geçişlerdir [4].

Leno kumaşlarda birim yapı iki çözgü ipliği ve bir atkı iplığınden meydana gelir. Bu iki çözgü iplığının düz olana sabit çözgü veya standart çözgü, bağlama hareketi yapan çözgüye ise çapraz çözgü veya döner çözgü denir. Standart dokuma kumaşlarda çözgü iplikleri atkı iplikleriyle dik konumda bağlantı yaparken, leno kumaşlarda bu çözgü çiftleri paralel atkı ipliklerini aralarına alarak bükürlürler [5].

Leno dokuma kumaşların zarif görünümü ve dayanıklı performansı sayesinde giyim eşyası olarak kullanımı çok eskilere dayanmaktadır. Lif ve kumaş üretim teknolojisindeki gelişmeler sayesinde, mükemmel yapışal kararlılığı nedeniyle leno kumaş giyim dışında birçok alanda kullanılmaktadır [5].

Leno kumaşlar kadın ve erkek üst giyiminde, ev tekstilinde, paketleme ve çuval bezi yapımında, tarım tekstillerinde, inşaat sektöründe, jeotekstil uygulamalarında, tıbbi tekstillerde ve otomobil dösemelikleri gibi teknik tekstillerde de giderek artan kullanım alanına sahiptir.

Geniş kullanım alanı bulunan leno kumaşların teknik ve bilimsel literatürde aynı ağırlıkta yer bulmadığı gözlenmiştir. Yayınlarda genel olarak leno dokuma sistemleri, kumaş özelliklerini, desenlendirme teknikleri, teknik tekstillerde kullanım alanları ve teknik tekstil kumaş yapılarını içermektedir. Leno yapının, kumaşların bazı yapışal ve mekanik özelliklerine önemli etkilerde bulunduğu tahmin edilmekle birlikte bunların davranış ve karakteristikleri üzerine net veriler yoktur. Bu çalışmanın temel amacı da bu alandaki eksikliği gidermek ve leno kumaşların yapışal özelliklerinin fizikal performanslarından patlama mukavemetine olan etkisini ortaya koymaktır.

2. MATERİYAL VE METOD

Leno dokumalarla ilgili bu çalışmada armürlü dokuma makinelerinde döner güçler ile dokunan leno kumaşlar ile aynı konstrüksiyonlarda leno bağlama hareketi yapmadan aynı örgü ile dokunan standart dokuma kumaşların mekanik özelliklerinden patlama mukavemeti karşılaştırılarak farklılıklar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Bu kumaşlara zemin 1/1 bezayağı olmak üzere, geniş, orta ve dar üç yapı aralığında, 3/3 leno bağlantılı, 3/3 lenosuz düz bağlantılı, 5/5 leno bağlantılı ve 5/5 lenosuz düz bağlantılı örgülere ek olarak 1/1 bezayağı örgü uygulanmıştır.

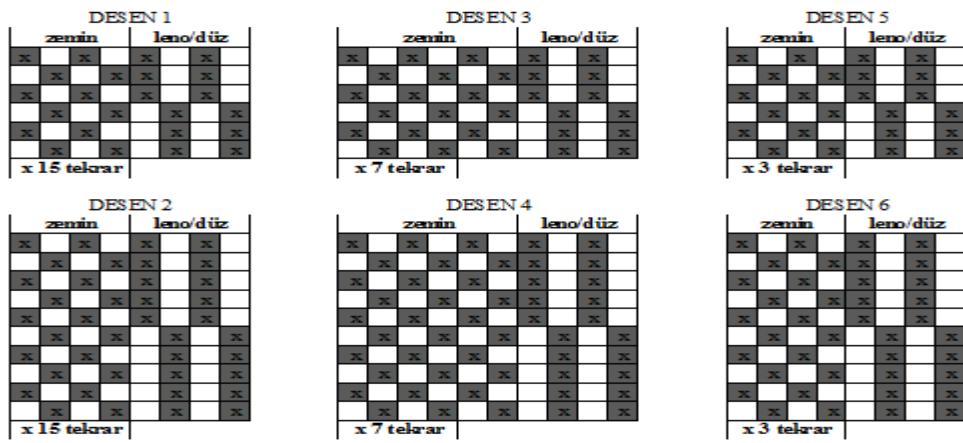
Cözgülerde aynı mekanik sıklığı elde edebilmek için tarak tahrı yapılmış, bu sayede tüm kumaşların çözgü sıklıkları eşitlenmiştir. Desen olarak armür örgülerin farklı kombinasyonları ile 1/1 bezayağı örgü kullanılmış ve atkıdan üç farklı sıklık ile toplam 39 çeşit kumaş karşılaştırılmıştır. Kumaşların genel konstrüksiyonu Çizelge 2.1 ‘de verildiği gibidir.

Numunelerde atkı ve çözgü ipliği olarak aynı harman karışımı, aynı lottan 40/2 penye iplik kullanılmıştır.

Tüm numunelerde kullanılan desenlerin örgü raporları da şöyledir;

Tablo 2.1. Dokunan numunelerin genel konstrüksiyonu

Adet	Kumaş Kodu	Nominal Çözgү Sıkhığı (tel/cm)	Nominal Atkı Sıkhığı (atkı/cm)	Örgü	Tarak Eni (cm)	Tarak Numarası
1	B1.G.3L.17	16,9	17	Desen 1 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
2	B1.G.3L.20	16,9	20	Desen 1 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
3	B1.G.3L.23	16,9	23	Desen 1 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
4	B2.G.3D.17	16,9	17	Desen 1 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
5	B2.G.3D.20	16,9	20	Desen 1 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
6	B2.G.3D.23	16,9	23	Desen 1 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
7	B3.G.5L.17	16,9	17	Desen 2 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
8	B3.G.5L.20	16,9	20	Desen 2 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
9	B3.G.5L.23	16,9	23	Desen 2 Leno Bağlantılı	180	90/1,88
10	B4.G.5D.17	16,9	17	Desen 2 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
11	B4.G.5D.20	16,9	20	Desen 2 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
12	B4.G.5D.23	16,9	23	Desen 2 Düz Bağlantılı	180	90/1,88
13	B5.O.3L.17	16,9	17	Desen 3 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
14	B5.O.3L.20	16,9	20	Desen 3 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
15	B5.O.3L.23	16,9	23	Desen 3 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
16	B6.O.3D.17	16,9	17	Desen 3 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
17	B6.O.3D.20	16,9	20	Desen 3 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
18	B6.O.3D.23	16,9	23	Desen 3 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
19	B7.O.5L.17	16,9	17	Desen 4 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
20	B7.O.5L.20	16,9	20	Desen 4 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
21	B7.O.5L.23	16,9	23	Desen 4 Leno Bağlantılı	180	95/1,78
22	B8.O.5D.17	16,9	17	Desen 4 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
23	B8.O.5D.20	16,9	20	Desen 4 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
24	B8.O.5D.23	16,9	23	Desen 4 Düz Bağlantılı	180	95/1,78
25	B9.S.3L.17	16,8	17	Desen 5 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
26	B9.S.3L.20	16,8	20	Desen 5 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
27	B9.S.3L.23	16,8	23	Desen 5 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
28	B10.S.3D.17	16,8	17	Desen 5 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
29	B10.S.3D.20	16,8	20	Desen 5 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
30	B10.S.3D.23	16,8	23	Desen 5 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
31	B11.S.5L.17	16,8	17	Desen 6 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
32	B11.S.5L.20	16,8	20	Desen 6 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
33	B11.S.5L.23	16,8	23	Desen 6 Leno Bağlantılı	180	105/1,6
34	B12.S.5D.17	16,8	17	Desen 6 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
35	B12.S.5D.20	16,8	20	Desen 6 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
36	B12.S.5D.23	16,8	23	Desen 6 Düz Bağlantılı	180	105/1,6
37	B13.17	17,2	17	1/1 Bezayağı	180	172,5/1
38	B13.20	17,2	20	1/1 Bezayağı	180	172,5/1
39	B13.23	17,2	23	1/1 Bezayağı	180	172,5/1



Şekil 2.1. Numune desen örgü raporları

2.1. Uygulanan Test

Patlama mukavemeti, aynı anda çeşitli yönlerden kuvvet etkisi altında kalan tekstil materyallerinin mukavemetlerinin ölçümünde kullanılan alternatif bir test metodudur. Paraşüt bezi, çadır bezi, yelken bezi, çuval, filtre bezi gibi kumaşlar, sadece atkı ya da çözgү yönündede değil, aynı anda çok fazla yönde kuvvet etkisi altında olmaktadır [6].

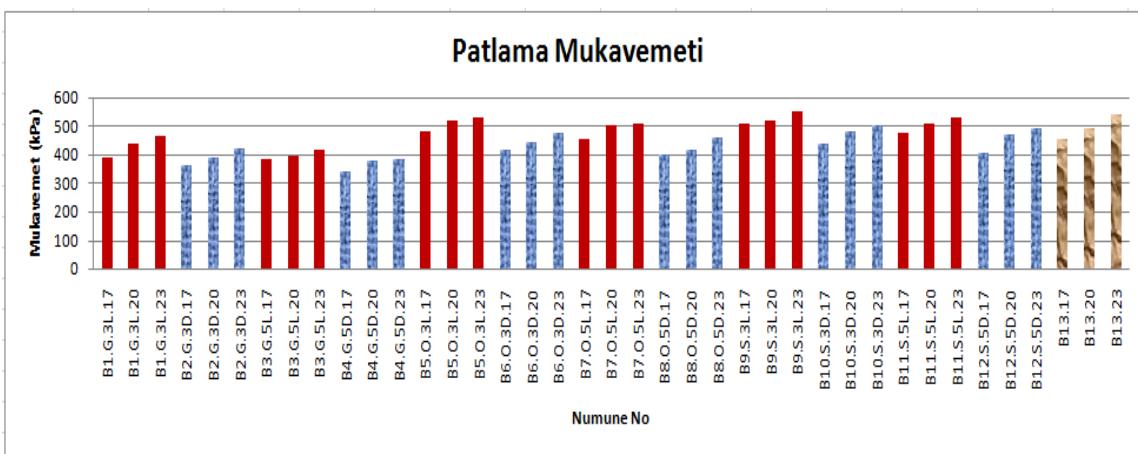
Dokunan 39 çeşit kumaşın patlama mukavemetlerinin ölçümünde hava akışkan sistemi Truburst cihazı ile TS EN ISO 13938-2 no' lu “Tekstil-Kumaşların patlama özellikleri - Bölüm 2: Patlama mukavemetinin ve patlama gerilmesinin tayini için pnömatik metot” standardına göre testler yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Patlama mukavemeti tayini deneyleri sonucunda elde edilen patlama mukavemeti değerleri Tablo 3.1'de, sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1. Patlama mukavemeti tayini test sonuçları

Numune No	Patlama Mukavemeti (kPa)	Numune No	Patlama Mukavemeti (kPa)
B1.G.3L.17	391,3	B2.G.3D.17	361,4
B1.G.3L.20	435,4	B2.G.3D.20	388,5
B1.G.3L.23	466,5	B2.G.3D.23	423,6
B3.G.5L.17	382	B4.G.5D.17	341,5
B3.G.5L.20	396,05	B4.G.5D.20	379,7
B3.G.5L.23	414,5	B4.G.5D.23	387
B5.O.3L.17	480,9	B6.O.3D.17	418,1
B5.O.3L.20	518,9	B6.O.3D.20	446,4
B5.O.3L.23	527,1	B6.O.3D.23	477
B7.O.5L.17	453,85	B8.O.5D.17	401,2
B7.O.5L.20	500,1	B8.O.5D.20	415,6
B7.O.5L.23	510,6	B8.O.5D.23	460,16
B9.S.3L.17	506,8	B10.S.3D.17	438,73
B9.S.3L.20	516,4	B10.S.3D.20	483,6
B9.S.3L.23	548,8	B10.S.3D.23	505
B11.S.5L.17	475,6	B12.S.5D.17	408,25
B11.S.5L.20	508	B12.S.5D.20	468,6
B11.S.5L.23	529,4	B12.S.5D.23	492,7
B13.17	453,6		
B13.20	494,8		
B13.23	543,1		



Şekil 3.1 Numunelerin patlama mukavemeti değerleri(grafikte; kırmızı sütunlar leno bağlantıları, mavi dokulu sütunlar düz bağlantıları, kahverengi dokulu sütunlar ise bezayağı örgüyü gösterir)

Numunelerin patlama mukavemetleri için çizelge ve grafikler incelendiğinde;

3/3 leno bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları; B1.G.3L.17, B1.G.3L.20, B1.G.3L.23, orta leno/düz çözgü aralıkları; B5.O.3L.17, B5.O.3L.20, B5.O.3L.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları; B9.S.3L.17, B9.S.3L.20 B9.S.3L.23 tiplerin patlama mukavemetinin 3/3 leno olmadan düz bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları; B2.G.3D.17, B2.G.3D.20, B2.G.3D.23, orta leno/düz çözgü aralıkları; B6.O.3D.17, B6.O.3D.20, B6.O.3D.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları; B10.S.3D.17, B10.S.3D.20 B10.O.3D.23 tiplerin patlama mukavemetinden daha yüksek olduğu, aynı şekilde 5/5 leno bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları B3.G.5L.17, B3.G.5L.20, B3.G.5L.23, orta leno/düz çözgü aralıkları B7.O.5L.17, B7.O.5L.20, B7.O.5L.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları B11.S.5L.17, B11.S.5L.20 ve B11.S.5L.23 tiplerin patlama mukavemetinin, 5/5 leno olmadan düz bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları B4.G.5D.17, B4.G.5D.20, B4.G.5D.23, orta leno/düz çözgü aralıkları B8.O.5D.17, B8.O.5D.20, B8.O.5D.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları B12.S.5D.17, B12.S.5D.20 ve B12.S.5D.23 tiplerin patlama mukavemetinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

3/3 leno bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları; B1.G.3L.17, B1.G.3L.20, B1.G.3L.23, orta leno/düz çözgü aralıkları; B5.O.3L.17, B5.O.3L.20, B5.O.3L.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları; B9.S.3L.17, B9.S.3L.20 B9.S.3L.23 tiplerin patlama mukavemeti, aynı şekilde 5/5 leno bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları B3.G.5L.17, B3.G.5L.20, B3.G.5L.23, orta leno/düz çözgü aralıkları B7.O.5L.17, B7.O.5L.20, B7.O.5L.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları B11.S.5L.17, B11.S.5L.20 ve B11.S.5L.23 tiplerinin patlama mukavemetinden daha yüksek olduğu, aynı şekilde 3/3 leno olmadan düz bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları; B2.G.3D.17, B2.G.3D.20, B2.G.3D.23, orta leno/düz çözgü aralıkları; B6.O.3D.17, B6.O.3D.20, B6.O.3D.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları; B10.S.3D.17, B10.S.3D.20 B10.S.3D.23 tiplerin patlama mukavemetinin, 5/5 leno olmadan düz bağlantı yapan en geniş leno/düz çözgü aralıkları B4.G.5D.17, B4.G.5D.20, B4.G.5D.23, orta leno/düz çözgü aralıkları B8.O.5D.17, B8.O.5D.20, B8.O.5D.23 ve en dar leno/düz çözgü aralıkları B12.S.5D.17, B12.S.5D.20 ve B12.S.5D.23 tiplerin patlama mukavemetinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Kararlı yapıdaki bezayağı tiplerin B13.17, B13.20 ve B13.23 tiplerinin patlama mukavemeti en dar aralıklı leno bağlantıları B9.S.3L.17, B9.S.3L.20, B9.S.3L.23 tiplerden aynı sıklık için daha düşük değerler almıştır, fakat aynı aralıkta leno olmadan düz bağlantıları örgüler içerisinde en yüksek değerlere sahip B10.S.3D.17, B10.S.3D.20 ve B10.S.3D.23 tiplerinden aynı sıklıklarda daha yüksek değerler almıştır

Her tip için atkı sıklığı arttıkça patlama mukavemetinin arttığı gözlemlenmiştir. Tüm kumaşlarda çözgü sıklıkları eşit olduğundan atkı sıklığının artması yani birim alanda iplik sayısının artışı ile daha sıkı yapıda kumaşlar elde edilir ve bağlantı noktalarındaki sertleşme etkileşimi artar bu durumda kumaşların basınç etkisiyle patlaması zorlaştıktan mukavemetleri de daha yüksek değerler alır.

Her tip için leno/düz çözgü aralığı azaldıkça mukavemetinde arttığı görülmüştür. Leno bağlantılarındaki sarmal yapı leno/düz çözgü aralığı azaldıkça birim yüzeyde arttığından mukavemet leno/düz çözgü aralığı sıkıştırıcı artmaktadır.

Leno olmadan düz bağlantı yapan tipleri, patlama mukavemetinin aynı sıklık ve leno/düz çözgü aralığına sahip leno bağlantılı tiplerden daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Leno örgülerin yapısal özelliklerinden kaynaklı leno bağlantı yapan çözgü iplikleri atkı ipliklerini sıkıca tutarak bağlar. Leno örgüyü oluşturan çözgü iplik çiftleri hem kendi arasında hem de atkıyla sarmal yapı oluşturacak şekilde bağlandığından dolayı leno bağlantılı kumaşların patlama mukavemeti leno olmadan düz bağlantı yapan kumaşlardan daha yüksektir.

Bağlantı yapan çözgülerde atlama sayısı arttıkça çözgü iplikleri birim bağlama hareketinde daha fazla atkıyı bağlayacak fakat patlama basıncına maruz kalan birim yüzeyde atkı yönünde bağlantı miktarı azaldığından dolayı, bağlantıda atlama yani çözgü ipliklerinin yüzme oranı arttığında mukavemet de aynı oranda düşmüştür.

4. SONUÇ

Sonuç olarak gerek leno gerekse leno olmadan düz çözgülerde örgüde atlama sayısı azaldıkça patlama mukavemetinin arttığı görülmüştür. Yine leno bağlantılı kumaşların patlama mukavemetinin aynı leno/düz çözgü aralığında ve sıkılıkta leno olmadan düz bağlantı yapan kumaşlardan daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Her tip için atkı sıklığı arttıkça patlama mukavemeti artmış, leno/düz çözgü aralığı azaldıkça yani birim alanda bağlantı grubu sayısı arttıkça patlama mukavemeti artmış ve leno bağlantılı kumaşların patlama mukavemeti, leno olmadan düz bağlantı yapan kumaşlardan daha yüksek çıkmıştır. Leno bağlantıda oluşan sarılma nedeniyle artan iplikler arası temas ve sürtünme bu artışların nedeni olarak belirtilebilir. Leno örgülü kumaşlarda patlama mukavemetinin yüksek çıkması darbe enerjisini absorbe etmede leno örgülerin tercih edilmesinin sebebini de izah etmektedir. Özellikle patlama mukavemetinin yüksek olmasını gerektiren kullanım koşulları için seyrek yapılı kumaş tiplerinin tercih edildiği teknik tekstil alanlarında leno kumaşlar yeterli performans göstermektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özек Z.H., Özgün Dokuma Teknikleri Yüksek Lisans Ders Notları, Tekirdağ Türkiye, 2013.
- [2] Başer G., Dokuma Tekniği ve Sanatı Cilt 1, *Punto Yayıncılık*, İzmir Türkiye, 2004.
- [3] Yavaşçaoğlu A., Leno Dokuma Sistemi, Kumaş Özellikleri ve Kullanım Alanları, *Mesleki Bilimler Dergisi*, 1(3): 22-33, 2012.
- [4] Türkyılmaz T.A., Dokuma Kumaş Örgüleri ve Desenciliği, *Türk Tekstil Vakfı Yayınları*, Bursa Türkiye, 2008.
- [5] Gong GH., Specialist Yarn and Fabric Structures, *Woodhead Publishing*, Cambridge, 2011.
- [6] Bozdoğan F., Fiziksel Tekstil Muayeneleri, *Ege Üniversitesi Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Uygulama Merkezi Yayınları*, 160s, İzmir Türkiye, 2010.



Detoxification of Formaldehyde in Wastewaters

E. Yiğit, E. Tosun, A. Baysar*

Department of Chemical Engineering, İnönü University, Malatya, Turkey

Abstract

Formaldehyde is used extensively in resin plants and medical/pathological laboratories where formaldehyde concentration in the wastewater is up to 6 g/L. This amount is much higher than the level of biodegradation (225 mg/L). Formaldehyde is a carcinogen and mutagenic substance on living organisms so formaldehyde must be removed or detoxified before discharge to the environment. The objective of this study was to detoxify the wastewater containing high formaldehyde concentration. For this purpose, formalin solution (10% formaldehyde solution) which is used as tissue preservative in pathological laboratories was used. The formalin solution was treated with sodium metabisulfite and sodium sulfite to convert formaldehyde to a biodegradable form. In the detoxification process, buffer (a mixture of mono and dibasic sodium phosphate) improves the efficiency of the reaction of formaldehyde with sodium metabisulfite and sodium sulfite. Upon aqueous reaction of formaldehyde and sodium metabisulfite or sodium sulfite, sodium formaldehyde bisulfite is formed which is both non-toxic to microorganisms and biodegradable. The pH of formaldehyde-free wastewater was 7.6 which is in agreement with EPA's (US Environmental Protection Agency) criteria (pH, 6-8). The experiments were conducted at room temperature for 30 minutes at 300 rpm. It was determined that about 70% of formaldehyde was removed after 20 minutes from the start of the reaction and completely removed after 30 minutes. The results showed that regardless of the amount of formaldehyde in the wastewater the solution can be completely detoxified by adding appropriate amount of sodium metabisulfite and/or sodium sulfite.

Keywords: formaldehyde, formalin, detoxification, wastewater

1. GİRİŞ

Formaldehit (CH_2O) düşük molekül ağırlıklı, oda sıcaklığında hızla gaz haline geçebilen, kolay alevlenebilen, suda çok iyi çözünebilen, keskin kokulu, tahrış edici ve zehirli bir gazdır. Kuvvetli elektrofilik özelliği nedeniyle oldukça reaktiftir. Monomerik formaldehit hızlıca polimerleştiğinden genellikle ağırlıkça %37'lik formaldehit çözeltisi (formalin) halinde bulunur. Polimerizasyonu engellemek için formalin çözeltisine ağırlıkça %6 -15 oranında metanol katılmaktadır [1].

Formaldehitin düşük maliyeti, temin edilebilirliği ve rensiz olması önemli bir endüstriyel hammadde olmasını sağlamaktadır. Formaldehit reçine, plastik, boyalar, tekstil, kozmetik endüstrisinde hammadde, tarım, kağıt ve kauçuk ürünlerinde koruyucu madde, mobilya yapımında yapıştırıcı olarak ve tıbbi laboratuvarlarda doku saklanmasında kullanılır [1-2].

Formaldehit canlı organizmaların metabolizmaları için çok az miktarda gereklidir ve doğal çevrede (0.15 ppb) kendiliğinden oluşmaktadır. Fakat insan kaynaklı salınım ile bu değer 100 katına çıkılmaktır ve burunda yanna, aşırı öksürük (10 ppm) ile ardından yaşam riski (20 ppm) başlamaktadır. Vücutta alınan formaldehitin büyük bir kısmı metabolize edilemez, reaktifliği nedeniyle DNA, RNA ve proteinlerle çapraz bağlar oluşturarak, DNA yenilenmesini engeller, kromozomal hasara yol açar. Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarda solunum yolları kanserine neden olduğu ve uzun süre maruz kalan işçilerin lösemi olmasından dolayı IARC (Uluslararası Kanser Araştırma Kurumu) formaldehit Grup 1 (insanda kesin kanserojen)'e dahil etmiştir [3,4].

* Corresponding author. Tel.: +90 422 377-4737

E-mail address: ahmet.baysar@inonu.edu.tr (A. Baysar)

Formaldehit ve türevlerinin üretildiği, kullanıldığı fabrikaların ve pataloji laboratuvarlarının atıksularında yüksek konsantrasyonda formaldehit bulunur. Yapılan bir çalışmaya göre reçine üretimi yapılan bir işletmenin atık suyunda 6.360 g/L formaldehit bulunmaktadır ve işletme atıksuyunun debisinin günde 40.6 m³ olması büyük bir çevre riski oluşturmaktadır [5]. Hastane laboratuvarının atıksuyunda ise 40.33 g/L'ye kadar formaldehit bulunmaktadır. Formaldehit atıksular vasıtıyla içme sularına ve atmosfere karışabilir, canlı organizmaların ölmesine ve çevre felaketlerine neden olabileceği için kaynağından detoksifikasyon işlemine tabi tutulması gereklidir [6].

Genel olarak formaldehitin biyolojik giderim sınırı 225 mg/L derişimindedir, ayrıca formaldehit konsantrasyonun 31.5 mg/L'den 125 mg/L'ye çıkarıldığında giderilemeyen formaldehit %40'dan %85'e yükseldiği belirtilmiştir [7]. Anaerobik olarak formaldehit giderme işleminde ise en fazla 1100 mg/L derişimindeki formaldehitin %99'u bertaraf olmaktadır [8]. Bu miktarlar yukarıda bahsi geçen atıksularındaki formaldehit derişimden çok düşük olduğundan biyobozunum yöntemleri elverişli değildir.

Fındık kabuklarının amino grupları ile zenginleştirilmesi ile elde edilen aktif karbon formaldehit gideriminde kullanılmıştır. Aktif karbonun g'ı başına 2 mg formaldehit absorplandığı bildirilmiştir. Bu yöntemde de giderilen formaldehit miktarı çok düşük seviyededir [9].

Ileri oksidasyon prosesleri ile formaldehit gideriminde kullanılan UV/H₂O₂ ve fenton prosesleri ile giderilen formaldehit oranları %78.8 ve %90'dır. H₂O₂, Fe²⁺ ve UV ışınlarının kullanıldığı foto-fenton prosesi 10 g/L derişimindeki formaldehitin %94'ünü bertaraf edilmiştir. Formaldehitin tamamının ancak tekrarlı işlemler ile giderilebileceği için bu yöntemlerin de uygulanması pratik değildir [10].

Masters [11], balık çiftliklerinde üretim havuzu dezenfektan maddesi olarak kullanılan formaldehitin bertarafı için 2 g/L civarındaki giderimin fizikal ve biyolojik arıtma ile verimli olmadığını fakat sodyum sülfit ve ticari detoksifikasyon kimyasalları ile formaldehitin tamamen giderilebileceğini yaptığı çalışmalarla ifade etmiştir. Reçine fabrikası atıksuyunun giderimi için yapılan çalışmada formaldehit ile sodyum sülfitin katılma reaksiyonu sonucunda formaldehit konsantrasyonun 30 ile 40 dakika giderim süresinde 6360 mg/L'den 21 mg/L'ye düşüğü belirtilmiştir [5]. Sodyum sülfit giderim metodu ile yüksek konsantrasyondaki formaldehitin yüksek oranda gideriminin sağlanması yapılan çalışmalarla bu yöntem temel alınmıştır.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Formaldehit giderimi için CH₂(OH)₂ (Formalin, %37 Sigma-Aldrich), Na₂S₂O₅ (Sodyum meta bisülfit) ve Na₂SO₃ (Sodyum sülfit) (%99,5 Merck), NaH₂PO₄ ve Na₂HPO₄ (Sodyum mono ve di bazik fosfat, %99 Sigma-Aldrich) kullanılmıştır. pH değerleri pH metre (HANNA pH-221) ile ölçülmüştür.

2.2. Sodyum Sülfit Metodu ile Formaldehit Tayini

Formaldehitin belirlenmesi için birçok metod bulunmaktadır yüksek hassasiyetle tayin yapılabilen spektrofotometrik analizi için ortamda diğer kimyasalların olması halinde analizde yanlışlara yol açabilmektedir, ayrıca formaldehit rensiz olduğu için renk türevlendirilmesi yapılrken ısı gereken işlemlerdir. Daha hızlı, yüksek hassasiyetli ve detoksifikasiyon sonrasında ortamdaki diğer kimyasalların hataya sebep olmayacağı bir yöntem olan *Sodyum Sülfit Metodu* ile formaldehitin giderim işlemi sonrasında geride kalan miktarları hesaplanmıştır.

Formaldehit ile sodyum sülfitin reaksiyonundan (1) sodyum hidroksit oluşmaktadır ve ayarlanmış seyreltik asit ile timoltaleyin indikatörü varlığında titrasyon işlemi yapılarak ortamdaki formaldehit miktarı bulunmaktadır [12].



2.3. Formaldehit Nötralizasyonu ve Detoksifikasiyonu

Ağırlıkça %37'lik formaldehit çözeltisinden %3.7'lik formaldehit (%10'luk formalin) çözeltisi hazırlanır. %10'luk formalin çözeltisinin pH değeri 5.08 bulunmuştur ve 1 g formaldehit için 0.1 g sodyum mono ve 0.16 g dibazik fosfat tamponlayıcılar eklenliğinde pH 8.29 olmaktadır. Patoloji gibi tıbbi laboratuvarlarda formalin doku fiksatif maddesi olarak kullanıldığı için dokunun aşınmaması ve uzun süreli saklanması bu pH değeri ile sağlanmaktadır. Yapılan giderim çalışmada benzetim hastane atıksuları çalışılmıştır [13,14].

Formaldehit potasyum ve sodyum metabolüsülfit, potasyum ve sodyum sülfit (NaHSO₃) gibi sülfit tuzları ile katılma reaksiyonuna girerek çevre için zararsız ve biyobozunur olan sodyum formaldehit bisülfite, CH₂(NaSO₃)OH, dönüşür [1].



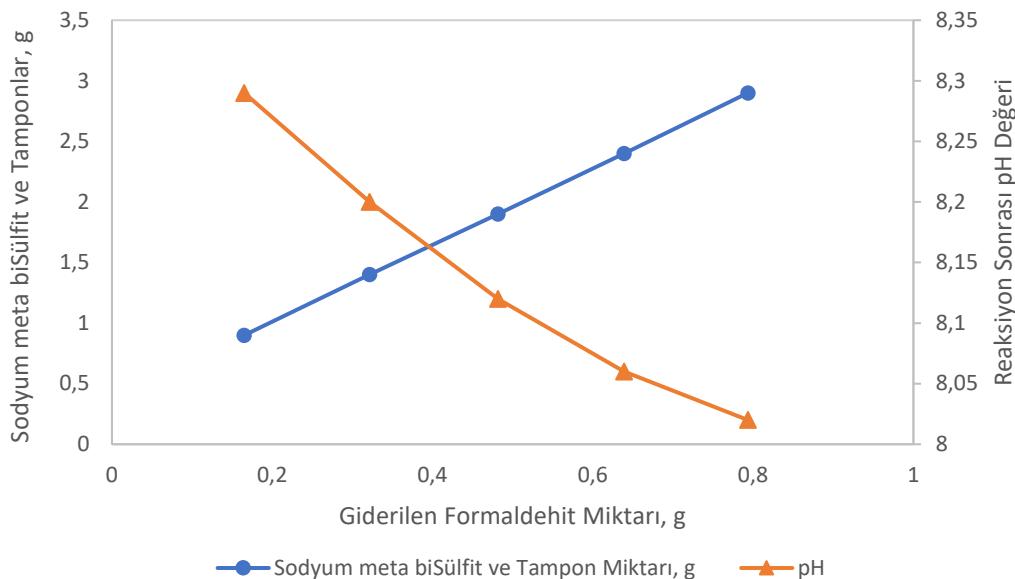
2.4. Detoksifikasiyon Reaksiyonu Koşulları

Yapılan çalışmalarla en uygun reaksiyon koşullarının oda sıcaklığı ve 300 rpm karıştırma hızında gerçekleştiği belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Başlangıç konsantresi bilinen ve tamponlanmış formaldehit çözeltisine $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ belirli oranlarda eklenerek geriye kalan formaldehit miktarı *Sodyum Sülfit Metodu* ile hesaplanmıştır dolayısı ile giderim yüzdeleri belirlenmiştir, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ miktarı artıkça formaldehit gideriminin arttığı ve uygun miktarda eklendiğinde ise formaldehitin tamamen bertaraf edildiği **Şekil.1**'de görülmektedir.

Tamponlanmış formalin pH'ı 8.29 iken giderim sonrasında 8.02 olmuştur fakat nötral hale getirilmesi için yapılan çalışmalarla 5:1 oranında $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5:\text{Na}_2\text{SO}_3$ reaksiyona katıldığında detoksifikasiyon işlemi sonrasında giderilen atıksuyun pH değerini 7.46 seviyesine gerilettiği belirlenmiştir. Bulgular, EPA (ABD Çevre Koruma Kuruluşu)'nın bertaraf edilen formaldehit çözeltisi için belirlediği pH değeri (6-8) sınırlarında bulunmaktadır [6].

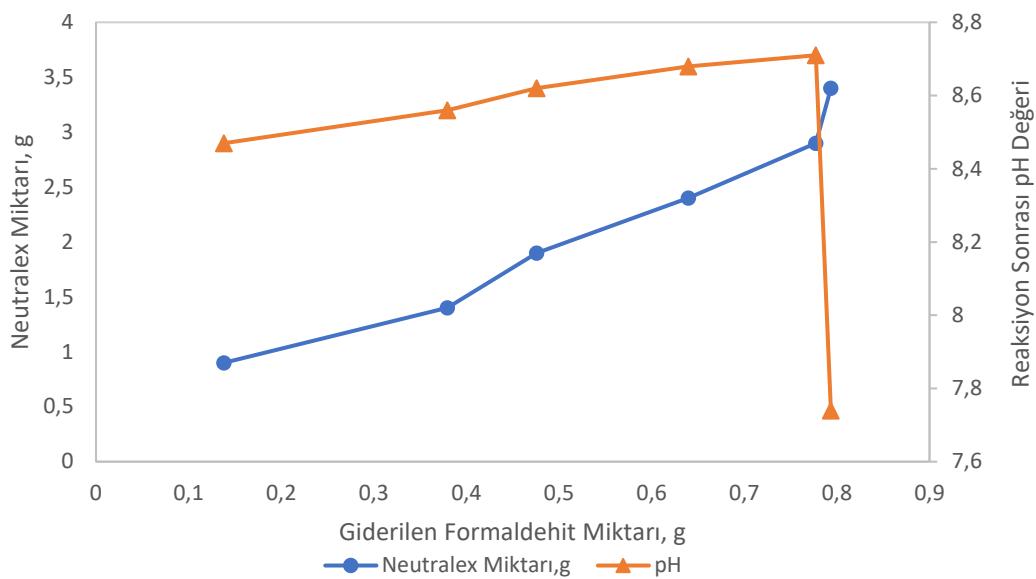


Şekil 1. Tamponlanmış formaldehitin sodyum metabisülfit ile giderimi

Reaksiyonun ilk 20 dakikasında formaldehitin %70'nin, 30 dakika sonunda ise tamamının giderildiği tespit edilmiştir.

Ayrıca formaldehit detoksifikasiyonu için ticari olarak üretilen giderim kimyasalları bulunmaktadır. Bunlardan Neutralex (Scigen Scientific) adlı kimyasal ile yapılan çalışma **Şekil.2**'de verilmiştir. Bertaraf edici kimyasalın miktarı artırıldığında formaldehit gideriminin arttığı ve uygun miktarda eklendiğinde ise formaldehitin tamamen giderildiği görülmektedir.

Patoloji laboratuvarları için 7.6 L'lik % 10'luk formalin çözeltisinin bertarafi için 1.5 kg Neutralex'in kullanılması önerilmiştir [15]. Bu sebeple (her iki çalışmada da) başlangıç formaldehit miktarı 0.7935 g olan 20 ml %10'luk formalin çözeltisine katılan 3.4 g Neutralex 30 dakika sonra formaldehitin tamamını bertaraf etmiştir ve giderilen atıksuyun nötrale yakını (pH 7.74) olduğu bulunmuştur.



Şekil 2. Formaldehitin Neutralex ile giderimi

Ticari kimyasal (Neutralex) ile yapılan giderim çalışmada elde edilen verilerin doğrusallıkta olmadığı görülmektedir bunun sebebi Neutralex birden fazla maddeden oluşmaktadır ve çok küçük tartımlarda, bertaraf edici ve nötral hale getirecek kimyasal karışımının doğru oranda tartılması güçtür. Neutralex'in en küçük paketi 0.75 kg'dır. Dolayısıyla küçük ölçekli yapılan deneylerde pH ve giderim oranında sapmaları olmuştur. Fakat sodyum metabolüsüfit ile yapılan giderim çalışmalarında tamponlayıcı kimyasallar ve giderici kimyasalların ayrı ayrı tartılarak karışım haline getirilmesi sonuçların (Şekil 1.) doğrusal olmasını sağlamıştır.

Ticari kimyasal ile yapılan tekrarlı deneylerde sapmalar olmasına rağmen *Detoksifikasiyon* işlemi ile katılan toplam madde miktarları ve belirlenen giderim oranları (Neutralex);(Na₂S₂O₅ ve Na₂SO₃, detoksifikasiyon tuzları, NaH₂PO₄ ve Na₂HPO₄, tamponlayıcılar) birbirleriyle benzerlik göstermektedir ve her iki yöntem için oda sıcaklığında en az 30 dakika iyice karıştırılması, giderim çalışmalarında etkili olmuştur. Ayrıca giderilen atıksuların pH değerleri nötral olup, formaldehit tamamen çevre ve insan için zararsız forma dönüştürülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Walker, F., *Formaldehyde*, Reinhold Publishing Corp., New York, 1944.
- [2] Australian Government, Department of Health and Ageing, website, (2006), (online), Available: <http://www.nicnas.gov.au>
- [3] Canbilen, A., Sezen, Ş., Avunduk, M.C., Con, N.E., Formaldehit ve toksik etkileri, *Genel Tıp Dergisi*, Sayfa 33-39, 1999;9(1).
- [4] Aydin, S., Başaran, N., Formaldehite maruziyetin toksikolojik açıdan değerlendirilmesi, *Türkiye Klinikleri J Pharm Sci* 2012;1(2): syf 95-100.
- [5] Ahmed, A.EL-M., Conceptual Design approach for treating high strength phenoland formalin wastewater, *IWTC7*, Tanta, 2003.
- [6] Kitchens, J.F., Casner, R.E., Edwards, G.S., Harward W.E., Environmental Protection Agency Office of Toxic Substances, *Formaldehyde*, Washington, 1976.
- [7] Lofty, H.R., Rashed I.G., A Method for treating wastewater containing formaldehyde, *Water Research Jor.*, Vol.36, PP.663-637, Mansoura, 2002.
- [8] Pereira, N.S., Zaiat, M., Degradation of formaldehyde in anaerobic sequencing batch biofilm reactor, *Journal of Hazardous Materials* 163, 777-782,, Sao Paul, 2009.
- [9] Tanada S., Kawasaki N., Nakamura T., Araki M., Isomura M., Removal of formaldehyde by Activated Carbons Containing Amino Groups, *JCIS* 214, 106-108, Osaka, 1999.
- [10] Kajitvichyanukul P., Lu M.C., Liao C.H., Wirojanagud W., Koottatep T., Degradation and detoxification of formaline wastewater by advanced oxidation processes, *Journal of Hazardous Materials* B135, 337-343, Khonkaen, 2006.

- [11] Masters A.L., A Review of methods for detoxification and neutralization of formalin in water, *North American Journal of Aquaculture* 66:325-333, Virginia, 2011.
- [12] ASTM (D2194-02), Standard test method for concentration of formaldehyde solutions, West Conshohocken.
- [13] University of Surrey, *Formalin fixative document*.
- [14] Sigma, Formalin solution, *Product Information*, Missouri.
- [15] Hieb, K.A., Warkentin L., Treatment of laboratory waste formalin solution with Neutralex, *California Fish and Game* 99(2): 110-112; California, 2013.



Investigation of Tribological Properties of Multilayer Coated CoCrMo Alloy

N. Çakır^{1*}, A.K. Aslan², E. Bahçe¹, M.S. Güler³

¹Department of Mechanical Engineering, İnönü University, Malatya, Turkey

²Tunceli Vocational High School, Munzur University, Tunceli, Turkey

³Department of Marine Transportation Management Engineering, Ordu University, Ordu, Turkey

Abstract

CoCrMo alloy is widely used as orthopedic implant material thanks to its properties like high impact and fatigue strength and low fragile stem rates. This alloy has high corrosion strength but low wear strength. When it is used as an artificial joint implant material it subjects to both wear and corrosion because of the aggressive body fluid in terms of corrosion. Therefore, the surface coating process is applied to CoCrMo alloys to improve the corrosion and wear strength together. In this study, in order to improve the tribological properties of CoCrMo alloy's surface was multilayer coated via close field unbalanced magnetron sputtering process. Coating architecture was of Cr/CrN/CrCN/TaN and the number of the layers were four and eight. Pin-on-disk wear test, scratch test, hardness and surface roughness measurements were performed to characterize the tribological properties of the coatings. Results showed that as a result of coating process tribological properties of the alloy was improved significantly. It is observed that with increasing number of layer, wear strength, hardness and surface quality of the samples improved.

Keywords: Biomaterial, CoCrMo alloy, Coating, Phsyhical Vapor Deposition, Thin Film, Tribology

1. GİRİŞ

Diz ve kalça implantlarında sahip oldukları yüksek elastikiyet modülü, yüksek çekme dayanımı, yüksek aşınma ve korozyon dayanımı gibi iyi mekanik özellikleriyle beraber biyoyumlulukları nedeniyle femur bileşenlerinde CoCrMo alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır [1-4]. Ancak bu olumlu özelliklerinin yanısıra; bu alaşımın vucut sıvısı içerisinde korozyon direnci düşük olup aşınmalara maruz kalmaktadır. [5]. Bunun sonucunda da erken revizyon operasyonları yapılmaktadır [6]. Bunu önlemek için alaşım yüzeyi sert seramik filmler ile kaplama çalışmaları yapılmaktadır. Yapılan kapsamlı literatür çalışmalarına bakıldığında;

Qingliang Wang ve arkadaşları CoCrMo altlık üzerine CrN plasma nitrürleme prosesi uygulamışlardır. Çalışmaları sonucunda nitrürlenmiş yüzeylerde sertliğin arttığını ve tibia aşınmasının azaldığını tespit etmişlerdir [7].

C. Balagna ve ark. CoCrMo altlık malzemesini biouyumu, düşük iyon salınızı ve yüksek korozyon direncine sahip Tantalum (Ta) ile kaplamışlardır. Üç ayrı altlık sistemini düşük C içeriğine sahip, yüksek C içeriğine sahip, metalik Ta ile kaplamışlardır. Çalışmaları sonucunda düşük karbon içeriğine sahip çoklu tabakalı kaplamanın çoklu tabakalı yapısı sayesinde en yüksek dayanım değerlerine sahip oldukları sonucuna varmışlardır [8].

Peiyun Yi ve arkadaşları, Ti6Al4V合金ına çoklu tabakalı TiAlN filmi, kapalı alan dengesiz magnettron püskürtme iyon kaplaması yöntemiyle kaplamışlardır. Çalışmaları sonucunda stratch testlerinin sonuçlarına göre çoklu tabakalı kaplamanın altlık mazlemesine iyi adhezyon dayanımı olduğunu tespit etmişlerdir [9].

Yin-Yu Chang ve Chen-Jui Wu, yaptıkları çalışmada TiAlN/ZrN çoklu tabakalı kaplamaların mekanik özellikleri ve darbe dayanımını incelemiştir. Çalışmaları sonucunda çoklu tabakalı kaplamanın tek tabakalı ZrN ve tek tabakalı TiAlN kaplamalardan daha yüksek sertlik değerine sahip olduğunu, çoklu tabakalı kaplamanın yapılan darbe dayanımı testleri sonucunda en yüksek darbe dayanımına sahip olduğunu belirlemiştir [10].

Sung-Hsiu Huang ve arkadaşları katodik ark yığma yöntemiyle kaplanan çoklu tabakalı CrN/ZrN kaplamaların mekanik ve tribolojik özelliklerini inceleyen bir çalışma yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre sertlik ve tribolojik özelliklerin bilayer periyodundan belirgin biçimde etkilendiklerini gözlemlemişlerdir [11].

Bu çalışmada implant metal malzemesi olarak diz ve kalça artroplastisi uygulamalarında ülkemiz implant üreticilerinin de yaygın olarak kullandığı ASTM F-75 CoCrMo合金ı, tribolojik özelliklerinin geliştirilmesinin yerli medikal sanayisine yapacağı katkılar düşünülerek seçilmiştir. Alışının yüzeyi dört ve sekiz tabakalı Cr/(CrN/CrCN)/Ta_N ile kaplanılmış ve kaplamanın alışının tribolojik özelliklerine etkileri incelenmiştir.

2. MATERİAL-METOT

ASTM F-75 CoCrMo合金ının yüzeyinin çoklu tabakalar ile kaplanması sonucu tribolojik ve mekanik özelliklerinin geliştirilmesinin hedeflendiği bu çalışmanın akış şeması Şekil.1'de verilmiştir.



Şekil 1. Deneysel çalışmanın akış şeması

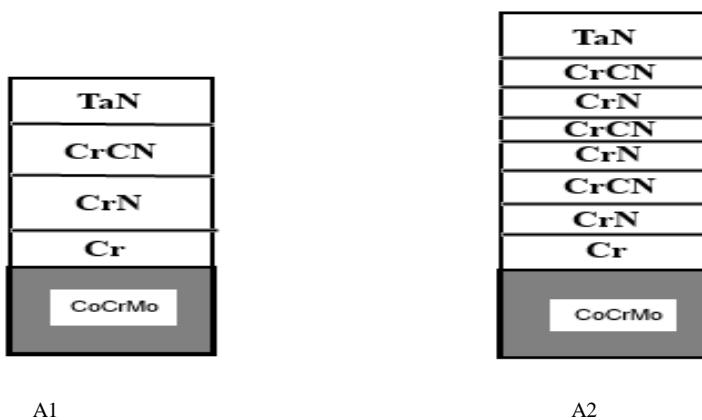
2.1. Materyal

Bu çalışmada diz implantlarında yaygın olarak kullanılan ASTM F-75 CoCrMo alaşımı 20x20 mm boyutlarında kullanılmıştır. Alaşımın tribokorozif, mekanik özelliklerinin geliştirilmesi için yüzeyine çok tabakalı kaplama yapılmıştır. Kaplamalar dört ve sekiz tabakalı olarak uygulanmış olup elde edilen numuneler sırasıyla A1 ve A2 olarak isimlendirilmiştir. Deneylerde kullanılan altlık malzeme mekanik özellikleri Tablo1. 'de verilmiştir.

Tablo 1. Altlık malzemenin mekanik özellikleri

Mekanik Özellik	CoCrMo(F75)
Çekme Dayanımı(MPa)	655
Akma Dayanımı (MPa)	450
Uzama (%)	8
Yorulma Dayanımı(MPa)	310

Yapılan kapsamlı literatür çalışması sonucu CrN/CrCN ara tabaka periyotunun yüzey kaplama uygulamalarında düşük sürtünme katsayıları sağladıkları, iyi adhezyon özelliklerine sahip oldukları, kaplama tabakalarında çatlak ilerlemelerini önleyici rol oynadıkları görülmüş ve bu nedenle kaplama mimarisinde ara tabaka olarak CrN/CrCN bileyeri kullanılması belirlenmiştir [12,13,14]. Yine yapılan çalışmalar incelendiğinde yüksek korozyon direnci, iyi büyouthumlulığı ve yüksek aşınma direncinden kaynaklı harekete ve aşınmaya maruz kalan üst tabakada da TaN tabakası kullanılması belirlenirken, altlık ile kaplama arasında iyi adezyon özelliği gösterdiği için ilk tabaka da Cr ile kaplanması belirlenip kaplama mimarisi oluşturulmuştur [15]. Deneylerde uygulanan kaplama mimarileri aşağıda Şekil 2. ' de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde uygulanan kaplama mimarileri

2.2. Metot

Kaplama bileşenleri kaplama parametreleri belirlendikten sonra CoCrMo alaşımı kaplama işlemine uygun hale getirmek için önce 20x20x2 mm boyutlarında kesilmiş ve her numune metalografik yüzey partatma işlemlerine tabi tutulmuştur. CoCrMo kimyasal bileyiminden kaynaklı çok sert bir alaşım olması nedeni ile zımparalama işlemi 120 SiC zımparadan başlatılmıştır ve daha sonra sırasıyla 240, 400, 600, 1000 ve 1200 mesh SiC ile zımparalanmıştır. Metalografik işlemleri tamamlanan numuneler 15 dakika

ultrasonik banyoda asetonda bekletilmiştir. Sonra bol su ile yıkanmış ve son olarak 10 dakika alkolde bekletilere tüm yüzeyler kaplamaya hazır hale getirilmiştir.

Yüzey kaplama işlemleri Erzurum Atatürk Üniversitesinde bulunan Kapalı Alan Dengesiz Manyetik Alanda Sıçratma (CFUBMS) cihazı (Teer Coatings) ile yapılmıştır. Dört adet hedefi olan cihazın hedeflerinden birisine Ta, birisine Cr yüklenilmiş diğer iki hedef boş bırakılarak kaplamalar gerçekleştirılmıştır. Tablo 2.'de kaplama parametreleri verilmiştir.

Tablo 2. Kaplama parametreleri

Yapılan İşlem	Gerilim (V)	Akım (A)	Süre (dk)	Kaplama Basıncı (P)
İyon Temizleme	-800	4	25	0.33
Cr Ara Tabaka Kaplama	-150	4	3	0.33
CrCN Tabaka Kaplama	-150	4	10	0.33
CrN Tabaka Kaplama	-100	4	10	0.33
TaN Tabaka Kaplama	-100	4	800	0.33

Kaplama işlemleri sonrasındaalsaım yüzeyinin tribolojik özelliklerinin belirlenilmesi için Atatürk Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında bulunan bilgisayar kontrollü Teer POD marka pin-on-disk cihazında aşınma testleri yapılmıştır. Aşınma deneyi 6.25 mm çapındaki alüminya (Al_2O_3) top ile 10 cm/s kayma hızında, 1N'luk yük ile 60 Hertz freksansla gerçekleştirilmiştir. Yine Atatürk Üniversitesi laboratuvarında bulunan (Revetest micro scratch) çizik testi cihazı kullanılarak kaplamaların adezif özelliklerinin belirlenilmiştir. Çizik deneyleri numune cihaz üzerine sabitlendikten sonra 228 μm çapında Rockwell-C elmas batiçıcı ucuna 0.2 N ile başlanıp 10 mm/dak. kayma ilerleme hızında, 10 N/s artış oranında lineer olarak artan kuvvet uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda kaplamaların mikrosertlik ölçümleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri de yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Diz implantlarında kullanım ömrlerinin ve revize dönemlerinin uzun olabilmesi, insan vücutunda doku reaksiyonlarının minimum seviyelere çekilmesi, enfeksiyonel ve alerjik durumların oluşmaması için; implant malzemelerinin düşük sürtünme katsayıları, daha yüksek aşınma dirençlerine sahip olması, özellikle yüksek korozyon dayanımı ve buna bağlı olarak düşük metal iyon salınımı sağlamaları beklenmektedir. Bu çalışmada da; arzu edilen korozyon dayanımının ve aşınma direncinin eldesi ve metal iyonizasyon seviyelerinin indirgenmesi amacıyla ASTM-F 75 alaşımının yüzeyinin değişen tabaka sayısı ile başarılı bir şekilde kaplanmıştır. Kaplamanın analiz sonuçları aşağıda başlıklar şeklinde verilmiştir.

3.1. Aşınma Deneyi Sonuçları

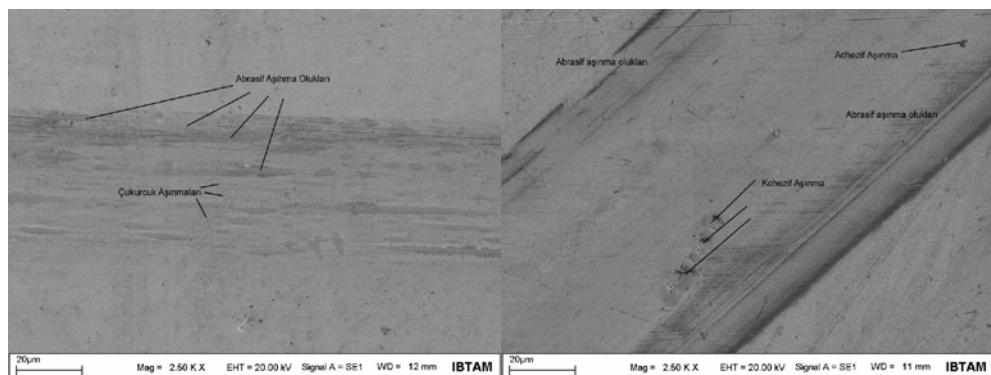
Pin on disk aşınma deneyleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayıları değerleri tablo 3. de verilmiştir.

Tablo 3. Aşınma deneyleri sonucu elde edilen sürtünme katsayıları değerleri

Numune	A1	A2
Sürtünme Katsayısı	0.145	0.143

Aşınma deney sonuçları kontrol edildiğinde sekiz tabakalı yapılan kaplama yüzeylerinin sürtünme katsayısı dört tabakalı kaplamanın sürtünme katsayılarından daha düşük değerde olduğu görülmüştür.

Aşınma hatları üzerinde alınan SEM görüntülerini incelendiğinde aşınmaların genellikle abrasif karakterde olduğu bunula beraber yer yer adezif ve kohezif aşınma türlerinin olduğu gözlemlenmiştir. Aşağıda Şekil 3.a. 'da A1 numunesinin, 3.b 'de ise A2 numunesinin aşınma izlerinden alınmış SEM görüntülerini verilmiştir.

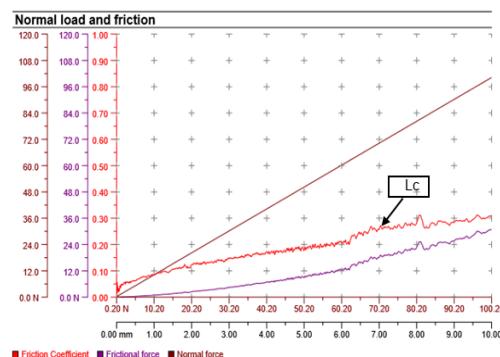


Şekil 3. Aşınma hattında alınan SEM görüntülerı.

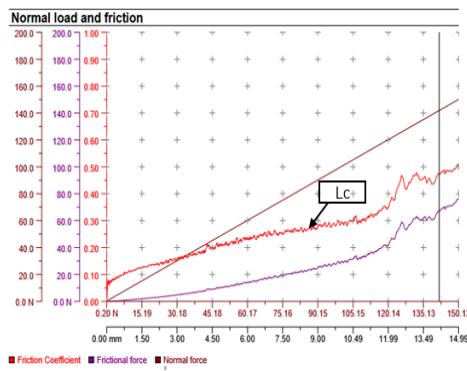
3.2. Çizik Deneyi Sonuçları

Altlık malzeme üzerine yapılan ince film kaplamanın ömrü ve dayanıklığı filmin adezyonuna bağlıdır. Film altlık üzerine ne kadar iyi adezyon sağlarsa hasara uğraması o kadar azalacak ve taban malzemesinin aşınmasında o kadar azalacaktır. Bu nedenle sert kaplamaların başarısının en önemli ölçütlerinden birisi olarak yorumlanabilir.

Bu deneye numunelere 0,2 N ve 140 N aralığında yüklemeler uygulanmış olup altlık ile kaplama bileşeninin ilk ayrıldığı yani kritik yük(L_c) değerleri belirlenmiştir. A1 numunesi için belirlenen kritik yük değerleri şekil 4. de, A2 için belirlenen değerler ise Şekil 5.'de verilmiştir.

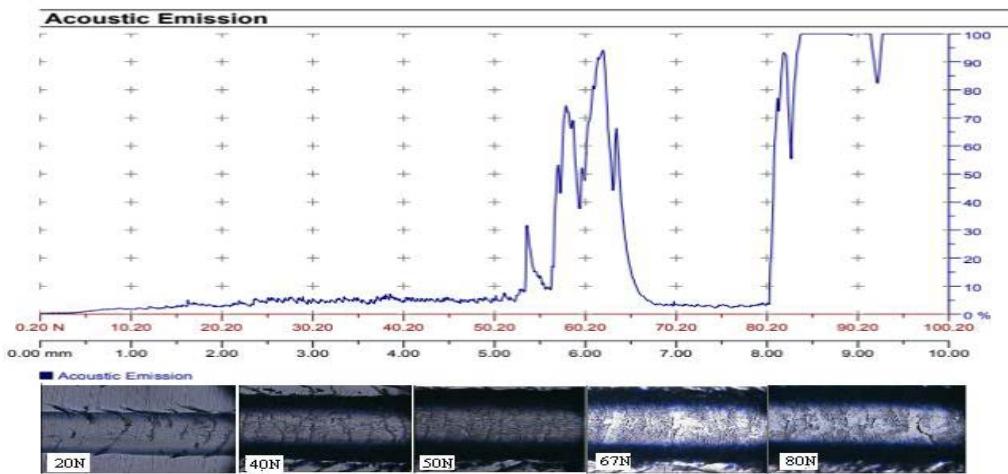


Şekil 4. A1 için kritik yük grafiği



Şekil 5. A2 için kritik yük grafiği

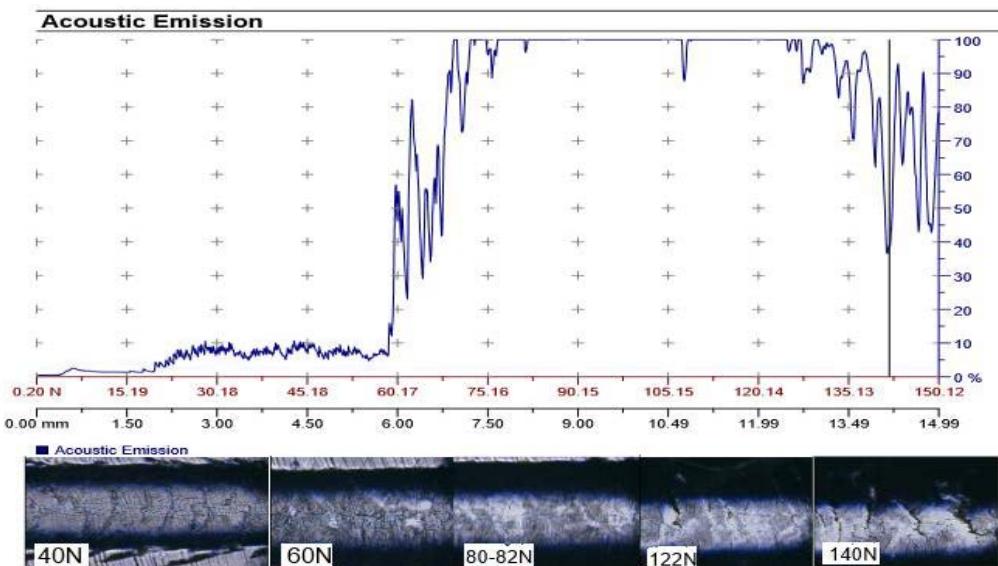
Dört tabaklı A2 numunesinin çizik deneyinde, 0,2 N'dan başlatılan yükleme 100 N'a kadar yükseltilmiştir. 70 N yüklemeye kadar numune üzerinde küçük çatıklar oluşmuş ve hatalar çizik hattı içerisinde kalmıştır. Yüklemenin artması ile çizik hattı üzerinde kaplamaların kopmaya başladığı yani kohezif ayrılmaların meydana geldiği gözlemlenmiştir. 70 N yüklemeden sonra taban malzemesi ile kaplama malzemesi ayrılmaya başladığı için bu yükleme değeri A1 için kritik yükleme olarak belirlenmiştir. Yüklemeler devam ettiğinde artık hatalar ve çatıkların ilerlediği ve kaplamaların altlık yüzeyinden kopmaya başladığı yani aşınmanın adezif biçimde olduğu görülmüştür. Yükleme 80 N olduğunda ise artık altlık ile kaplamadan tamamen ayrıldığı gözlemlenmiştir. A1 deneyinde artan yüklemeler sonucu oluşan çizik SEM görüntülerini Şekil 6.'da verilmiştir.



Şekil 6. A1 numunesi yükleme çizik görüntüleri

Sekiz tabaklı kaplamaya sahip olan A2 numunesinin çizik deneyinde, 0,2 N –80 N aralığında uygulanan yüklemelerde kaplamadan yüklemeye karşı direnç gösterdiği adezyonun devam ettiği görülmüştür. 80 N yüklemeye kadar oluşan hatalar çatıklar ve kopmalar çizik hattı boyunca kaplama içinde olmuştur. Fakat daha fazla uygulanan yüklemelerde ise yavaş yavaş kaplamadan altlık yüzeyinden ayrılmaya başladığı adezyon direncinin düşüğü görülmüştür. A2 numunesi için 80 N yükleme kritik yükleme olarak

belirlenmiştir. Kaplamaya uygulanan 140 N' luk yüklemede ise artık kaplama tabakasının tamamen ayrıldığı ve çizliğin altlık numuneye ulaşığı görülmüştür. A2 deneyi için alınan SEM görüntülerini Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. A2 numunesi yükleme çizik görüntüleri

3.3. Yüzey Pürüzlülüğü ve MikroSertlik Sonuçları

Sertlik değerleri Knoop elmas piramit uç ile 25 gf'lik bir statik yükleme yapılarak ölçülmüştür. Her numune için 5 ölçüm yapılip aritmetik ortalaması alınarak sonuçlar bulunmuştur. Elde edilen sertlik değerleri Tablo 4. 'de verilmiştir.

Tablo 4. Deneylerde elde edilen mikrosertlik değerleri

Numune	Kaplanmamış CoCrMo	A1	A2
Mikrosertlik Değeri (GPa)	8.31	34	60

Kaplanmamış CoCrMo alaşımının sertlik değeri 8.31 GPa iken dört tabaklı kaplama yapılması ile 34 GPa sertlik değeri elde edilmiştir. Sekiz tabaklı kaplama yapıldığında ise bu değer daha fazla artarak 60 GPa olarak ölçülmüştür. CoCrMo alaşımına kaplama yapılması ile sertlik değerinin artırıldığı buna paralel olarak kaplama sayısının da artırılması ile de daha yüksek sertlik değerleri elde edildiği görülmüştür. Kaplama yapılması, kaplama sayısının artırmasına ek olarak kaplama bileşenleride bu sertlik değerlerinin artmasında etkili olmuştur.

Yüzey pürüzlülük testi ise 0.8 mm uzunluğunda kısa adımlar seçilerek herbir numunededen 4 adet ölçüm yapılip ortalaması alınmıştır. Hesaplanan yüzey pürüzlülük değerleri Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. Yüzey pürüzlülüğü değerleri

Numune	CoCrMo	A2	A3
Yüzey Pürüzlülüğü Ra (μm)	0.065	0.025	0.020

Dört tabakalı kaplamalı A1 numunesi yüzeyi için ortalama Ra değeri $0.025\mu\text{m}$ hesaplanmıştır. Sekiz tabakalı kaplama yapılan A2 numunesi yüzeyinde ise bu değer $0.020\mu\text{m}$ olarak ölçülmüştür. Bu değere bakıldığı zaman kaplamasız yüzeylerin pürüzlülük oranı kaplama yapılan numunelere göre çok daha yüksek olduğu ve yüzeylerin istenilen pürüzlülük değerine sahip olmadığını göstermektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada implant malzemesi olarak kullanılan CoCrMo altlık malzeme üzerine fiziksel buhar biriktirme yöntemlerinden (FBB) kapalı alanda dengesiz manyetik sıçratma tekniği ile Cr/CrN/CrCN/TaN ince film kaplamaları farklı tabaka sayılarında çoklu tabakalı olarak başarıyla biriktirilmiştir. Yapılan kaplamaların karakterizasyon ve mekanik testleri sonuçları incelenildiğinde kaplama yapılmış yüzeylerin mikrosertlik değerleri, sürtünme katsayıları, yüzey pürüzlülük ve adezyon değerlerinde kaplama yapılmamış yüzeye oranla ciddi oranda iyileşme yapıldığı gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan anlaşımının çoklu tabakalı kaplanmasıının anlaşımın tribolojik ve mekanik özelliklerini geliştirdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, tabaka sayısının dörtten sekize çıkarıldığında ise daha iyi tribolojik özellikler elde edildiği görülmüştür. Yapılan kaplamaların korozyon direncinin belirlenebilmesi amacıyla simüle vücut sıvısı içinde korozyon deneylerinin yapılmasının faydalı olacağının düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı İBAP ID975 numaralı proje kapsamında destekleyen İnönü Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Birimine teşekkür ederiz. Ayrıca yüzey kaplama işlemlerinin gerçekleştirilmesinde laboratuarlarını açarak bizlere yardımcı olan Prof. Dr. İhsan Efeoğluna teşekkürlerimizi sunarız.

REFERANSLAR

- [1] M. Geetha, A.K. Singh, R. Asokamani, A.K. Gogia, “Ti based biomaterials, the ultimate choice for orthopaedic implants – A review”, *Progress in Materials Science*, Vol. 54, pp. 397–425, 2009
- [2] Q. Chen, P. Chen, X. Pang, Y. Hu, Y. Zhang, “Adrenomedullin Up-regulates the Expression of Vascular Endothelial Growth Factor in Epithelial Ovarian Carcinoma Cells via JNK/AP-1 Pathway”, *Int J Gynecol Cancer*, Vol. 25, pp. 1-6, July 2015
- [3] R. Agarwal, A. J. García, “Biomaterial strategies for engineering implants for enhanced 2 osseointegration and bone repair”, *Advanced Drug Delivery Reviews*, Vol. 94, pp. 53-62, November 2015
- [4] Ş.Y.Güven, “Biyouyumluluk ve biyomalzemelerin seçimi”, *Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, Vol. 2(3), pp. 303-311, 2014
- [5] V. Martinez-Nogues, J.M.Nesbitt, R.J.K.Wood, R.B.Cook, “Nano-scale wear characterization of CoCrMo biomedical alloys”, *Tribology International*, Vol. 93, pp. 563-572, January 2016
- [6] J. Lützner, A. Hartmann, G. Dinnebier, P. Spornraft-Ragaller, C. Hamann, S. Kirschner, “Metal hypersensitivity and metal ion levels in patients with coated or uncoated total knee arthroplasty: a randomised controlled study “, *International Orthopaedics (SICOT)*, DOI 10.1007/s00264-013-2010-6
- [7] Q. Wang, L.Zhang, J. Dong, “Effects of Plasma Nitriding on Microstructure and Tribological Properties of CoCrMo Alloy Implant Materials”, *Journal of Bionic Engineering*, Vol. 7, pp. 337-344
- [8] C. Balagna, M.G. Faga, S. Spriano, “Tantalum-based multilayer coating on cobalt alloys in total hip and knee replacement”, *Materials Science and Engineering C*, Vol. 32, pp. 887-895, February 2012

- [9] P. Yi, L. Peng, J. Huang, "Multilayered TiAlN films on Ti6Al4V alloy for biomedical applications by closed field unbalanced magnetron sputter ion plating process", Materials Science and Engineering C, Vol. 59, pp. 669-676, October 2016
- [10] Y.Y. Chang, C.J. Wu, "Mechanical properties and impact resistance of multilayered TiAlN/ZrN coatings", Surface & Coatings Technology, Vol. 231, pp. 62-66, March 2012
- [11] S.H. Huang, S.F. Chen, Y.C. Kuo, C.J. Wang, J.W. Lee, Y.C. Chan, "Mechanical and tribological properties evaluation of cathodic arc deposited CrN/ZrN multilayer coatings", Surface & Coatings Technology, Vol. 206, pp. 1744-1752, October 2011
- [12] H. Freller, H.P. Lorenz, P. Schack, 1992. "Deposition of ternary hard compounds with a graded composition by the use of a hybrid source ion-plating technique", Surface and Coatings Technology, 54/55 (1992) 148-153
- [13] W. Tuszyński, M. Szczerek, R. Michalczeuski, Investigation of Antiwear Coatings Deposited by the PVD Process", Lubrication Science, 10:1 (2003) 1-18
- [14] R. Michalczewski, W. Piekoszewski, M. Szczerek, T. Waldemar, PVD coatings and environmentally friendly lubricants in highly-loaded contacts, Tribologia – Finnish J. Tribology, 23 (2004) 3-12
- [15] V.K. Balla, S. Bose, N.M. Davies, A. Bandyopadhyay, Tantalum- A bioactive metal for implants, JOM, 62:7 (2010) 61-64



A Different Approach for Manufacturing of Bevel Gears with End Mill on CNC Milling Machine

C. Özal^{1*}, E. Bahçe², D. Karman³

¹Department of Mechanical Engineering, Fırat University, Elazığ, State, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

Abstract

In this study, a different approach and a new model are presented for manufacturing of the bevel gears that were in need of industry on CNC milling machines with the end mill. In the paper, conventional manufacturing methods of the bevel gears, manufacture with the end mill cutter on CNC machine and manufacturing methods according to the new model were explained, respectively. Then, the differences between the presented model and the previous model were shown. As a result of this study, tool paths were presented for manufacturing the bevel gears on CNC milling machine according to this new model approach, and a general evaluation about this approach was presented.

Keywords: Bevel gear manufacturing, bevel gear model, CNC milling machines, end Mill

1. GİRİŞ

Konik dişliler endüstride güç ve hareket iletiminde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Diğer dişlilerin üretiminde olduğu gibi bu dişlilerin üretiminde de özel kesici ve özel amaçlı dişli kesme tezgahlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dişli kesme tezgahlarının da küçük işletmelerde bulunmayışı, bu işletmelerde konik dişlilerin üretiminde önemli sıkıntılara sebep olmaktadır.

Ancak son yıllarda, konik dişlilerin imalatına yönelik araştırmalar; piyasalarda mevcut konik dişli imal eden sistemler ve makinaların karşılaştırmaları gözden geçirilmiş olup, bu makinaların herhangi birinde değişik tiplerde dişli açmanın mümkün olup olmadığı tartışılmış ve yine bu makinaların diş kesme karakteristikleri karşılaştırılmıştır [1]. Dişli imalatçıları tarafından yapılmakta olan hataların, tespit tekniklerinin bir kaçıyla konik dişli imalatında karşılaşılan problemlerin pek çoğu tartışılmıştır [2]. Spiral ve hypoid konik dişli açmak için kullanılan universal bir freze tezgahı için, teknolojik olarak yeni bir dizayn prensibi anlatılmıştır. Bunların dışında, bilinen diş oluşturma ve taşlama prensipleri ile dişli konstrüksiyonu, tamamen yeni bir tarzda gözden geçirilmiştir. Uygulanan bu yeni usulün eski yöntemle göre büyük ölçüde basit olduğu gösterilerek spiral ve hypoid dişli imal etmek için, bu makinede bilgisayar programı kullanılmışlardır [3]. Çok sayıda kesme ağızlarına sahip özel bir çaklı vasıtasi ile açılıp taşlanarak üretilen bir yüzeydeki, nümerik modelleme işlemi için bir algoritma geliştirmişler ve bu algoritmayı konik düz dişli imalatı için denemişlerdir [4]. Düz ve spiral konik dişlilerin, kremayer plan dişlisi üzerinde, konik dişli taslağındaki bir dişin yuvarlanması gösterilerek, bu işlemlerinin modellenmesi yapılmıştır [5]. Konik dişlilerin katı modellemesi yapılmış ve modellenmiş olan dişlinin volümétrik özellikleri gösterilmiştir [6]. İlerletilmiş bir optimizasyon metodu ile düz konik dişli çiftine ait, çok yönlü bir algoritma anlatılmıştır. Bu algoritma dişli yapısı ile uyum içinde kullanılarak, konik dişlinin parametrik çizimi U.S-Made Autocad Autoplotting programı ile yapılmıştır [7]. Dişli hobbingleme işlemi ile düz ve helisel konik dişlilerin üretimi için özel ekipmanlar ile lüzumlu olan parçaların temel metotları ve teknikleri genel olarak tartışılmıştır [8].

* Corresponding author. Tel.: +90 537-344-3823

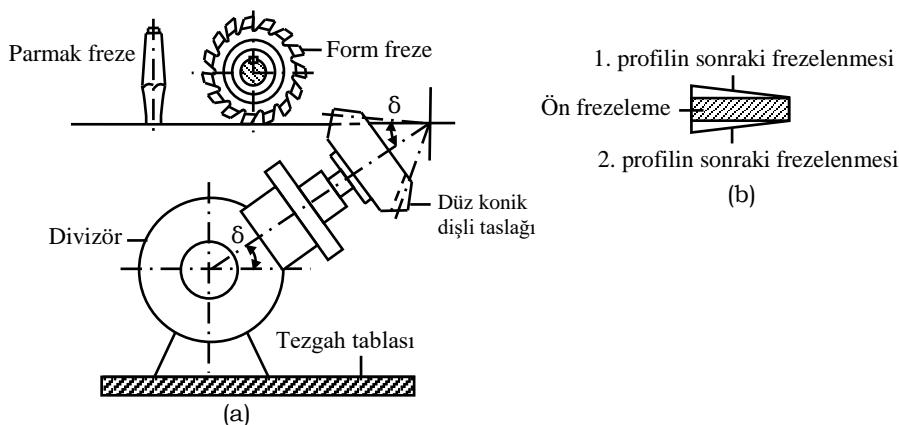
E-mail address: cozel@firat.edu.tr (C. Özal).

Konik dişli imalatındaki mevcut uygulamalar hakkında bilgi verilerek, hypoid dişlilerin oluşturulması işlemleri anlatılmıştır [9]. Çeşitli üretim tarzlarında diş kesme operasyonlarının istatistikî planı araştırılmıştır [10]. Diş kesme kafalarının geometrik parametreleri hesaplanmış ve diş kesme kafalarındaki kesici sayılarının belirlenmesine ait tavsiyeler anlatılmıştır [11]. Sirküler Broşlama ile düz konik dişlilerin imalatının en verimsiz metot olduğu gösterilmiştir. Düz konik dişlilerin imalatında sirküler broşlamadan uygulamaya geçirilmesi için, Seratov SKBZS dizayn ofisi tarafından sirküler broşlamaları dizayn etmek için bir hesaplama işlemi tasarlanmıştır. Bu işlem, uygulamada doğru sonucu vermiş ve elde edilmiş olan imalat parametreleri mevcut uygulamadaki imalattan çok daha doğru imalatı mümkün kılmıştır [12]. Düz konik dişlilerin modellenmesinde gerçek küre evolventinin geometrisi üzerinde çalışma yapmışlar ve yapılan bu çalışmayı daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırmışlardır [13]. Uzayda çalışma teorisine dayanarak evolvent olmayan yeni özel tip bir konik dişlilerin kesişmeyen eksenler arasındaki temas geçişini incelemiştir ve bunların simülasyonları üzerinde çalışılmıştır [14]. Düz konik evolvent dişlilerin analitik geometrisi üzerinde çalışılarak konik diş yüzeyi için parametrik denklemler türetilmiştir. Ayrıca bu kapsamda sertlik ve pürüzlülük gibi yüzey özellikleri de incelenmiştir [15]. Özel, C. Tredgold yaklaşımına göre düz konik dişlilerin CNC freze tezgahlarında parmak frezyle üretimi için iki farklı yöntem sunmuştur [16]. Düz dişlilerin CNC frezede taşınma olanakları üzerine de bir çalışma yapılmıştır [17]. Özel, C. ve diğerleri, düz konik dişlilerin geleneksel imalat yöntemlerinden farklı olarak Tredgold yaklaşımını dikkate alınarak CNC freze tezgahlarında parmak freze ile imalatını, diş yüzeyinin pürüzlülüğünü, diş kesme hatasını ve diş boyutlarının ölçümlerini yapmışlardır [18]. Başka bir çalışmada düz dişlilerin CNC freze tezgahlarında üretim süreleri ve diş profillerinin kesilme hataları araştırılmıştır [19-20]. Özel, C. ve Ortaç, Y., CNC freze tezgahlarında imal edilen sikloidal dişlilerin tasarım parametrelerinin, diş profillerinin kesilme hataları üzerine etkilerini araştırmışlardır [21]. Ayrıca yazarın başka bir çalışmasında yağ pompalarında kullanılan sikloidal dişlilerin CNC freze tezgahlarında üretimine yönelik bir araştırma da yapılmıştır [22].

Yukarıda yapılan çalışmalar incelendiğinde, düz konik dişlilerin diş profillerinin doğru bir şekilde oluşturulmasının çok önemli bir problem teşkil ettiği ve bu sebeple mevcut konik dişli imal eden sistemlerin iyileştirilmesi için çeşitli teorik ve pratik araştırmaların devam ettiği görülmektedir. Bu araştırmada, son yıllarda çok eksenli ve sayısal denetimli freze tezgahlarının yaygınlaşması göz önünde bulundurularak, düz konik dişlilerin hassas olarak işlenebilmesi için bu tezgahlardan yararlanabilme olanaklarının incelenmesi amaçlanmıştır.

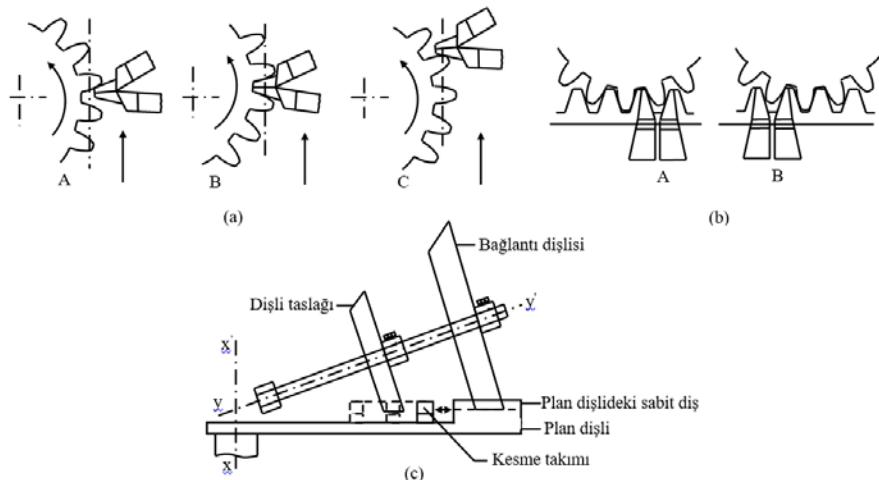
2. GELENEKSEL DÜZ KONİK DİŞLİ AÇMA YÖNTEMLERİ

İmalat atölyelerinde düz konik dişliler, form freze, yuvarlanma, kopyalama ve boşaltma (tiğ çekme) gibi çeşitli diş kesme yöntemleri kullanılarak üretilirler. Tüm bu yöntemlere göre dişli taslağının bağlanma şekli ve üretim prensipleri sırasıyla aşağıdaki gibidir (Şekil. 1-4) [16]. Form freze ile dişli kesme, silindirik dişlilerde kullanılan yöntemin bir benzeridir. Burada dişler, kesme kısımlarının şekli dişler arası boşluğun şekline benzeyen bir disk (modül freze) veya parmak freze ile açılır. Dişli taslağı universal frezeye divizör aparatı ile bağlanır (Şekil. 1a-b).



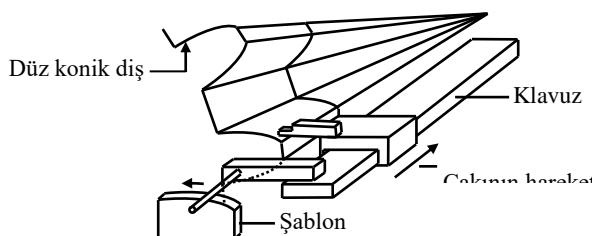
Şekil 1. Form freze ile düz konik dişli imalatı

Yuvarlanma metodunda kesilmesi istenen düz konik dişli, sanki sanal bir taç dişlisi üzerinde çalışıyormuş gibi düşünülp, kesicinin (veya kesicilerin) kesme ağızı bu taç dişlinin yüzeyleri üzerinde hareket ettirilir. Bu sanal dişli ve açılmakta olan dişlinin birbirine göre bağıl hareketleri sırasında kesici, her pozisyon için sanal dişlinin diş boyunca hareket eder ve öbür dişlinin dişini kesmiş olur (Şekil. 2a-c).



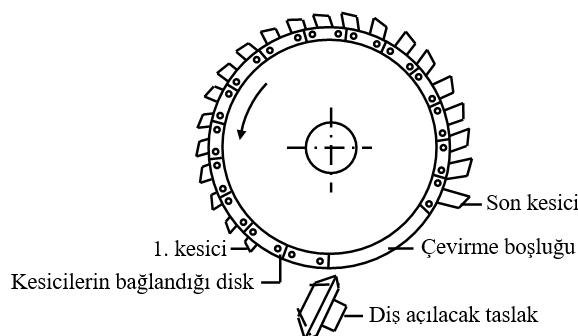
Şekil 2. Yuvarlanma yöntemiyle düz konik dişli açma usulleri

Kopyalama yöntemi eski olmakla beraber küçük imalat atölyelerinde basit olduğundan kullanılmaktadır. Bu şekilde açılacak olan dişlinin, önceden diş profiliin büyükçe bir şablonu hazırlanır. İş parçası tezgahın bölme aparatına bağlanır. Kesici bağlı olduğu kısında, şablon doğrultusunda ileri-geri hareket edebilir (Şekil. 3).



Şekil 3. Kopyalama yöntemi ile konik dişli imalatı

Boşaltma usulü, tıg çekme, broşlama veya evolvent profilli freze çakları ile konik dişli imalatı da denilmektedir. Diğer metodlardan farklı olarak, düz konik diş özel diş profilleri verilmiş kesiciler vasıtasyyla açılır. Bu usul parça sayısı çok fazla olduğu zaman uygulanır. Silindirik bir diskin etrafına çok sayıda kesici ağız yerleştirilmiş, bir sonraki kesici bir önceki kesici kadar talaş kaldırabilecek yüksekliktedir (Şekil. 4).



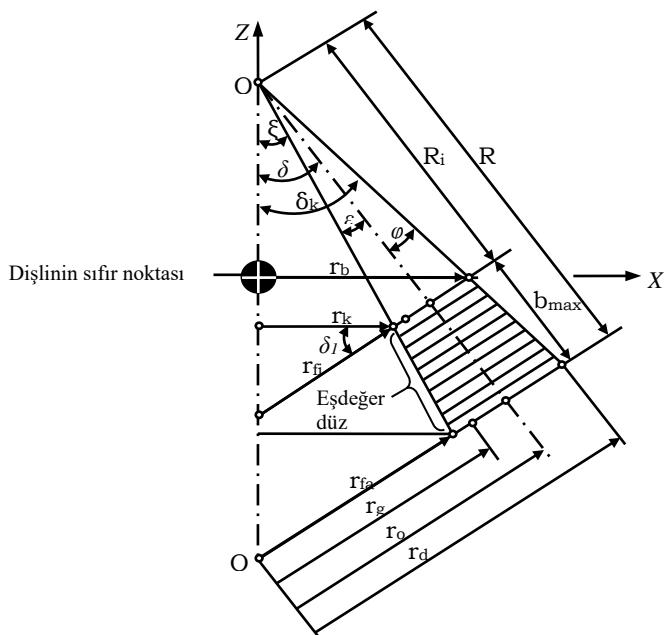
Şekil 4. Boşaltma usulü ile düz konik dişli imalatı

3. DÜZ KONİK DIŞLILERİ CNC FREZEDE KESMEK İÇİN UYGUN YÖNTEMLERİN BELİRLENMESİ

CNC tezgahlarının endüstride yaygınlaşmasına paralel olarak küçük işletmelerde de çok çeşitli ve karmaşık yüzeyler işlenebilmektedir. Yukarıda geleneksel yöntemler incelendiğinde, bu dişlileri açmak için özel kesiciler ve tezgahların

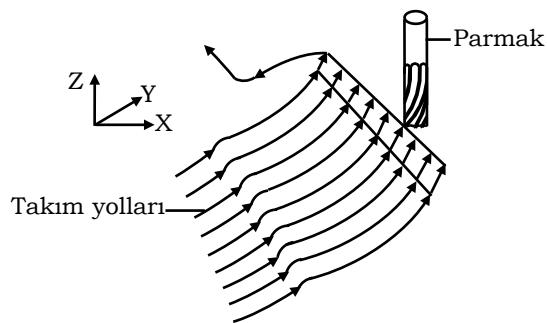
kullanıldığı görülmektedir (Şekil 1-4). Oysa bu dilişler genel amaçlı CNC freze tezgahlarında klasik yöntemlerdeki zorluklar ortadan kaldırılarak işlenebilirler. Bu düşünmeye paralel olarak bundan önceki bir çalışmada, düz konik dişiler CNC freze tezgahlarında parmak freze ile imal dılmıştır. Önceki çalışmada, düz konik dişli ilk önce Tredgol yaklaşımıyla modellenmiş ve daha sonra da bu yaklaşım metoduna göre takım yolu denklemleri türetilmiş ve imal edilmiştir. Bu yaklaşımı göre tamamlayıcı koni denilen koninin O1 tepe noktası esas alınmış ve eşdeğer düz dişiler elde edilmiştir (Şekil 5) [18].

Şekil 5 de işaret edilen eşdeğer düz dişli, bir konik diş üzerindeki herhangi bir noktaya karşılık gelen eşdeğer düz dişliyi göstermektedir. Burada, rfa düz konik diş üzerindeki en büyük eşdeğer düz dişinin diş dibi çapını ve rfi de en küçük eşdeğer düz dişinin diş dibi çapını göstermektedir. rga, roa ve rda değerleri ise düz konik dişli üzerindeki en büyük eşdeğer düz dişinin sırasıyla temel dairesi, bölüm dairesi ve diş üstü yarı çaplarıdır. rk ve rb yarı çapları da sırasıyla, rfi ve rdi uzunluklarının X-Y düzlemindeki izdüşümleridir. Burada δ_k açısı düz konik dişli taslağının diş üstünden geçen koni açısı, ξ açısı diş dibinden geçen koni açısı, δ_1 açısı bölüm dairesinden geçen koni açısı, ε diş dibiyle bölüm dairesi arasındaki açı, ϕ bölüm dairesi ile diş üstü rasındaki açı, Ri bölüm dairesinden geçen iç koninin ve Ra da bölüm dairesinden geçen dış koninin uzunluklarıdır (Şekil. 5).



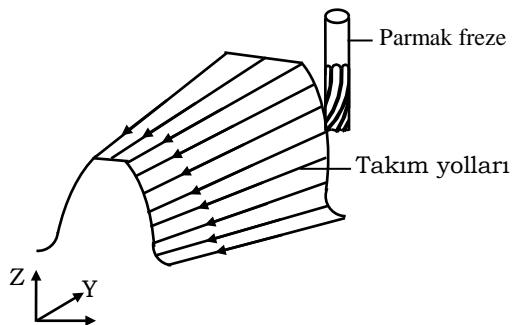
Şekil. 5. Tredgold yaklaşımı ile düz konik dişlinin modellenmesi (karşidan görünüş)

b_{\max} ise düz konik dişlinin diş boyu uzunluğudur. Yukarıda sunulan modele göre düz konik dişli parmak freze çakisı ile işlenirken çakının takım yolu hareketleri de aşağıdaki gibi oluşturulmuştur (Şekil. 6) [18].



Şekil. 6. Tredgold yaklaşımına göre düz konik dişlinin CNC frezede radyal olarak işlenmesi

Diğer bir çalışmada, düz konik dişlerin Tredgold yaklaşımına göre eksenel olarak aşağıdaki gibi işlenebileceği de belirtilmiştir. Bu şekilde bir işlemde bir divizör aparatına ihtiyaç duyulacağı da belirtilmiştir (Şekil. 7) [16].

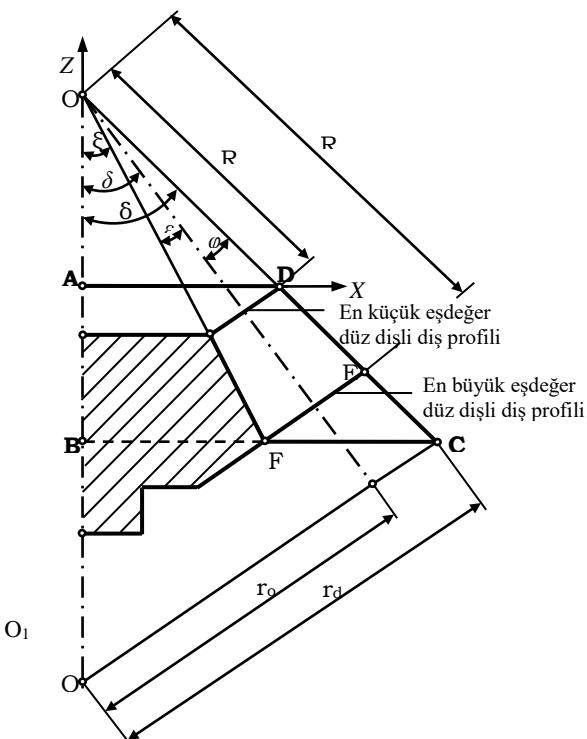


Şekil. 7. Düz konik dişlinin CNC frezede eksenel işlenmesi

Bu yöntemler incelediğinde, her iki yöntemde de düz konik dişliyi üretmek için parmak frezenin hareketleri üç eksen (X-Z) üzerinde aynı anda gerçekleştirilmüştür.

3.1. Düz Konik Dişlileri CNC Frezede Kesmek İçin Yeni Bir Yaklaşım

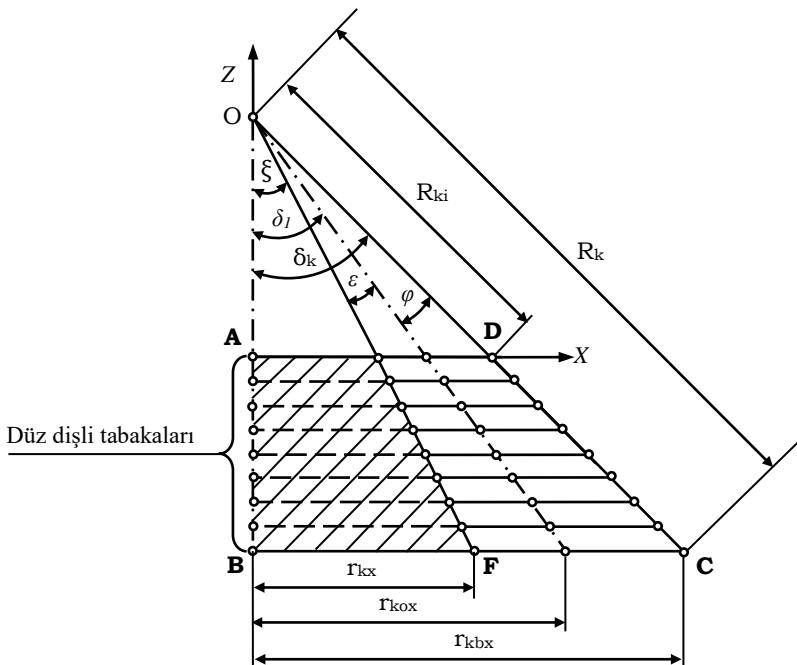
Yukarıdaki üretim yöntemlerinde düz konik dişliler Tredgold yaklaşımı dikkate alınarak modellenmiş veya imal edilmişlerdir. Bu çalışmada ise, düz konik dişliyi modellemek için önceki çalışmada Tredgold yaklaşımına göre bir diş üzerinde oluşturulan eşdeğer düz dişlilerin (Şekil 6 ve 5), X-Y düzleme göre iz düşümlerinin alınarak modellenmesi düşünülebilir. Bu şekilde bir modelleme için ilk önce, düz konik dişli üzerindeki en küçük eşdeğer düz dişlinin diş üstü çapının X-Y düzleme göre iz düşüm uzunluğu (AD) alınabilir. Daha sonra, en büyük eşdeğer düz dişlinin diş dibinden geçen doğrunun (BC) koni yanal yüzey uzantısını (EC) kestiği nokta (C) belirlenebilir ve kesik bir koni (ABCD-koni yarı parçası) oluşturulabilir (Şekil. 8).



Şekil. 8. Yeni yaklaşıma göre kesik konik oluşumu

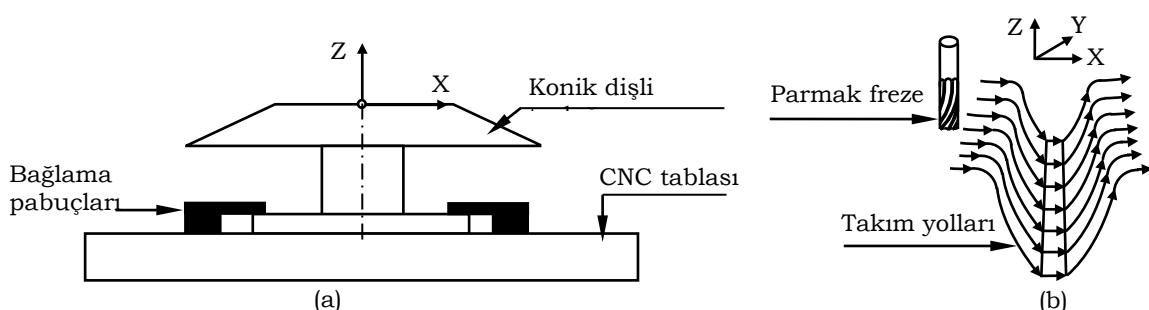
Yukarıda oluşturulan kesik koni üzerindeki ξ , δ_1 , δ_k , ε ve φ açısal büyütükler, önceki çalışmada kullanılan düz konik dişli üzerindeki açısal büyütüklerle aynı alındı ve düz konik dişliyi oluşturmak için aşağıdaki model oluşturulabilir (Şekil 9). Bu yaklaşımda dişlinin diş boyu uzunlığında EC uzunluğundan dolayı bir uzama olmaktadır. Bu konik dişli taslağı

üzerindeki dişler ise, X-Y düzlemine iz düşürülen düz dişlerin Z eksenine boyunca tabakalar halinde oluşumu ile gerçekleştirilebilir (Şekil. 9).



Şekil. 9. Z eksenine boyunca düz dişli tabakalarının oluşumu

Burada r_k , r_{ko} ve r_{kb} sırasıyla kesik koninin taban uzunluğuna karşılık gelen veya iz düşürülen düz dişlinin dış dibine, bölüm dairesi ve diş üstü dairelerinin yarıçaplarıdır. Dişlerin kesileceği konik dişlinin taslağı ise CNC frezenin tablasına aşağıdaki gibi bağlanabilir (Şekil. 10a). Bu durumda parmak frezenin diş taslağının çevresi boyunca hareketleri, Z eksenine boyunca X-Y düzlemine paralele düzlemlerde aşağıdaki gibi oluşturulabilir (Şekil. 10b).



Şekil. 10. Düz konik dişlinin CNC frezede radyal olarak işlenmesi

Bu durumda takım yolu denklemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu denklemler ise Şekil 9'daki AB aralığı boyunca X-Y düzleme iz düşürülen eşdeğer düz dişlerin diş profillerine göre türetilmeli. Yine bu denklemler türetilirken düz konik diş üzerindeki açısal büyülükler de Tredgold yaklaşımına göre hesaplanabilir (Şekil. 9).

Burada ikinci bir yöntem olarak kesik koni şeklinde oluşturulan dişli taslağı önceki çalışmada gibi eksenel olarak işlenebilir (Şekil. 6). Yine bu taslağın işlenmesinde de bir divizör aparatından yararlanılabilir (Şekil. 1). Ancak bu durumda diş profil denklemleri oluşturulurken dişli taslağının tezgah üzerindeki pozisyonu dikkate alınarak düzenlenmelidir. Çünkü bu yönteme göre, dişlinin diş boyu uzunluğu tezgahın X eksenine yönündedir (Şekil. 6). Bu yönteme, konik dişlinin diş profili denklemlerinde diş profilini döndürme ile ilgili bağıntılar gereklidir. Sadece bir diş profili için denklemlerin türetilmesi yeterli olacaktır. Çünkü konik dişli taslağı, CNC tezgahının döner tablası veya bir divizör ile döndürülecektir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geleneksel düz konik dişli kesme yöntemleri incelendiğinde, bu dişlilerin önceki çalışmada olduğu gibi CNC frezede radyal ve eksenel olmak üzere iki şekilde işlenebileceği görülmektedir (Şekil. 10-6).

Geleneksel yöntemlerde konik dişlileri işlemek için kullanılan kesiciler dikkate alındığında bu tür kesicilerin hem şekil itibarıyla yapımlarının hem de fiyatlarının çok pahalı olduğu görülmektedir (Şekil. 1-4). Ayrıca bu kesiciler, dişlilerde önemli bir tasarım parametresi olan modül ve basınç açısı değerlerine göre imal edilmektedirler. Oysa parmak frezenin yapımında böyle bir durum söz konusu değildir ve fiyatları da çok daha ucuzdur. Geleneksel yöntemlerde kullanılan kesicilerin ömrülerinin çok daha uzun ve mukavemetlerinin de çok daha yüksek olacağı görülmektedir. Çünkü bu kremayer kesicilerin üretim süresince yan yüzeylerinin tamamı kullanılmaktadır. Hâlbuki CNC freze tezgahlarında yapılacak bir dişli imalatında, parmak frezenin taban kenarları kullanılağдан ömrü kısa ve mukavemetinin daha düşük olacağı görülmektedir. Bu çalışmada sunulan yeni modele göre de düz konik dişliyi üretmek için parmak frezenin çapı hesaplanırken koni üzerindeki en küçük düz dişlinin dış dibi genişliği dikkate alınarak bağıntılar çıkartılmalı ve bu bağıntılara göre çap hesaplanmalıdır. Çok küçük modüllü dişlilerde dış dibi genişliğinden dolayı hesaplama sonucu çaki çapının çok küçük olacağı aşikârdır. Bu durum karşısında çok küçük modüllü konik dişlilerin CNC frezede imal edilemeyecekleri görülmektedir. Çünkü piyasalarda en küçük parmak frezenin çapı 2 mm dir. CNC freze tezgahı için hazırlanacak olan programla konik dişlilerin istenilen modülde, dış sayısında, basınç açısından ve tashih değerlerinde imal edilebileceği görülmektedir. Çünkü dış profil denklemlerine bu parametrelerin de katılacağı ve bu parametrelerin program içerisinde çok rahatlıkla değiştirilebileceği düşünülmektedir. Dış profilini kesme hassasiyeti ve Z ekseni boyunca X-Y düzleme paralel düzlemlerdeki düz dişli tabaka sayısının tezgah hassasiyet sınırları içerisinde değiştirilebileceği düşünülmektedir. Örneğin tezgah hassasiyeti 0.001 ise dış profillerini kesme hassasiyeti ve düz dişli tabaka sayısı bu değerlere kadar çıkartılabilir. Ancak bu durumda imalat süresinin uzun olacağı görülmektedir.

Sonuç olarak; önceki çalışmadan farklı olarak burada sunulan yeni yaklaşımı göre de genel bir imalat programının geliştirilmesinin, hem akademik hem de sanayi yönünden iyi bir çalışma olacağı görülmektedir. Ayrıca hem bu yeni modele göre hem de Tredgold yaklaşımına göre konik dişliler imal edilerek çalıştırılabilir ve dış profil aşınmaları ile dış profillerindeki basınç dağılımları ayrı ayrı incelenerek karşılaştırılabilir.

5. KAYNAKLAR

- [1] WIENER, D., "CNC Technology and The System-Independent Manufacture of Spiral Bevel Gears", Gear Technology, Vol. 9, PP22-27., September/October, 1992.
- [2] SEBETIC, R.L., "Bevel Gear Manufacturing Troubleshooting", Gear Technology, Vol. 8., PP28-32., March / April, 1991.
- [3] KRENZER, T.J., YUNKER, K.D., "Universelle Kegelrad-und Hypoid-Walzfrasmaschine", Werkstatt und Betrieb, Vol. 122. No.3., PP237-241, 1989.
- [4] SHEVELEVA, G.I., GUNDAEV, S.A., POGORELOV , V.S., "Numerical Modeling of The Process of Machining Bevel Gears With Circular Teeth", Soviet Engineering Research, Vol. 69., No.3., PP44-47, 1989.
- [5] CHANG, S.H., HUSTON, R.L., COY, J.J., "Computer Aided Design of Bevel Gear Tooth Surfaces", Int Power Transm Gearing Conf. New Technol Power Transm 90. Publ by ASME, New York, NY, PP585-591, 1989.
- [6] AL-DACCAK, M.J., ANGELES, J., "The Modelling of Bevel Gears Using The Exact Spherical Involute", Computer-Aided and Computational Design American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (publication) DE Vol. 19-1., n Pt.1, New York, PP151-156, 1989.
- [7] KAIXIU,Y. , "Computer Aided Straight Bevel Gearing and Parametric Drawing of A Bevel Gear by A Computer", Mechanical Systems Analysis, Design and Simulation American Society of Mechanical Engineers Division (publication) Publ by ASME, DE Vol. 3 (of 3), New York, PP247-252, 1989.
- [8] KIMMET, G.J., "Autonomous Gear Manufacturing Cells", Werkstatt und Betrieb, Vol.120., No.10., PP833-836, 1987.
- [9] WIENER, D., "Kegelrader Verzahnen", Werstatt und Betrieb, Vol.123., No.2., PP153-157, 1990.
- [10] SAHRAIBMAN, S.M., "A Statistical Survey of Gear-Cutting Operations in Various Production Models", Soviet Engineering Research, Vol.60., No.2., PP29-31, 1989.
- [11] ZAITSEV, V.V., "Calculation of The Geometrical Parameters of Gear Cutting Heads", Soviet Engineering Research, Vol.7., No.7., PP70-71, 1987.
- [12] SEGAL, M.G., "Circular Broaching of Straight Bevel Gears:Expanding The Range of Application", Soviet Engineering Research, Vol.7., No.2., Fab., PP69-71, 1987.
- [13] DACCAK, M.J., ANGELES, J., "The Modeling of Bevel Gears Using The Exact Spherical Involute", Computer-Aided and Computational Design ASME, Design Engineering Devision (Publication)DE Vol.19-1., No.Pt.1., Publ by ASME, New York, PP151-156, 1989.
- [14] Guixian Li a,*; Lixiao Wen Jianmin a, Zhang Xin b, Liu Yu a Meshing theory and simulation of noninvolute beveloid gears, Mechanism and Machine Theory 39 (2004) 883-892
- [15] Jasper B. Analytical Geometry of straight Conical Involute Gears, Mechanism and Machine Theory 37 (2002) 127-141.
- [16] Cihan ÖZEL (2003), "Düz konik dişlilerin bilgisayar destekli sayısal denetimli freze tezgahlarında imalat olanaklarının incelenmesi", Malzeme Bilimi ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu (MBYÜ), 231-244.

- [17] Cihan ÖZEL (2003), “Düz Dişlilerin Genel Amaçlı CNC Freze Tezgahlarında Taşlanması Olanaklarının İncelenmesi”, Malzeme Bilimi ve Üretim Yöntemleri Sempozyumu (MBYÜ), 255-261.
- [18] Özel, C., İnan, A., Özler, L., (2005). An investigation on manufacturing of the straight bevel gear using end mill by CNC milling machine, Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transaction of the ASME, vol. 127, 503-511.
- [19] Özel, C. (2012) ‘A study on cutting errors in the tooth profiles of the spur gears manufactured in CNC milling machine’, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 59, No. 1-4, pp.243-251.
- [20] Özel, C. (2011) ‘Research of production times and cutting of the spur gears by end mill in CNC milling machine’, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 54, No. 1-4, pp.203-213.
- [21] Özel, C. and Ortaç, Y. (2016) ‘A study on cutting errors in tooth profiles of cycloidal gears manufactured in CNC milling machine’, Int. J. Materials and Product Technology, Vol. 53, No. 1, pp.42-60.
- [22] Cihan Özel, Yunus Ortaç, Turan Gürgenç (2017). “Yağ Pompasında Kullanılan Sikloidal Dişlilerin Parmak Freze ile CNC Freze Tezgâhlarında İmalatının Araştırılması”, Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi Science and Eng. 29(2), 97-110.



Experimental Investigation of the Effect of Machining Parameters on Osteonecrosis in Bone Drilling

M Can^{1*}, S Koluaçık², E. Bahçe³, E. Emir⁴

¹Department of Orthopedics and Traumatology, Malatya Training and Research Hospital, Malatya, Turkey

²Department of Orthopedics and Traumatology, Malatya Training and Research Hospital, Malatya, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

⁴Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

Abstract

Bone drilling is widely used in fracture treatments and reconstructive surgery. In the drilling process elevated bone temperature is generated. During drilling, temperatures above 47 °C cause osteonecrosis. Therefore, this temperature value is defined critical temperature. This situation leads to screw loosening, implant failures and refractures.

This study focuses on the tool wear and the temperature generated during drilling of cortical bone tissue (bovine origin) with different spindle speeds, feed rates, geometries, and diameters. The study was also used saline solution as cooling fluid. Drilling experiments were performed by simulating the conditions during the surgical operation. According to the experimental results, bone drilling temperature increases spindle speed, feed rate, drill geometry and drill diameter, respectively.

Keywords: Bone, drilling, drilling temperature, osteonecrosis

1. GİRİŞ

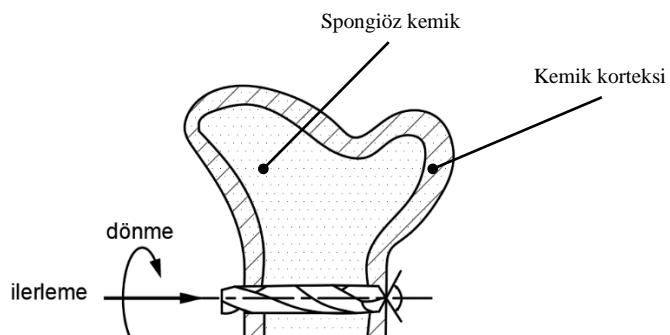
Günlük yaşam da yaşılanma veya kazalara bağlı olarak kemik kırılması ile karşılaşılmaktadır. Kemik kırığının yeniden birleştirilmesi ve tedavinin yapılması için en önemli yöntemlerden biri kemiklerin delinerek plak, tel ve vidalar kullanarak ayrı parçaların birleştirilmesidir. Kemik yüzeyine açılmış deliğin yüzey kalitesi, toleransı, geometrik hassasiyeti ve vida, tel gibi tespit edilen bileşenler kemiğin dayanıklılığını etkilemektedir.

Değişik ortopedik ameliyatların rehabilitasyonu, iyileşme tamamlanıncaya kadar kemiğin konumlandırılması ve sınırlandırılması kemik parçalarının birleşmesini etkilemektedir. Çoğu zaman kemiğin iyileşmesini kolaylaştırmak ve hızlandırmak amacıyla kemiğin sabitlenmesine ve delinmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ortopedik delme işlemi, metal işlemedeki delme yöntemine çok benzemektedir. Kemiklerin delinmesinde de benzer şekilde kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır ve deliğin etrafında sıcaklık artışına neden olmaktadır. Bu sıcaklık kritik sıcaklık olarak kabul edilen sıcaklık değerini aşığı takdirde, kemik ve çevre dokularında geri dönüşü olmayan hasarlara sebep olmaktadır. Nekroz (necrosis) olarak adlandırılan bu olay kemiğin iyileşme sürecini etkilemektedir.

* Corresponding author. Tel.: +90 542-591-0151

E-mail address: mrt44cn@gmail.com (M. Can).

Kemiğin kendiliğinden iyileşmesi zaman alıcı ve bazen de yanlış konumda yer almamasına neden olmaktadır. Bu yüzden arzu edilen konumda kırılan kemiğin yerleştirilmesi zorlu bir iştir. Kırılan kemiğin istenilen konuma gelmesi için direkt ve konvansiyonel yöntem olmak üzere iki yöntem vardır. Konvansiyonel yaklaşımda kırılan kemik, dışardan desteklenerek konumlandırılması gerçekleştirilir. Bu yöntemle küçük kırıklar ve yaralanmalar kolaylıkla tedavi edilir. Fakat büyük konumlandırılmaya ihtiyaç duyuluyor ise bu yöntem çok faydalı olamamaktadır. Direkt yöntemde ise kırık kemiğin konumlandırılmasına için vidalar kullanılmaktadır. Vidalar sıkıldan önce kemiğin delinmesi gerekmektedir, hatta ihtiyaç duyuluyor ise kılavuz çekilmesi gereklidir. Delme işlemi mekanik yöntemlerde benzer aletler kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemlerde genellikle manuel, elektrik ve pnömatik matkaplar kullanılmaktadır. Bu matkaplarda mekanik delme yöntemlerindeki gibi devir sayısı ve ilerleme gibi kontrol edilen parametreler bulunmaktadır (Şekil. 1).



Şekil. 1. Kemiğin matkap ile delinmesi

Delme süresince matkap ucu ile kemik yüzeyi arasındaki sürtünmeden dolayı ısı oluşumu meydana gelir. Bunun sonucunda sıcaklık artışı veya karbürizasyon oluşabilir, bu durumda kemik hücresinin ölmesine ve o bölgede kemiğin doğal özelliklerinin değişmesine neden olabilir.

Kırılmış kemiğin tespitinde stabilitenin ve emniyetin sağlanabilmesi için vida kemiği sıkmalıdır ve tamamen kavramalıdır. Fakat delme işleminde nekroz olmuş ise vidanın takıldığı bölgeye stabilitenin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenle delme esnasında sıcaklığın kontrol edilmesi oldukça önemlidir. Konu ile ilgili yapılan çalışmalar incelendiğinde, Abouzgia [1], inek kemiğinin delinmesinde kuvvetin devir sayısı ve tüketilen enerji üzerindeki etkisini araştırmıştır. Yapılan deneysel ölçüm sonuçlarına göre toplam enerji, işleme zamanını azaltması nedeniyle delme hızı ve gücünün artmasına bağlı olarak azalmıştır ve bunun sonucunda ısı miktarının da azaldığını tespit etmiştir. Lee vd. [2] kemiklerin delinmesinde delme koşulları ve matkap ucu geometrisinin bir fonksiyonu olarak delme gücünü tahmin eden bir model geliştirmiştir. Yapmış oldukları çalışmada yüksek kesme hızlarında daha düşük kesme güçlerinin olduğunu ve ilerlemenin artması ile ilerleme gücünün arttığını hesaplamışlardır. Benzer şekilde Sui vd. [3] delme işleminde ilerleme gücünü ve oluşan torku hesaplayan bir model geliştirmiştir. Bu modele göre matkap kesme ağızı, uç noktası ve boşluk açısı olmak üzere üç bölgeye ayrılmıştır. Böylece matkap uç geometrisine göre uygun delme koşullarının seçilmesine yardımcı olması sağlanmıştır. Akhbar ve Yusoff [4], kemiklerin delinmesinde devir sayısı, ilerleme, matkap çapı ve kemik kalınlığının nekroz oluşumuna etkilerini araştırmışlardır. Aynı zamanda sonlu elemanlara göre analiz yaparak deneysel sonuçlarla karşılaştırma yapmışlardır. Kesme hızının ve matkap çapının artmasıyla sıcaklığın arttığını belirtmişlerdir. Aghvami vd. [5] kemiğin delinmesinde sürtünmeye bağlı olarak isının termal zararlarını önlemek amacıyla, kemik yoğunluğunu, devir sayısını, ilerleme ve çapı dikkate alarak analitik model önermişlerdir.

Yukarıda yapılan çalışmalar incelendiğinde işleme parametrelerinin nekroz üzerinde ve delik yüzey kalitesinin vidanın kavramasını etkilediği görülmektedir. Bu çalışmada da işleme parametrelerinin sıcaklığı ve yüzey kalitesine etkileri araştırılmıştır.

2. MATERİYAL VE METOT

2.1. Kemiğin Yapısı

Kemik içerisinde kompakt kemik dokusu ve süngerimsi kemik dokusu olmak üzere iki tür kemik dokusu görülür. Kompakt doku sert ve yoğun bir dokudur. Uzun kemik gövdelerinin dış kısmında ve kafa kemiklerinin iç ve dış yüzeylerinde bulunur. Süngerimsi doku delikli, hafif ve petege benzeyen bir yapı gösterir. Bu tür doku tendonların (lif) yaptığı protuberansların altında, vertebra (omur) gövdelerinde, uzun kemiklerin uçlarında, kısa kemiklerin iki kompakt dokusu arasında kalan orta kısımlarında ve kısa kemiklerin içinde bulunur. Kimyasal olarak %73 Kalsiyum ve %27 Fosforlu kemiğin yoğunluğu ortalama 1800-2000 kg/m³ olup, mekanik özellikleri ise Tablo 1'de verilmiştir [4].

Tablo. 1. Kemiğin mekanik özelliklerı

Özellik	Değer
Çekme Gerilmesi (Mpa)	65
Basma Gerilmesi (Mpa)	200
Elastisite (%)	1.5
Sertlik (HRc)	70.36
İletkenlik (W/mK)	0.1-0.3
Yoğunluk (Kg/m ³)	1800
Özgül Isı (J/KgK)	1300

2.2. Tam Faktöriyel Deney Tasarımı

Deneysel çalışmalarında birden çok faktörün farklı seviyelerde ele alınarak etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Tam faktöriyel yöntemine göre deney sayısı, $N=n^k$ formülü ile hesaplanmaktadır. Bu bağlamda; N: deney sayısını, n: seviye sayısını ve k ise değişken sayısını temsil etmektedir. Tam faktöriyel deney tasarımı; çok boyutlu bir yöntem olması, fonksiyonların lineerliğinin araştırılması ve faktörlerin karşılıklı etkileşimlerinin bağımlı değişkene olan etkisinin bulunarak sistem üzerinde ekonomik yönden değerlendirme yapma olanağı sağlama yönünden avantajlı bir tasarım yöntemidir. Bu sayede proseslerin maliyetlerinin azaltılması, kalitenin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi sağlanabilmektedir.

Ayrıca tam faktöriyel tasarımda yüksek seviyeli etkileşimler istenmediği durumlarda ya da sadece düşük seviye etkileşimler ve temel etkiler incelenmek istendiğinde daha az sayıda deney yapılmak istendiğinde kesirli faktöriyel tasarımlar da kullanılabilirler [6].

Bu çalışma da deney tasarımı, faktöriyel tasarım dikkate alınarak yapıldı. Matkap çapı için 3, helis açısı için 3, devir sayısı ve ilerleme için ise 3 seviye kullanılarak toplam $2^1 \cdot 3^3 = 54$ farklı kombinasyon ile deneyler yapıldı.

2.3. Deneysel Parametreler

Delme deneyleri sığır kemiği üzerinde delik eksenleri arası mesafe 20 mm olacak şekilde eşit aralıklarla CNC dik işleme tezgâhında gerçekleştirildi (Şekil. 2).



Şekil. 2. Deneyin yapılması ve delikler arası mesafe

Delme deneyinde üç farklı ilerleme, devir sayısı, çap ve helis açısı kullanılarak gerçekleştirildi. Deneye kullanılan parametrelere Tablo 2'de verilmiştir. Deneye kullanılan matkap malzemesi HSS olup, DIN 338 standartındadır.

Tablo. 2. İşleme parametreleri

Devir sayısı (dev/dak)	İlerleme (mm/dev)	Helis Açısı (°)	Çap (mm)
400-800-1200	0.1-0.2-0.3	15-20-25	4.0-4.5-4.8

2.4. Delik Pürüzlülüğünün Ölçümü

Delik pürüzlülük değerlerinin ölçümü Şekil. 3'de görülen ölçüm hassasiyeti $0.001 \mu\text{m}$ olan MITUTOYO SJ-210 cihazı kullanılarak gerçekleştirildi. Pürüzlülük ölçümü, cut off mesafesi 0.8 mm , prob ilerleme hızı 0.5 mm/sn alınarak Ra cinsinden belirlendi. Kemik üzerindeki deliklerden tam kesit alınarak deliğin yüzeyinden ortalama pürüzlülük değerlerinin ölçümleri gerçekleştirildi. Ölçümün kararlılığını artırmak için farklı bölgelerden üçer ölçüm yapılarak pürüzlülük değerleri belirlendi.



Şekil. 3. Delik pürüzlülüğünün ölçümü

2.5. Delme Sıcaklığının Ölçümü

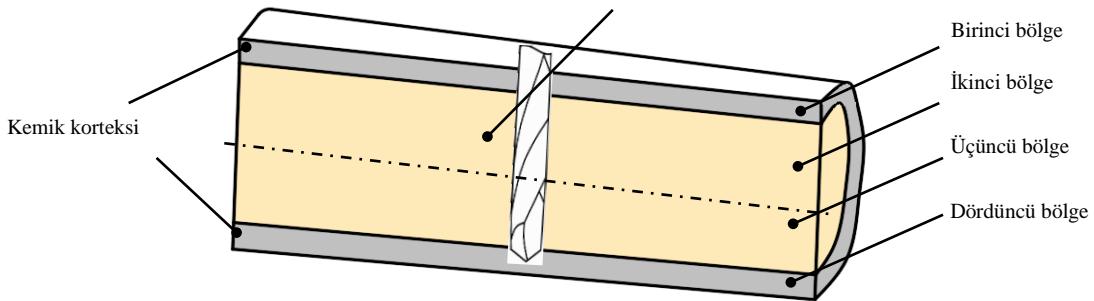
Kemiklerin delinmesi sırasında oluşan sıcaklığı ölçmek için hem Testo 875 marka infrared termal kamera hem de ısıl çift kullanılmıştır. Termal kameranın sıcaklığı ölçülecek malzemelere göre kalibre edilmesinin gerekliliğini göstermektedir. Bu amaçla çeşitli araştırmalar yapılmış ve en kararlı yönteme ulaşıcaya kadar denemeler gerçekleştirilmiştir. Termal kameranın emissivite kalibrasyonu için bir deney düzeneği kurularak kalibrasyon gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık ölçümünde termal kamera delik giriş noktalarına 20 cm olacak şekilde sabitlenerek aynı standartlarda ölçüm yapılmasına dikkat edildi.



Şekil. 4. Termal kamera ile delik girişindeki sıcaklık ölçümü

Sıcaklık ölçümü için kemik delme ekseni boyunca Şekil. 5'de görüldüğü gibi dört bölgeye ayrılarak ölçüm gerçekleştirildi.

Spongöz kemik

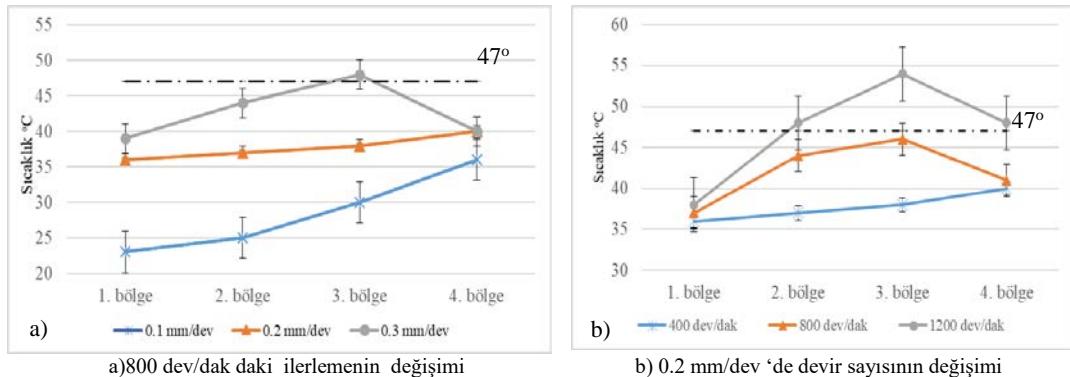


Şekil 5. Delme sıcaklığı ölçüm bölgeleri

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

3.1. İşleme Parametrelerinin Kemik Delinme Sıcaklığına Etkisi

Delme esnasında işleme parametrelerinden devir sayısı ve ilerlemenin sıcaklık üzerindeki etkilerini görmek amacıyla Şekil. 6'daki grafikler çizdirildi.



Şekil 6. $\Phi 4.5$ mm çapındaki işleme parametrelerine göre sıcaklık değişimi

Şekil. 6'daki grafikler incelendiğinde 1200 dev/dak ile yapılan deneylerde nekroz oluşumu için bahsedilen kritik sıcaklık 470 değerinin aşıldığı görülmektedir. Benzer şekilde 1200 dev/dak'da $\Phi 4$ ve $\Phi 4.8$ çaplarında yapılan deneylerde bu kritik sıcaklık değeri aşılmıştır. Nekroz, kemik ve çevre dokularında oluşan hasarlar, kemik ve vida arasında gevşeme problemleri veya uyumsuzluk meydana getirerek, implantasyon başarısını ve çürüyen bölgede hızlı kemik emiliminden dolayı birleşmenin sağlamlığı azaltmaktadır [7]. Bu nedenle kritik sıcaklık değerini aşmadan delme yapmak önemlidir. Kemiklerin delinmesi talaş kaldırma işlemi gibi termomekanik bir sürecin birleşimidir. Bu süreçte, takım-kemik talaşı ve takım-kemik ara yüzeyleri boyunca sürtünme ve plastik deformasyon bir sonucu olarak ısı meydana gelmektedir [8]. Plastik deformasyon küçük bir bölgede oluşmakta olup, bu bölgede meydana gelen sıcaklıklar kesici takım ve kemiğin yapısını etkilemektedir. Kesici takım ve esas malzeme (kemik) arasında kayma ve sürtünme enerjileri oluşturmaktadır. Kayma enerjisi hem kesme hızı hem de ilerleme hızının bir fonksiyonu olarak devir başına ilerlemenin artmasıyla artmaktadır. Talaş yüzeyindeki sürtünme enerjisi ise kesme hızının artmasıyla artmaktadır. Kayma enerjisinin büyük bir miktarı ve sürtünme enerjisinin tamamı hem matkap ucu hem de kemiğin sıcaklığının artmasıyla ısuya dönüşmektedir. Bunu yanı sıra, matkap ucunun sıcaklığı çabuk yükselmektedir çünkü matkap ucu malzemesi kemiğinkinden oldukça yüksek ıslık iletkenliğine sahiptir. Böylece, ısı daha yüksek sıcaklığı sahip matkap ucundan kemik malzemesine transfer edilir [9, 10].

Ayrıca literatürde, belirtildiği üzere işleme esnasında artan sıcaklık kesici üzerinde meydana gelen talaş yapışmalarını ve matkap ilerleme kuvvetlerini etkilemektedir [11]. Kemiğin delinmesinde ortaya çıkan kemik parçaları (talaş) delik duvarı ve kesici arasında kalarak ufalanmaktadır. Ufalanın talaşların tahliyesi zorlaştırmaktır, meydana gelen talaş sıkışmaları ve ortaya çıkan ısı, talaşların matkapın üzerine yapışmasına sebep olmaktadır (Şekil. 7). Dolayısı ile talaş yapışmasının tetiklediği sıcaklık ve kesme kuvvetlerindeki artışlar, kesici ve delik üzerinde olumsuz etki meydana getirmekte, delik delme işlemini güçlendirmektedir.



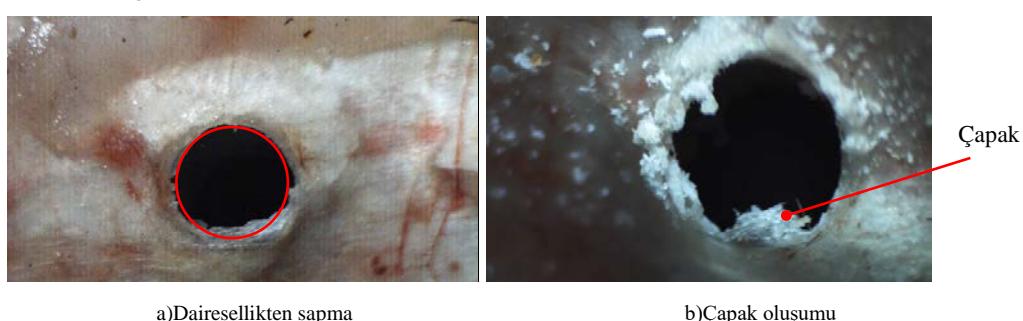
Şekil. 7. Matkap üzerine yapışmış kemik parçacıkları

Bu da matkaba gelen yükü artırmaktadır. Özellikle büyük ilerleme kuvveti ve plastik deformasyonun daha erken olması neden olur. Kemiğin en yoğun tabakasının alt kısmında plastik deformasyon başlar ve matkap ilerleme kuvvetine bağlı olarak delik çıkışına doğru ilerler. Bundan dolayı genellikle, deliğin çıkış yüzeyinin merkez bölgesinde ilk kırılma meydana gelir ve deliğin etrafında yiğintıların oluşmasına neden olur (Şekil. 8).



Şekil. 8. Delik çıkışında plastik deformasyonun oluşum evreleri

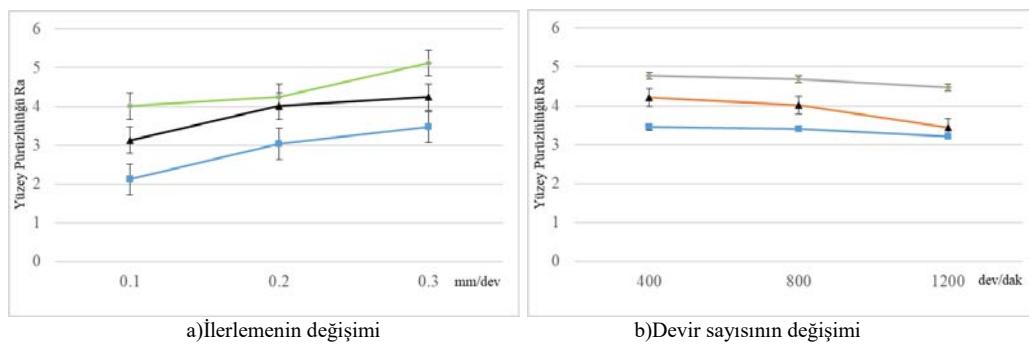
Diğer taraftan, matkabın delik içerisinde ilerlemesi sırasında artan sıcaklık, sürtünme ve oluşan talaş sıkışması da bu artış sebep gösterilebilir. Delik boyu arttıkça talaş sıkışmalarına bağlı olarak ısıda artmaktadır. Isı artışı ile ortaya çıkan talaşlar matkap üzerine sıvanarak matkabın rahat bir şekilde ilerlemesini engellemektedir [12]. Bu durumun matkabin kararlı kesmesini etkileyerek çıkış deliğinin dairesel geometri yerine elips şeklinde oluşmasına ve çıkış çapaklarının oluşmasına neden olmuştur (Şekil. 9). Böyle bir durum ise vidanın kemiği konumlandırmasını ve vida-kemik stabilitesini etkilemektedir.



Şekil. 9. Delik çıkışında oluşan hatalar

3.2. Pürüzlülük Ölçümü

Delme sonrası kemikten tam kesit alınarak devir sayısı ve ilerlemenin etkilerini görmek amacıyla Şekil. 10' daki grafikler çizdirildi.



Şekil. 10. Kemik delik pürüzlülüğünün değişimi

Grafikten görüldüğü üzere ilerlemenin artması ile pürüzlülük değerlerinin artmaktadır devir sayısının artması ile ise pürüzlülük değeri azalmaktadır. Artan devir sayısı ile artan enerji tüketiminin kesme esnasında ısı enerjisine dönüşmesi sonucu artan sıcaklık plastik deformasyonu ve talaş akışını kolaylaştırmaktır, buna bağlı olarak da yüzey kalitesinde bir iyileşme gözlelmektedir. Artan ilerleme değerleri, birim zamanda kaldırılan talaş hacminin artmasına ve buna bağlı olarak da kesme kuvvetlerinin büyümeyesine sebep olacaktır, bu durumda pürüzlülük değerlerinin artmasına neden olmuştur.

4. GENEL SONUÇLAR

Kırık kemiğin konumlandırılması ve stabilitesi kemiğe delik açılarak implantların takılması ortopedi cerrahisinde en fazla kullanılan yöntemlerinden biridir. Bu amaçla, vidalar takılmadan önce delme esnasında oluşan ısı ve yüzey pürüzlülüğü oldukça önemlidir. Buna göre yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Devir sayısı ve ilerleme arttıkça sıcaklık giderek artmaktadır. Özellikle 1200 dev/dak ile yapılan deneylerde nekroz oluşumu sıcaklığının üstüne çıkmıştır.
- Helis açısı arttıkça talaş kanallarında kemik parçacıkların sıvanması olduğu gözlemlendi.
- Spongiöze bölgesinde sıcaklık artış hızının azaldığı, çıkış korteksinde ise tekrar arttığı
- Kemiğin ısı iletim katsayısı, kesici takımından çok düşük olduğu için ısı transferinin %80 oranın da kesici takım ve kemik talaşı ile geri kalanın ise kemik üzerinden olduğu ölçüldü.
- Devir sayısının artması ile delik pürüzlülüğün azaldığı, ilerlemenin artması ile arttığı belirlendi

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde desteklerinden dolayı OTTOMAN Grup İmplanta (OTİMED) teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Abouzgia M., Measurements of shaft speed while drilling through bone, J Oral Maxillofac 53, 1308-1315 (1995)
- [2] Lee J., Gozen A., ve Ozdoganlar B., Modeling and experimentation of bone drilling forces, Journal of Biomechanics 45, 1076-1083, 2012
- [3] Sui J., Sugita N., Ishii K., Harada K., ve Mitsuishi M., Mechanistic modeling of bone-drilling process with experimental validation, Journal of Materials Processing Techbology, 2014, 1018-1026
- [4] Akhbar M.F.A., Yusoff A.R., Optimization of drilling parameters for thermal bone necrosis prevention, Technol Health Care, 1-15, 2018
- [5] Aghvami M., Brunski J., Serdar U., Chen CH, Helms J., A Thermal and Biological Analysis of Bone Drilling, Journal of Biomechanical Engineering, 1-8, 2018
- [6] Keleş, Ö., Deneysel Tasarım, Ders notu, ITÜ, İstanbul.

- [7] Pallan F., Histological changes in bone after insertion of skeletal fixation pins, *J. Oral Surg. Anesth. Hosp. Dent. Serv.*, 1960, 18, 400-408.
- [8] Tay, A.A.O., "A Review of Methods of Calculating Machining Temperature", *J. Mater.Process. Technol.* 36 (3), 225-257 (1993).
- [9] Gök K., Kemik Delme İşleminde Isıl Hasarın Önlenmesi İçin Matkap Tasarımı Ve Prototip İmalatı, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi, 2014,
- [10] Lee J., Ozdoganlar O. B., Rabin Y., An experimental investigation on thermal exposure during bone drilling, *Med. Eng. Phys.*, 2012, 34, 1510-1520.
- [11] Bhowmick, S., Lukitsch, M.J., Alpas, A.T. (2010). Dry and minimum quantity lubrication drilling of cast magnesium alloy (AM60). *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 50: 444-457.
- [12] Yavuz M., Gökc   H., Yava   Ç., Korkut  ,  eker U., Matkap geometrisinin delik kalitesi ve kesme performans『 etkisi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 1051-1066, 2017



Finite Element Analyze of the Effect of Setting Implants at Variable Angles on Mandibular Bone

E. Bahçe^{1*}, Ç. Aktaş², E. Emir³, E. Sarigül⁴

¹Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

²Department of Prosthetic, Inonu University, Malatya, State, Turkey

³Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

⁴Department of Mechanical Engineering, Inonu University, Malatya, State, Turkey

Abstract

Dental implants are widely used in dentistry to achieve a more aesthetic appearance as a result of tooth loss of individuals. However, due to the competition conditions brought by the commercial market, prosthetic manufacturers produce dental prostheses differently from each other. As a result of these types of prostheses which are produced in different geometries, different stress values arise as a result of being placed in the jawbone. As a result of the different stress values that arise, the unexpected stresses that can be made with the surgical intervention can shorten the implant life. For this reason, it is important to be able to determine stress conditions. Finite Element Analysis (FEM), which is widely used in the simulation of mechanical systems, is used to obtain the stress values.

In this study, the results of regression and contact pressure values which are the result of application of the dental implants of different geometries at various angle values by end element analysis were investigated. In the study, a computerized tomography image of the jaw was first provided. Then the MIMICS program was used to transform the computerized tomography image into a solid model. In the program, each layer of the CT image taken at 1 mm intervals from the patient's jaw was equally filled to obtain a solid pattern. In the obtained solid model, the dental implants of different geometries were transferred to the CAD program in order to be made suitable for the jawbone assembly for the analyzes to be performed. In the CAD program, implant nests were formed at different angles to allow dental implants to pass through at desired dimensions. In the final step, the CAD model is transferred to the Static Structural interface of the ANSYS program, which is used extensively in the analysis of end elements. Then mesh is applied, and stress and pressure analyzes are performed. The present findings indicate that the pressure and tension that the implant has applied to the mandible decreases from 0° to 30°.

Keywords: Dental implants, computed tomography, finite element analysis, stress.

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ve insan sağlığına verilen önemin artmasıyla implant tedavileri artmıştır. Implant tedavisinde titanyum, dayanak olarak yüksek başarı oranlarıyla kullanılmaktadır. Benzer şekilde metal alaşım destekli porselenler rutin olarak kullanılan materyallerdir. İmplantların ağızda sağlıklı ve uzun süreli kalması için ise en uygun biyomekanik koşullar sağlanmalıdır. Kortikal ve trabeküler kemikte oluşan ve kemik rezorpsiyonuna neden olan stresler, implant materyallerinden, implant tasarımından, üst yapı materyallerinden, üst yapı materyallerinin tasarımından ve yükleme koşullarından etkilenmektedir. Implant tedavisinin başarısını daha üst seviyelere çekmek için birçok çalışma yapılmaktadır. Üç boyutlu sonlu elemanlar stres analizi gerek maddi açıdan gereksiz hassas olmasına karşın kolay uygulanabilirliği sayesinde

* Corresponding author. Tel.: +90 532-320-7845.

E-mail address: erkan.bahce@inonu.edu.tr (E. Bahçe).

birçok mühendislik alanı ile son zamanlarda tıp ve diş hekimliğinde de kullanımı oldukça yaygındır ve in vivo çalışmalarla tespit edilmesi mümkün olmayan birçok stres analizinin bilgisayar ortamında rahatlıkla uygulanmasını sağlamaktadır.

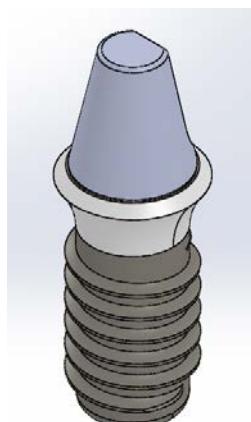
Literatürde çene kemiklerine cerrahi müdahale ile yerleştirilen implantlarda meydana gelen stres dağılımlarının araştırılmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır [1-6]. Damlar ve ark. [1] iki farklı ticari firma tarafından üretimi gerçekleştirilen diş implantının alt çene kemiğine farklı açılarda monte ederek sonlu elemanlar yöntemi ile oluşan gerilme dağılımlarını incelemiştir. Çalışma sonucunda çeneye dik bir şekilde monte edilen diş implantının meydana getirdiği gerilme değerinin, 30° lik açı ile monte edilmesi sonucunda meydan gelen gerilme değerlerinden daha düşük seviyelerde meydana geldiğini söylemişlerdir. Dağlık [2] alt çenedeki tam ve kısmi dişsizlik durumlarında diş protez uygulamalarında meydan gelen stres dağılımlarını sonlu elemanlar yöntemi ile değerlendirmiştir. Yapılan analizler sonucunda Köse ve Sofuoğlu. [3] alt çene kemигinde meydana gelen hasarın abutment boyu ve protez dolgu malzemesi kullanılarak giderilmesinin mandibula üzerindeki etkilerini sonlu elemanlar yöntemi ile incelemiştir. Sert kemik ve yumuşak kemikte bir cismi isırma esnasında meydana gelen kuvvetin yaklaşık olarak 150 N olduğu kabulünü yaparak çalışmalarını gerçekleştirmiştir. Hasan ve ark.[4] farklı yükseklik ve çaptaki implantların gerilim değişimlerini sonlu elemanlar analizi yaparak gerçekleştirmiştir. Yapmış oldukları analize göre küçük çaplı implantların boyun bölgesinde daha yüksek gerilmelerin oluştuğu, kırılma ve aşırı yükleme riskinin ise çok fazla olduğunu tespit etmişlerdir.

Benzer şekilde Holmgren ve ark.[5] yapmış oldukları çalışmada da benzer sonuçlar bularak geniş çaplı implant kullanıldığında düşük gerilimin elde edileceğini belirtmişlerdir.

Bu çalışmada pasif yivli titanyum implantların, abutment ve metal destekli porselen materyallerini kullanarak yükleme sonrası peri-implant kemikte, implantta, üst yapıda, abutmentta ve vidada oluşan stresleri sonlu elemanlar stres analizi sayesinde karşılaştırmak ve neticesinde boyun rezorpsiyonlarını daha düşük seviyelere çekmeye çalışılması amaçlanmaktadır.

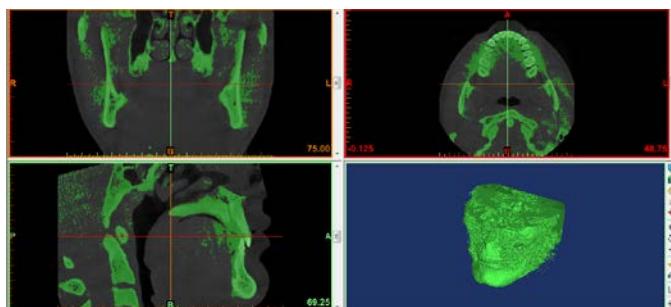
2. MATERİYAL VE YÖNTEM

Çalışmada diş kaybı sonucunda kullanılan Şekil.1'de CAD modeli verilmiş olan diş implantı kullanıldı.

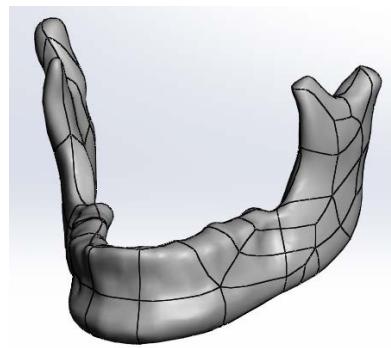


Şekil 1. Pasif yivli diş implantı

Diş implantlarının farklı açılarda alt çene kemiğine monte edilebilmesi için ilk olarak hastadan 1 mm aralıklar ile alınmış olan bilgisayarlı tomografi görüntüsü (BT) MIMICS programında katmanlama yapılarak işlendi (Şekil.2). Katmanlama işlemi sonucunda elde edilen mandibulanın CAD modeli Şekil.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 1. Mandibula'nın MIMICS programında elde edilmesi

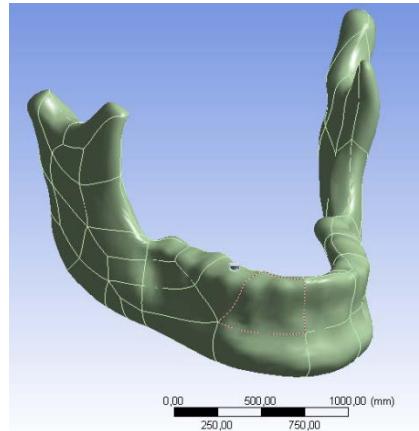


Şekil 2. Mandibula CAD modeli

Son olarak ise alt çene kemiğine diş implantı 0° 15° ve 30° deki farklı açılarda montaj edildi ve ANSYS programının static structural ara yüzüne aktarıldı(Şekil.4). Ara yüzde yapılan Tablo.1'de verilen malzeme özelliklerinin girilmesi, sabitleme noktalarının belirlenmesi ve kuvvet uygulama yönünün ve şiddeti girildi

Tablo 1. Analizde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri [7]

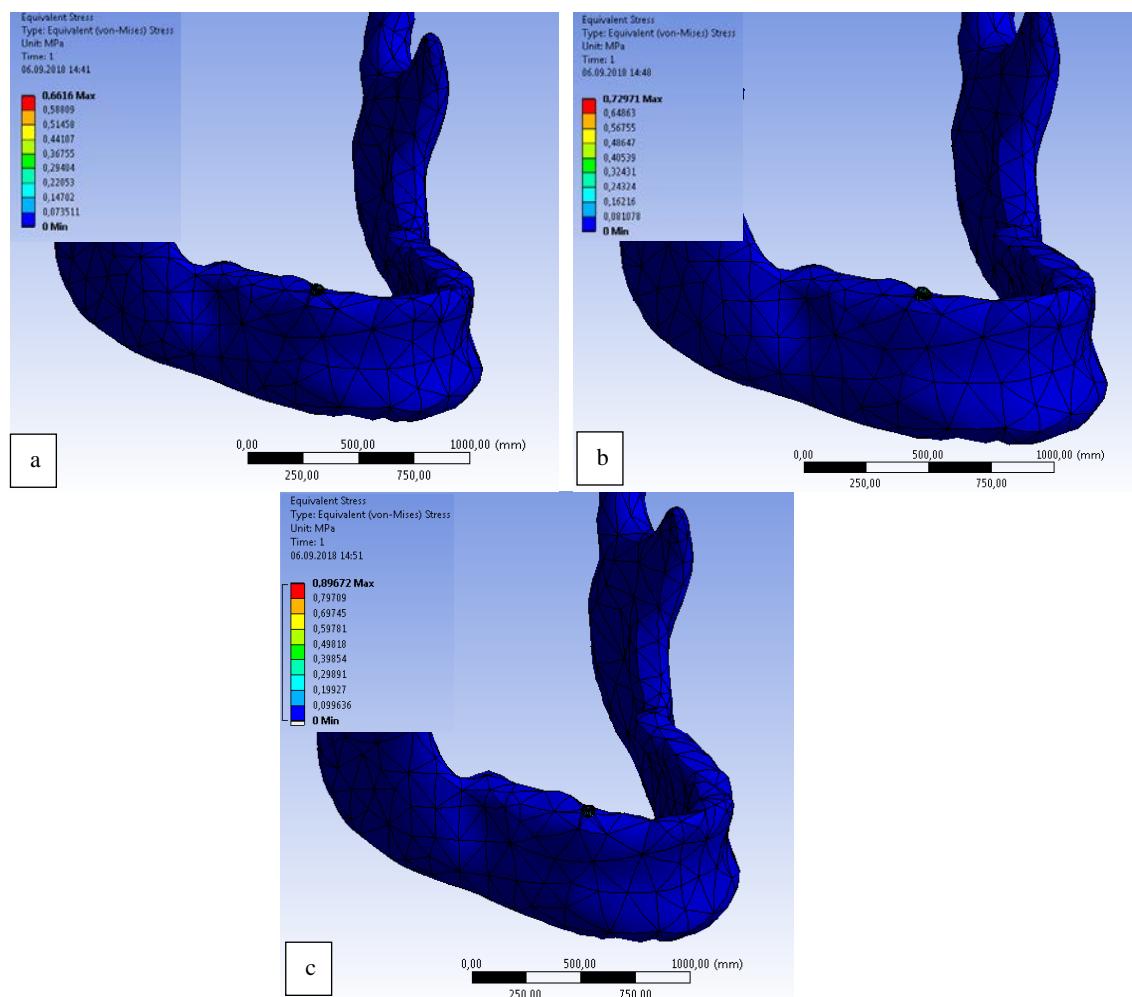
Malzeme	Poisson Oranı	Young Modülü (GPa)
Ti6Al4V	0.342	113.4
Mandibula	0.3	14



Şekil. 3 Mandibula ANSYS görüntüsü

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

0°, 15° ve 30° ile montajı yapılan diş implantlarında meydana gelen gerilme değerlerinin değişimi incelendi. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda montaj edilirken ki açı artışının gerilme değerlerini artırdığı gözlemlenmiştir. Analiz sonuçlarında 0 ile montajı yapılan diş implantı ve kemik yüzeyi arasında meydana gelen maksimum gerilme değerinin 0,896 MPa, 15 ile montaj edilen diş protezinde 0,729 MPa ve son olarak da 30 ile montajı diş protezinde ise 0,661 MPa olduğu görülmüştür (Şekil.5). Bu duruma sebep ise, implantların açılıldığı tarafa, karşı koyan kortikal kemik tabakasının yüzey alanı arttığı için, açılı implantlar çevresindeki gerilmeler daha düşük çıkmasıdır. Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde de elde edilen verileri destekler nitelikte sonuçlar görülmüştür [8,9].



Şekil. 4 Farklı açılardaki Von-Misses gerilme değerleri a) 30° montaj hali, b) 15° montaj hali c) 0° montaj hali

4. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada farklı açılar ile montajı yapılan diş implantları ve bu açı farklılıklarına bağlı olarak meydana gelen gerilme değerlerinin değişimleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda montaj açısının artmasına bağlı olarak gerilme değerlerinde düşüş görülmüştür.

Elde edilen düşük gerilme değerleri sayesinde daha uzun ömürlü diş implant kullanımını mümkün kılmaktadır.

Çalışmanın daha ileriye taşınması adına farklı ölçülerde ve farklı yiv profiline sahip diş implantları kullanılabilir.

REFERANSLAR

- [1] Damlar İ., Özyılmaz E., Altan A. ve Özyılmaz E., Üç Boyutlu Sonlu Eleman Analiz Yöntemiyle İki Ticari İmplant Sisteminin Gerilme Dağılımlarının İncelenmesi, Journal of Engineering Sciences and Design, 175-180, 2014

- [2] Dağlık D., Alt Çene Tam ve Kısmı Dişsizlik Vakalarında Diş, İmplant ve Diş – İmplant Destekli Hareketli Protez Uygulamalarında Protetik Yapılar ve Çevre Dokulardaki Stres, Gerinim ve Yer Değiştirmenin 3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Stres Analiz Yöntemi ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Başkent Üniversitesi, 2012
- [3] Köse S., Sofuoğlu H., Alt Çene Kemiğindeki Hasarın Abutment Boyu ve Protez Dolgu Malzemesi Kullanılarak Giderilmesinin Mandibula Üzerindeki Etkileri, Journal of Engineering Sciences and Design, 211-219, 2014
- [4] Hasan I., Henemann F., Aitlahrach M., Bouraue C., Biomechanical finite element analysis of small diameter and short dental implant. Biomedical Engineering, 55: 341-350, 2010
- [5] Holmgren EP., Seckinger RJ., Kylgren LM., Mante F., Evaluating parameters of osseointegrated dental implants using finite element analysis—a twodimensional comparative study examining the effects of implant diameter, implant shape, and load direction. J Oral Implantol., 24; 80-88,1998
- [6] Chun HJ., Shin HS., Han CH., Lee SH., Influence of Implant Abutment Type on Stress Distribution in Bone Under Various Loading Conditions Using Finite Element Analysis, Int J Oral Maxillofac Implants, 21: 195–202,2006
- [7] Arif Ö., Fatih A., Yasin K., Mandibula Kırıklarında Kullanılan “I” Tipi Plakların Tespit Konumlarının Karşılaştırılması,Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2-207–214,2014
- [8] Filiz K., Hamid Z., Ruhi Y., Funda B., Sadri Ş., Düz ve Açılı Abutmentlere Sahip Titanyum ve Zirkonyum Dental İmplantların Gerilme Analizlerinin Karşılaştırılması,Mühendis ve Makine Dergisi, 2014
- [9] Çetin S., Farklı Açılarda Yerleştirilen İmplantlarla Desteklenen Barlı Tutucularda Kemikteki Gerilme Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2009



Linear Dynamic Analysis of a Masonry Arch Bridge

A.Özmen¹, E.Sayin^{2*}

¹Department of Civil Engineering, İnonü University, Malatya, 44000, Turkey

²Department of Civil Engineering, Firat University, Elazığ, 23190, Turkey

Abstract

Historical masonry arch bridges are one of the most important part of transportation, commercial and architecture since the ancient times. These structures must transfer to next generation, but historical bridges can be damaged by unexpected events, such as earthquakes, floods and other major natural disasters. Because of these reasons seismic response of historical bridges must be known. In this study, it is aimed to investigate dynamic linear analysis of a masonry arch bridge. For this purpose, historical Musapalas masonry arch bridge is selected as a case study. Three dimensional model of the masonry arch bridge is generated by ANSYS software with macro modelling approach. 1992 Erzincan earthquake acceleration records are considered for dynamic analysis of the bridge. As a result of the analysis, dynamic response of the bridge such as displacements and maximum-minimum principal stresses are obtained and seismic response of the bridge is examined.

Keywords: Historical masonry arch bridge, finite element model, seismic response, dynamic analysis.

1. INTRODUCTION

In Turkey, there are many historical structures reached today from the Roman, Byzantine, Seljuk and Ottoman periods. Masonry arch bridges is one type of the historical structures. Many historical bridges had been built in different sizes, shapes and spans in the world. These bridges which have a great historical and strategic importance have to protection and to transferred to next generation. Masonry arch bridges can damage natural factors which are earthquake, flood, fire, wind, loss in the strength of the construction materials, time-dependent deformations, excessive and irregular loading due to inconvenient use and wars [1]. Therefore, seismic assessment is a necessity for protect these structures and transfer to the next generation. Masonry arch bridges have different parts which are arch, spandrel wall and backfill material. Arch is the most important part of masonry bridges and most possibly one of the oldest architectural forms used for bridge type structures. The first arches were saw in Mesopotamia, built around 3000 BC [2]. There are many studies in the literature about the masonry arch bridges. Toker and Unay [1] constituted masonry arch bridge prototype and they applied various loads to bridge for investigated various mathematical modelling techniques. Royles and Hendry [3] studied 24 arch bridges with different spans for explain the effect of some parts of the bridge on limit strength. As a result of that study, they determined that spandrel walls and wing walls enhanced the strength of arch. Brencich and Sabia [4] evaluated The Tanaro Bridge in Italy. They investigated the bridge in service conditions and at different stages of its demolition. Gullu and Jaf [5] examined soil structure interaction effect on a historical masonry stone arch bridge. For this purpose, three dimensional nonlinear time history analyses of the Mataraci Bridge was carried out. Sayin et al. [6] modelled the historical Uzunok Bridge using three dimensional finite element method and they performed linear and nonlinear analyses. Altunışık et al. [7] investigated the arch thickness effects on the structural behavior of masonry arch bridges under dead load and live load. They achieved that the arch thickness of the masonry bridge influence the structural behavior. Rafiee and Vinches [8] evaluated mechanical behavior of a standard arch bridge and a stone masonry arch bridge under the various types of static loadings.

* Corresponding author. Tel.: +90 424-237-0000/5412.

E-mail address: erkutsayin@gmail.com (E. Sayin).

Sevim et al. [9] carried out a study about linear seismic analyses of two historical masonry arch bridges with operational modal analysis. Sayın [10] investigated the seismic response of a historical masonry arch bridge. Artificial acceleration records that generated considering the bridge location were used for the dynamic analyses. Karatöre et al. [11] performed nonlinear seismic responses of Malabadi Bridge. Three different earthquake levels (D1, D2 and D3) were selected for seismic loading.

In this study, seismic assessment of historical Musa Palas Bridge is evaluated under Erzincan (1992) earthquake acceleration records. For this purpose, three dimensional finite element model of the bridge is constituted by ANSYS software and dynamic analysis of the bridge is performed. After the analysis, dynamic responses of the bridge such as displacements and maximum-minimum principal stress are investigated.

2. MUSA PALAS BRIDGE

The case study structure is Historical Musa Palas Bridge. It is located in Baskil which is town of Elazığ, Turkey. The bridge is 32 m long and 6 m wide, 9.80 m in height and span of 11 m. The thickness of spandrel walls and arch are 0.40 m and 0.55 m, respectively. The bridge consists of an arch, spandrel walls, infill material and parapets. The floor type is rubble stone. Views of the Musa Palas Bridge are shown in Fig. 1. Section properties of Historical Musa Palas Bridge can be shown in Fig. 2.



Fig. 1. Musa Palas Bridge

Geometrical properties of the bridge are presented in Fig. 2.

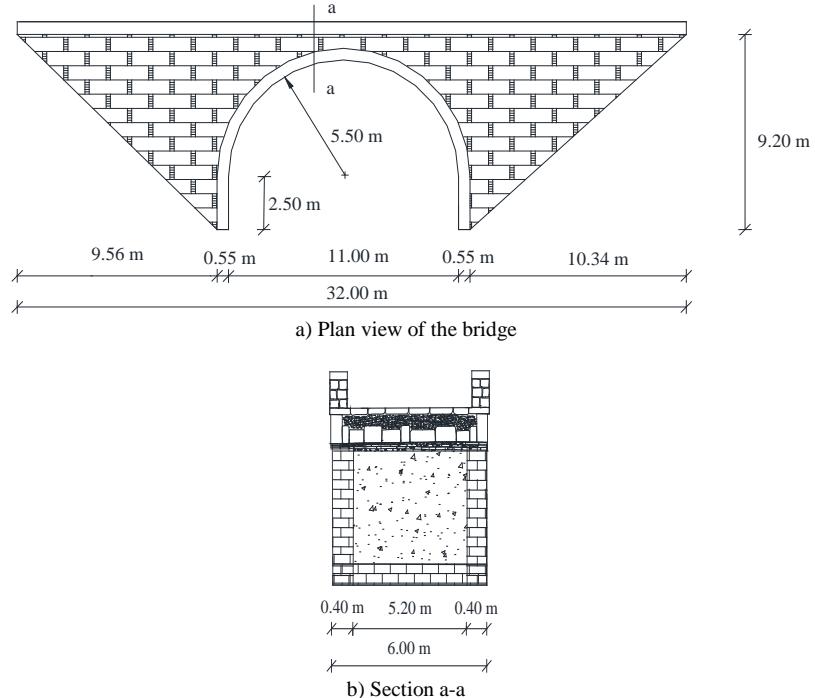


Fig. 2. Geometrical properties of Musa Palas bridge

3. FINITE ELEMENT MODEL OF THE BRIDGE

Three dimensional finite element model of historical Musa Palas Bridge is constituted using ANSYS software with macro-modelling approach. In macro-modelling approach, the masonry accepts as a composite without making a distinction between unit and mortar. ANSYS can be used for linear and non-linear, static and dynamic analyses of two and three dimensional model structures. SOLID186 element is used in the finite element model of the bridge. Solid element has 20 node and three degrees of freedom per node: translations in the nodal x, y, and z directions [12]. A schematic figure of the SOLID186 is shown in Fig. 3.

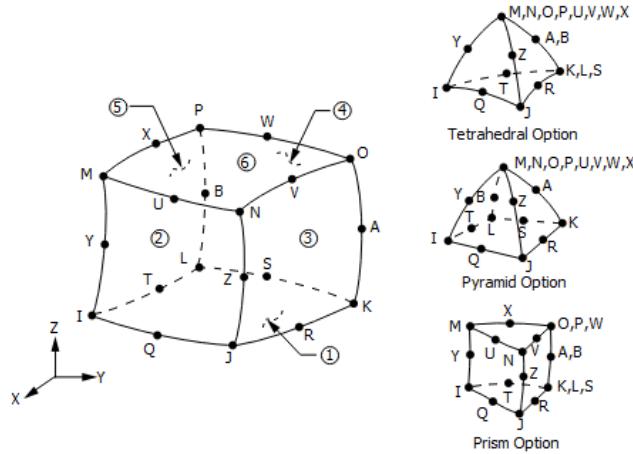


Fig. 3. Schematic model of SOLID186 element

There dimensional model of the bridge consists of 30057 node and 19354 solid elements. All degrees of freedom under the bridge is assumed as fixed in the finite element model. The finite element model of historical Musa Palas Bridge is seen in Fig. 4.

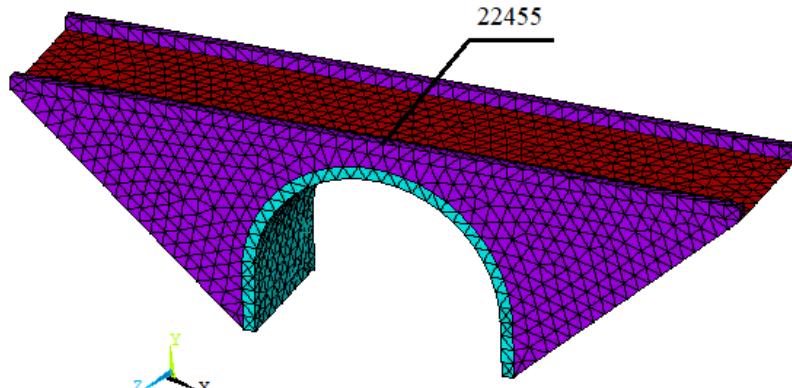


Fig. 4. Three dimensional finite element model of the bridge

Because of the difficulties to decide the material properties of historical structures, material properties of the bridge were taken from the similar studies in the literature [4]. Material properties of the historical bridge is shown in Table 1.

Table I. Material properties of the bridge

Material	Elasticity modulus	Density (t/m ³)	Poisson ratio
Arch material	2.5E6	2.5	0.2
Spandrel walls	2.2E6	2.2	0.2
Fill material	1.5E6	1.5	0.15

4. DYNAMIC ANALYSES OF THE BRIDGE

Linear transient analyses of the bridge were performed using 1992 Erzincan earthquake acceleration records. (Figure 5).

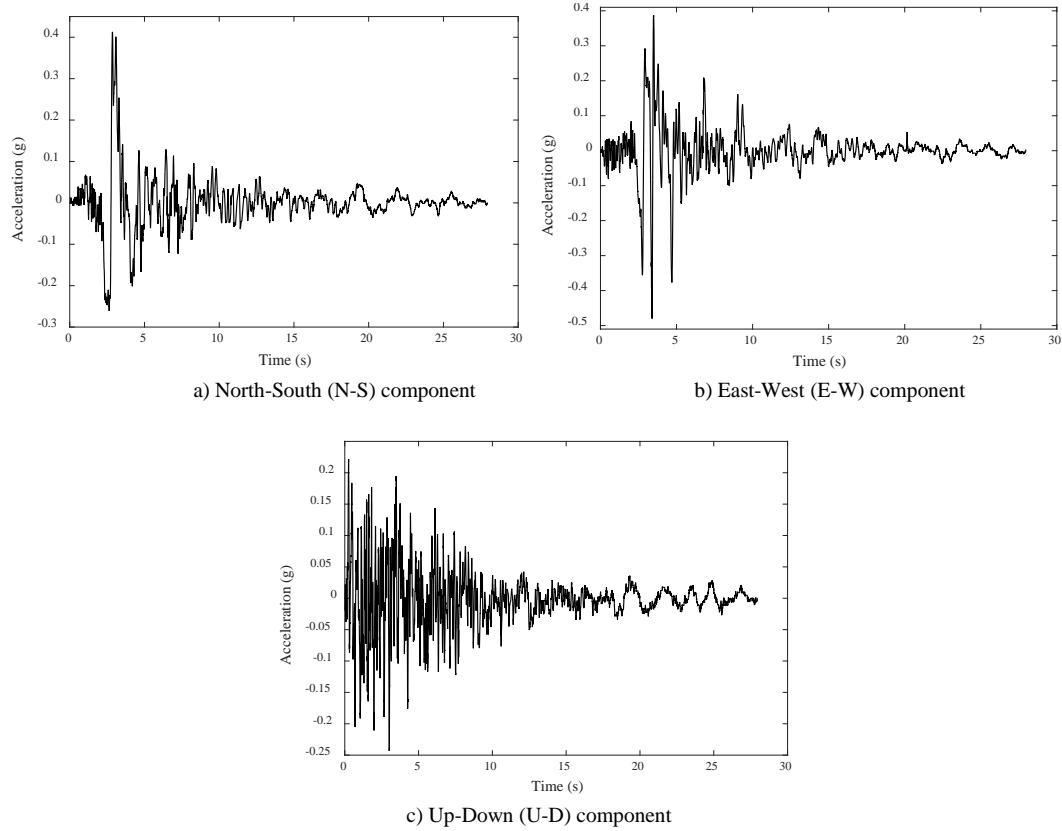


Fig. 5. Acceleration records of Erzincan earthquake

To assess the dynamic analyses of the bridge, E-W, U-D and N-S component of the earthquake is applied to the bridge at x, y and z direction, respectively. The first 10 second acceleration records of the earthquake which is effective duration is taken into account in the analysis. Newmark method is used in the solution of the equation of motion. Integration time step is selected as 0.005 s. In the linear dynamic analysis, Rayleigh damping constants were calculated for 5% damping ratio. The first four mode shapes and natural frequencies of the bridge are given in Fig. 6.

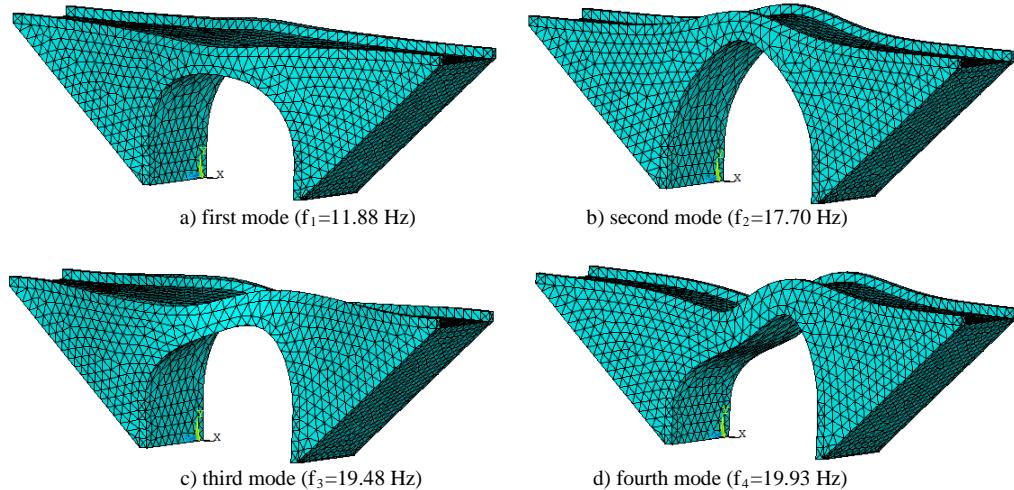


Fig. 6. Natural frequencies and mode shapes of the bridge

The time history graphs of the x, y and z directions of the displacement values of the nodal point 22455 which is marked at top of the bridge are presented in Fig. 7. Absolute maximum displacement of the nodal point is obtained as 0.19 mm, 0.67 mm and 1.57 mm in x, y and z direction, respectively. Maximum displacement is obtained at z (flow) direction.

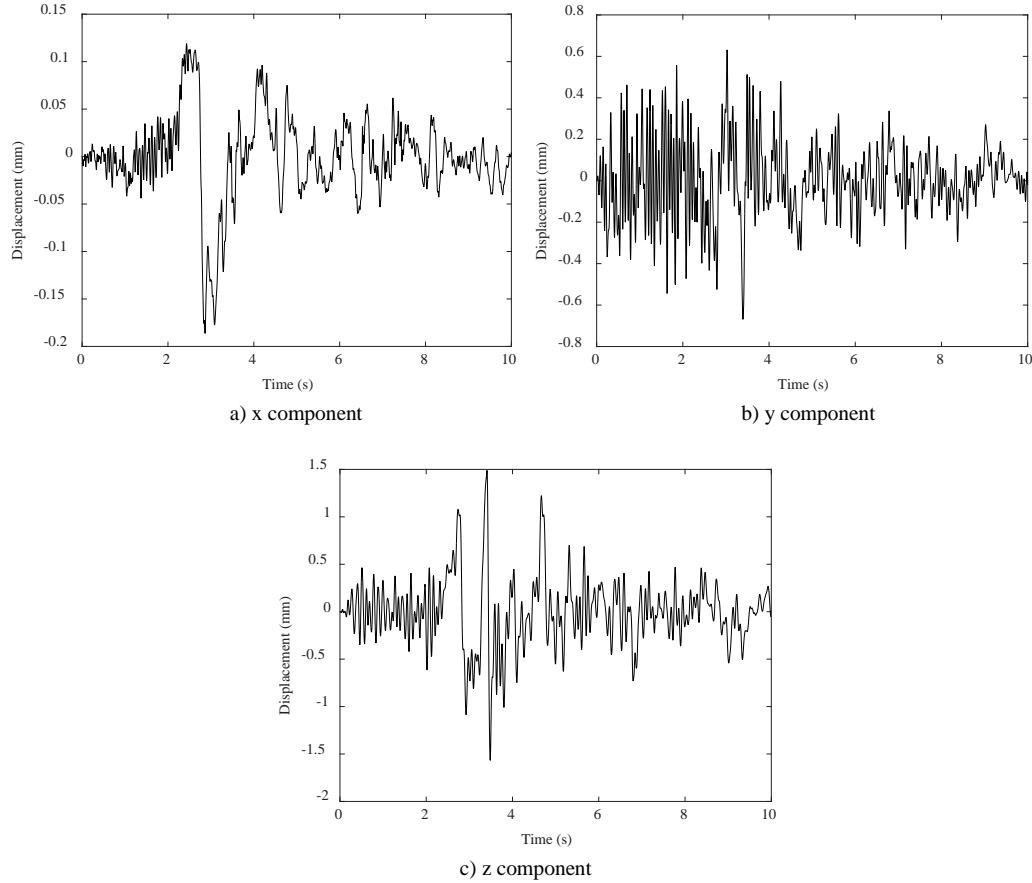
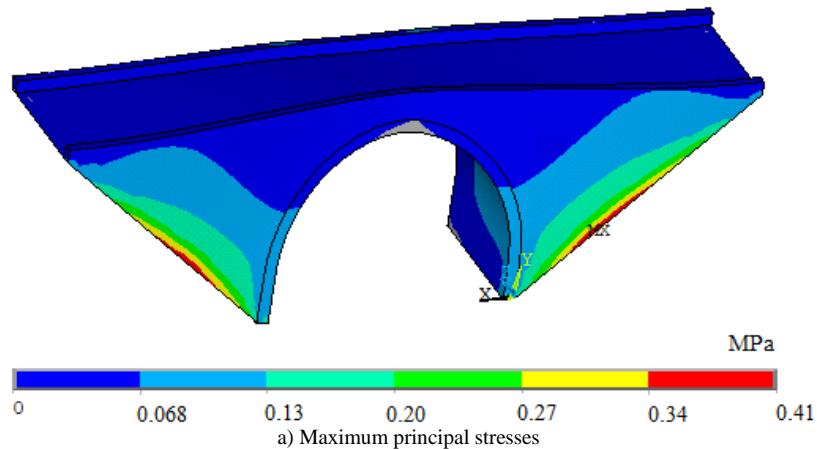


Fig. 7. The time histories of displacements at nodal point 22455

Maximum and minimum principal stress contours of the bridge are given in Fig. 8. It is seen from the figure that maximum and minimum principal stresses occurred at upper part of the spandrel wall and they are equal to 0.41 MPa and -0.46 MPa, respectively. It is likely that potential damages due to earthquake loads can occur initially at upper part of the spandrel wall if the maximum and minimum stress obtained in the analyses exceed the tensile and compressive strength of the bridge material.



a) Maximum principal stresses

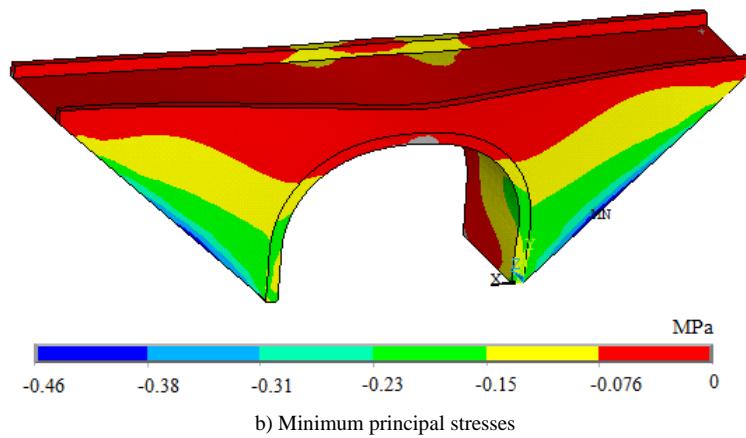
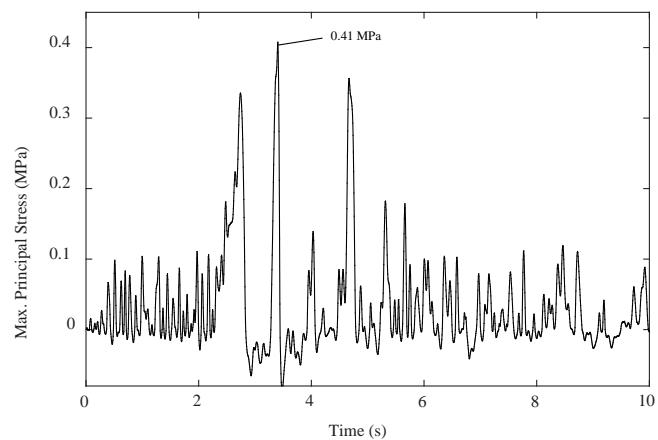
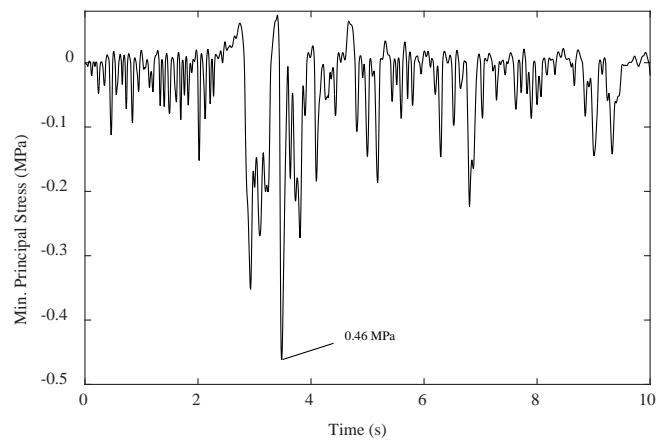


Fig. 8. Maximum and minimum principal stress contours of the bridge

Also, time histories of the maximum and minimum principal stresses of the bridge are given in Fig. 9.



a) Time histories of maximum principal stress



b) Time histories of minimum principal stress

Fig. 9. The time histories of maximum and minimum principal stresses of the bridge

5. CONCLUSIONS

It is very important to protection and restoration of historical monuments. Therefore, the structural characteristics of historical structures must be known. In this study, dynamic response of historical Musa Palas Masonry Bridge was investigated. The bridge was modelled with ANSYS software using macro modelling approach. For the seismic effect, 1992 Erzincan earthquake acceleration records were used and linear dynamic analyses of the bridge was performed. Displacement of the nodal point located at the top of the bridge was obtained in x, y and z direction. Also, maximum and minimum principal stress contours and time history graphs of the bridge were achieved. As a result of the linear dynamic analysis, it can be seen that the possible damages will initially start upper part of the spandrel walls.

REFERENCES

- [1] Toker, S., Unay, A.I., Mathematical modelling and finite element analysis of masonry arch bridges, *Gazi University Journal of Science* 17(2); 129-139, 2004.
- [2] Oliviera, D.V., Lourenço P.B., Lemos, C., Geometric issues and ultimate load capacity of masonry arch bridges from the northwest Iberian Peninsula, *Engineering Structures* 32(12); 3955-3965, 2010.
- [3] Royles, D., Hendry, A.W., Model tests of masonry arches, *Proc. Inst. Civil Engineers* 91(2); 299-321, 1991.
- [4] Brencich, A., Sabia, D., Experimental identification of a multi-span masonry bridge: The Tanaro Bridge, *Construction and Building Materials* 22; 2087-2099, 2008.
- [5] Güllü, H., Jaf, H.S., Full 3D nonlinear time history analysis of dynamic soil-structure interaction for a historical masonry arch bridge, *Environmental Earth Sciences* 75; 1421-1438, 2016.
- [6] Sayın, E., Calayır, Y., Karaton, M., Nonlinear seismic analysis of historical Uzunok bridge. *Seventh National Conference on Earthquake Engineering*, Istanbul, Turkey, 30 May–3 June, 2011.
- [7] Altunışık, A.C., Kanbur, B., Genç, A.F., The effect of arch geometry on the structural behaviour of masonry bridges, *Smart Struct. Syst.* 16(6); 1069–1089, 2015.
- [8] Rafiee, A., Vinches, M., Mechanical behavior of a stone masonry bridge assessed using an implicit discrete element method, *Eng. Struct.* 48; 739–749, 2013.
- [9] Sevim, B., Bayraktar, A., Altunışık, A.C., Atamtürktür, S., Birinci, F., Finite element model calibration effects on the earthquake response of masonry arch bridges, *Finite Elem. Anal. Des.* 47; 621–634, 2011.
- [10] Sayın, E., Nonlinear seismic response of a masonry arch bridge, *Earthq. Struct.* 10(2); 483–494, 2016.
- [11] Karaton, M., Aksoy, S., Sayın, E., Calayır, Y., Nonlinear seismic performance of a 12th century historical masonry bridge under different earthquake levels, *Engineering Failure Analysis* 79; 408-421, 2017.
- [12] ANSYS, Finite Element Software, Swanson Analysis System. Inc., Houston, TX, USA, 2015.



Environmental Aspect of Urban Regeneration Applications, The Case Of Niğde

A. Bozdağı¹, Ö.B. Gökçek^{2*}, S.S. Durduran³

¹Nigde Omer Halisdemir University, Department of Geomatic Engineering, Engineering Faculty,
Omer Halisdemir University, Niğde –

²Nigde Omer Halisdemir University, Department of Environmental Engineering, Nigde,
Turkey

³Necmettin Erbakan University Department of Geomatic Engineering, Engineering Faculty,
Konya – Turkey

Abstract

In the general sense of Turkey and the world, urban regeneration applications are defined as the reintegration of the cities with economic, social, environmental and physical dimensions. Urban transformation applications are an important application tool of sustainable urbanization. The success of urban regeneration applications comes to the forefront in the consideration of all dimensions of the city. Excessive collapses in cities, which have increased in recent years with migration, industrialization, urban sprawl, and inadequate green and open space increase climatic changes in cities. For this reason, these environmental effects should not be ignored in the process of urban regeneration in cities. The aim of this study is to ensure that the negative environmental conditions are regulated by the urban transformation studies implemented during the city's re-planning. Within this aim, Niğde province in Turkey was chosen as the application area due to unplanned urbanization and environmental problems. Firstly, the environmental situation analysis (physical structure and pollution) was done in the city and the regions where the need for urban transformation was determined as a stain plan draft. Then, the regulations to be made in the determined regions and the recommendations of strategic planning have been put forward.

Keywords: Urban regeneration, environmental sustainability, urban planning, urban politics.

1. GİRİŞ

Kentsel dönüşüm uygulamalarına ülkemiz ve dünyada farklı amaçlarla gereksinim duyulmuş ve bu amaçlar çerçevesinde yaklaşımlar benimsenmiştir. Ülkemizde kentsel dönüşüm uygulamaları, nüfus artışı ile artan altyapısı hazır imarlı arsa talebi yanı sıra gayrimenkul sermaye piyasasının yeniden yapılandırması sorununa bir çözüm arayışı ile ortaya çıkan ve araç olarak kentsel dönüşüm kavramını kullanan bir yapı izlemi vermektedir. Uygulamaların bu gereksinimlerle oluşturuluyor olması, yapılan uygulamaların alana ve alanda yaşayanlara tek amaç çerçevesinde hizmet etmesine neden olmaktadır.

Kentsel dönüşüm uygulamaları sadece nüfus artışı ile artan altyapısı hazır imarlı arsa talebini karşılamak ya da gayrimenkul sermaye piyasasının yeniden yapılandırılmak sorunu dışında uygulama alanında mevcut olan veya gelecekte olması muhtemel sorunların ele alındığı bir yaklaşım çerçevesinde olmalıdır. Özellikle kentsel alandaki sosyal, ekonomik ve çevresel planlamaya dair oluşan sorunlara çözüm üretecek nitelikte olmalıdır. Böylece uygulamalar kente dair sorunları tüm boyutlarıyla ele alıp, çözüm üretebilir. Aksi takdirde uygulamalar bütünlük yaklaşımdan uzak, stratejik planlama anlayışına sahip olmayan, sürdürülebilir kentsel ve bölgeler gelişmeyi desteklemeyen ve çağdaş yaşam kalitesinin artırılmasından uzak çalışmalar olarak ortaya çıkar.

Başarılı kentsel dönüşüm uygulamaları elde etmek için kentsel sorunların tüm boyutlarıyla (sosyal, ekonomik, çevresel ve planlama) ele alınması ve çok amaçlı yaklaşım tekniğinin benimsenmesi

gerekmektedir. Son yıllarda artan göç, sanayileşme, kentsel yayılma, açık ve yeşil alan yetersizliği ve iklimsel değişimler kentlerin dönüşüm sürecinde çevresel boyuta vermeleri gereken önemi artırmaktadır.

Kentsel dönüşüm uygulamaları kapsamında;

- enerjinin verimli kullanılmasının artırılması,
- kirliliğin azaltılması ve
- atık ve kaynaklar sürdürülebilir kullanılması ile

çevresel kullanımında karşılaşılan sorunlara çözüm üretilmesi sağlanabilir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Niğde ilinde kent merkezinde kentsel dönüşüm sürecinde yaşanan çevresel sorunlar incelenerek bu sorunlara yönelik kentsel dönüşüm ihtiyacı olan bölgeler belirlenmiş ve bu alanlara yönelik planlama önerileri geliştirilmiştir.

2. KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARI VE GENEL YAPISI

Kentsel dönüşüm uygulamaları; Türkiye'de ve dünyada planlamada kentsel alanın parçalanmış, bozulmuş ve köhnemiş yapısındaki çatlakları onararak kente yeniden kazandırmak, daha kullanışlı, verimli ve etkili mekanlar haline gelmesini sağlamak, bu sayede kentin artan nüfusuna barınma imkanı sağlayan yerel yönetimişlerin imar ve şehirciliğe ilişkin sorunlarını bir arada çözmek, kentsel arsa paylaşımına ya da verimli tarım arazilerinin kentsel alana açılmasını engellemek gibi amaçlar için yeni bir uygulama aracı konumundadır.

Kentsel dönüşüm uygulamalarında yaşanan sorunların tespiti için öncelikli olarak kentsel dönüşüm kavramı, kapsamlı, gelişim süreci ve gereksinimlerinden bahsedilmesi gerekmektedir.

Kentsel Dönüşüm Kavramı:

Kentsel dönüşüm, en genel anlamıyla “yitirilen bir ekonomik etkinliğin yeniden geliştirilmesi ve canlandırılması, işleyen bir toplumsal işlevin işler hale getirilmesi; toplumsal dışlanma olan alanlarda toplumsal bütünlüğün sağlanması; çevresel kalitenin veya ekolojik dengenin kaybolduğu alanlarda bu dengenin tekrar sağlanmasıdır”[1].

Kentsel Dönüşüm Kapsamı:

Plansız ve kontrolden kılınan gelişim, kente yeni katılan grupları ve kentin düşük gelir sahipleri açısından sağılsız çevre ve barınma koşulları yanı sıra sosyo-kültürel açıdan mülkiyet, kiracılık, suç, komşuluk ve dayanışma ilişkilerinde kopukluk, kentsel şiddet sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Kentsel alanda oluşan fiziki ve sosyal anlamları bu sorunlar kentsel dönüşüm uygulamalarının kapsamını oluşturmaktadır.

Tüm boyutlarıyla ele alınan etkileşimli bir kentsel dönüşüm çalışması; kent dokusunda oluşan fiziksel yapının ihtiyaç duyacağı kentsel yayımı önleyerek ve kentsel alanların optimum biçimde kullanılmasını sağlayarak kentsel politikaların belirlenmesini; kentsel alanda oluşan yasadışı ve yaşam kalitesi düşük kentsel alanların yasallaştırılması, sağlığılaştırılması ve sosyal yapının fiziki yapıyla bütünlük olarak geliştirilmesini; doğal, tarihi, kültürel mirasın ve ekolojik dengelerin korunmasını; kentin koruma- kullanma dengesi çerçevesinde tüm değerleriyle beraber ekonomik kalkınmasını veya gelişmesini amaçlar.

Kentsel Dönüşüm Uygulamaları Gereksinimi:

Kentsel dönüşüm uygulamalarına tarihten günümüze birçok nedenle gereksinim duyulmuştur. Kentsel dönüşüm uygulamaları dünyada sanayi devrimi sonrası kentlerin daha sağlıklı ve çevreye duyarlı hale getirilmesi yönyle geliştirilmiş ikinci dünya savaşı sonrasında ise yıkılan kentlerin yeniden üretilmesi ile gündeme gelmiştir. Türkiye'de ise öncelikle yangınların önlenmesi ya da ulaşım ihtiyacı ile ilk olarak ortaya çıkmıştır. Günümüzde dünyada daha çok kent merkezlerinin yeniden canlandırılması, sanayi alanlarının kente kazandırılması, rehabilitasyon ve tarihi kent çevrelerinin korunarak geliştirilmesi yönyle ortaya çıkmaktadır.

Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Gelişim Süreci:

Ülkemizde ilk göç hareketleri 1950'den sonra başlamış ve sonrasında yapılan planlarda ise nüfus hareketliliklerini doğru tahmin edilmediği için yetersiz kalmıştır. Kent çeperinde altyapı ve sosyal donanımlarından yoksun, sosyal ve kültürel yönden farklı tabakala mensup gecekondu bölgeleri oluşmaya başlamıştır. 1980 ve sonrasında gecekondu alanlarının yenilenerek kentsel arsa pazarına kazandırılmasına ilişkin ilk çözüm ıslah imar planları hazırlamak olmuştur. İslah imar planlarında istenen niteliksel çözümler elde edilememiş; yerini dünyadaki izlenen gelişmeler eşliğinde kentsel dönüşüm kavramı almaya başlamıştır.

Türkiye'de kentsel dönüşüm 1990'lı yıllarda Ankara'daki Portakal Vadisi Çiçeği uygulamasıyla başlamıştır. Bu süreç 1999 depreminden sonra ve 2003 yılı Kentsel Dönüşüm Kanun Tasarısı açılımıyla ülke genelinde

birçok belediye ve büyükşehir belediyesinde uygulanmaya devam etmiştir. Özellikle ülkemizde yapılan kentsel dönüşüm uygulamaları gecekondu alanlarında; bu alanların islah edilmesi, iyileştirilmesi, soylulaştırması içerikli gerçekleşmiştir.

2013 yılında çıkarılan 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüşürülmesi Hakkında Kanun kapsamında kentsel dönüşüm uygulamaları daha ülke genelinde bütüncül, kapsamlı ve planlı hale dönüşmüştür.

3. TÜRKİYE'DE KENTSEL DÖNÜŞÜMÜN BOYUTLARI

Kentsel dönüşüm uygulamalarının başarılı ve imar ve şehircilik açısından sürdürülebilir nitelik taşıması uygulamaların tüm boyutları (planlama ve tasarım, sosyal, ekonomik, yönetsel, yasal ve çevresel) ile ele alınması ile sağlanabilir.

Tablo I. Kentsel Dönüşümün Boyutları

Planlama ve Tasarım Boyutu	Çevresel Boyutu
<ul style="list-style-type: none"> * Kentsel dönüşüm alanı sınırının tespiti, * Kadastrosu yapılmamış alanlarda dönüşüm öncesi kadastronun tamamlanması, mülkiyet tespitlerin yapılması ve arazi değerlerinin belirlenmesi, * Kadastrosu bulunan alanlarda buna bağlı güncellemelerin yapılarak kentsel dönüşüm öncesi mevcut durumun tespiti (bina durumu, bina yaşı, kat adetleri, ...), * Dönüşüm alanına ilişkin kurumlara dair görüşlerin alınması, * Üst ölçek plan kararları, nüfus projeksiyonları, kentin gelişme yönü sosyal yapı gibi kriterlere bağlı olarak dönüşüm türü ve amacına göre yeni kentsel kullanım alanları (konut, ticaret, meydanlar ...) ve donatılar (okul, hastane, dini tesisler, ...) oluşturulması, * Dönüşüm sonrası yeni mülkiyet durumlarının vatandaşla teslim edilmesi, 	<ul style="list-style-type: none"> * Dönüşüm alanına ilişkin kurumlara (universiteler, ilgili odalar, çevre koruma dernekleri) dair görüşlerin alınması, * Alt yapı ve ulaşım sistemlerinin oluşturulması, * Kentin gelişme yönüne, nüfus değişimine ve iklimsel değişimine yönelik açık ve yeşil, sanayi bölgelerinin, yerleşim bölgelerinin ve baki özelliklerinin planlanması

Ekonominik Boyut	YönetSEL Boyut	Yasal Boyut	Sosyal Boyutu
*Ekonomik örgütlenmeler;	*Belediyeler	*2013 yılında çıkarılan 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüşürülmesi Hakkında Kanun	* Analizler aşamasında alana ilişkin toplumsal gereksinimlerin tespiti,
Kamu -Kamu	*Büyükşehir Belediyeleri		* Dönüşüm amacına göre sosyal yapıda olmasını istenilen değişikliklerin fiziksel yapıya yansıması (soylulaştırma,...),
Kamu -Özel	*TOKİ	* Dönüşüm Alanları Hakkında Kanun Tasarısı,	
Özel – Özel	*Bakanlık	<ul style="list-style-type: none"> * 5393 Sayılı Belediye Kanunu'nun Kentsel Dönüşüm ve Gelişim Alanı başlıklı 73. Maddesi, * Toplu Konut Kanunu, * 5366 Sayılı Kuzey Ankara Girişi Kentsel Dönüşüm Projesi Kanunu, 	

3.1. Kentsel Dönüşümde Çevresel Boyut

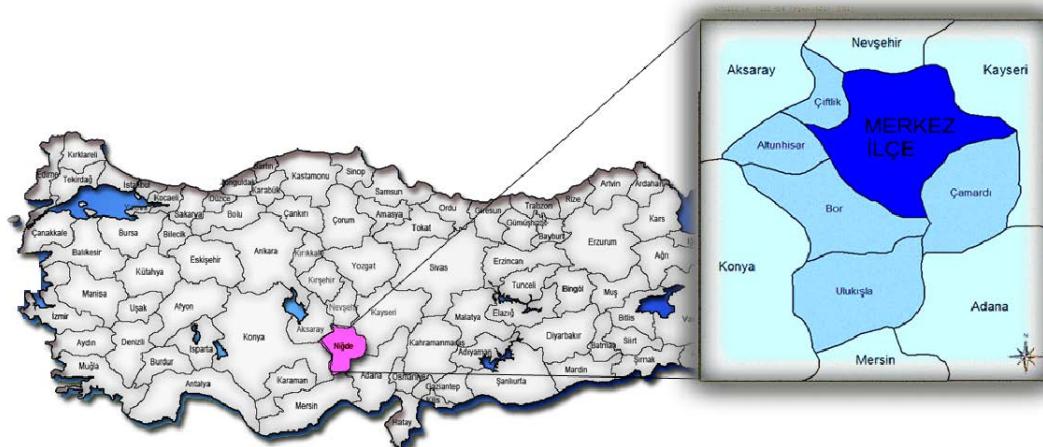
Kentsel dönüşümün çevresel boyutu deprem ve kentin fiziki yapı bileşenlerine ilişkindir. Ayrıca bir kentin çevresel yapı stratejisinin yapı riski ve yaşanabilirlik yönüyle incelenmesi gerekmektedir. Türkiye için yapı riski yaşanan deprem ve diğer kaçak yapı kullanıcıları ile oldukça gündemde olan bir konudur. Yapı riski ve yaşanabilirlik; bina durumu, bina cinsi, zemin durumu tehlikeli kullanıcılar, yapılarda kullanım uyumsuzluğu, altyapı, yoksulluk, ulaşım, donatı alanlarında yaşanan yetersizlikler, depremsellik, sel, havza kullanıcıları olarak ele alınabilir.

Bir Kent için Çevre stratejisi;

- alanda çevreyi iyileştirmek ve idame ettirmek üzere bir sürdürbilir alan stratejisi oluşturmak,
- konut sektöründe yaşanan yenilenemeyen enerji tüketimini azaltmak üzere bir Konut Enerji Stratejisi oluşturmak
- alanda yaşayan toplumun güvenliğini sağlamak üzere bir Toplum Güvenlik Stratejisi oluşturmak [2] olarak ifade edilebilir.

4. NİĞDE İLİNİN GENEL DURUMU

Çevresinde yer alan komşuları Kayseri, Nevşehir, Adana, Mersin ve Konya illerine göre daha az tanınan Niğde ili İç Anadolu Bölgesinin Güneydoğusunda ve Akdeniz Bölgesinin sınırında yer alır (Şekil 1). Kuzeyinde Kapadokya Bölgesi ve güneyinde Toros dağları bulunan Niğde bu iki farklı jeolojik yapıyı bir arada bulunduran bir konuma sahiptir [3].



Şekil 1. Niğde ili genel görünümü

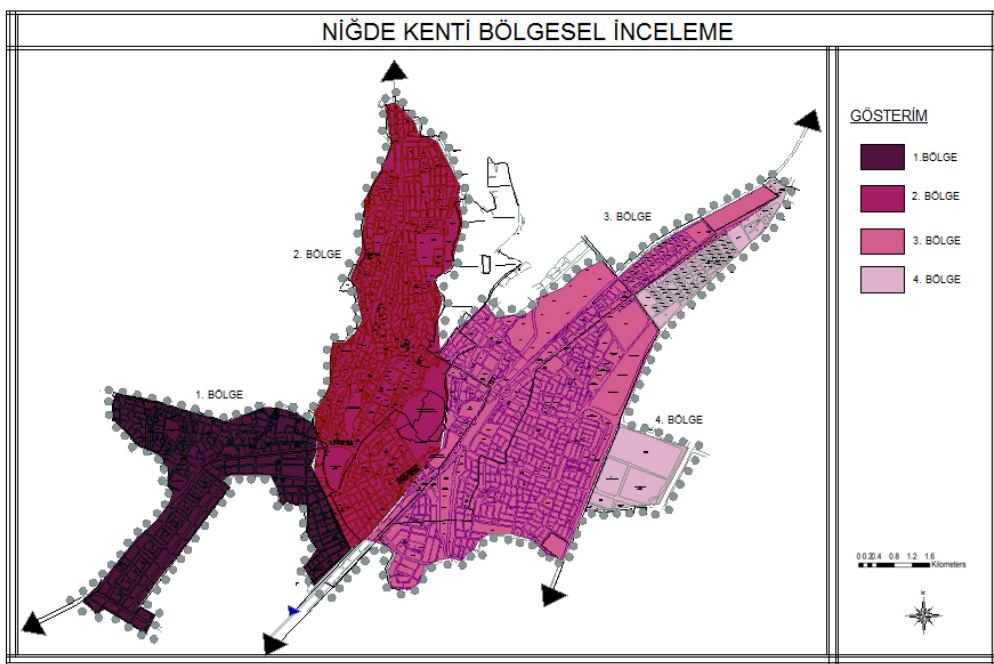
Niğde ili il ve ilçe merkezleri nüfus oranı % 49,21 ve Belde/mahalleller (köyler) nüfus oranı % 50,79'dur ve Niğde ili için kir-kent heterojenliğinden bahsedilemez [4]. Niğde ilinin ekonomik yapısı tarım ve sanayi sektörüne dayanmaktadır. Sektörel dağılım oranlarının sıralamasında çoğunlukla tarım sektörü, ardından; sanayi ve hizmetler sektörü yer almaktadır. Buna göre Niğde ili için tarım kenti olarak sınıflandırılması yapılmaktadır.

2025 yılı Niğde ili için önerilen sektörel dağılım incelendiğinde tarım sektöründeki yoğunluk devam ederken hizmetler sektörü ikinci ve sanayi sektörünün son sırada yer alması öngörmektedir [5].

Kentleşme sürecini ifade ederken bugün nüfusun artmasında çekici rol üstlenen sanayileşmenin getirileri dışında üniversite gibi eğitim kurumlarının yararları birçok yazar tarafından tartışılmıştır [6 ve 7]. Bu açıdan Niğde'de de kentleşme süreci ve nüfus yapısı 1992 yılında kurulan üniversite ile birlikte değişim sürecine girmiştir.

4.1. Mekansal-islevsel Analizler ve Sorunlar

Çalışma kapsamında yerel yönetimin kent bütününde yapmış olduğu imar planı çalışmalarında belirlenmiş sınırlara göre kent dört bölgeye ayrılarak incelenmiştir (Şekil 2).

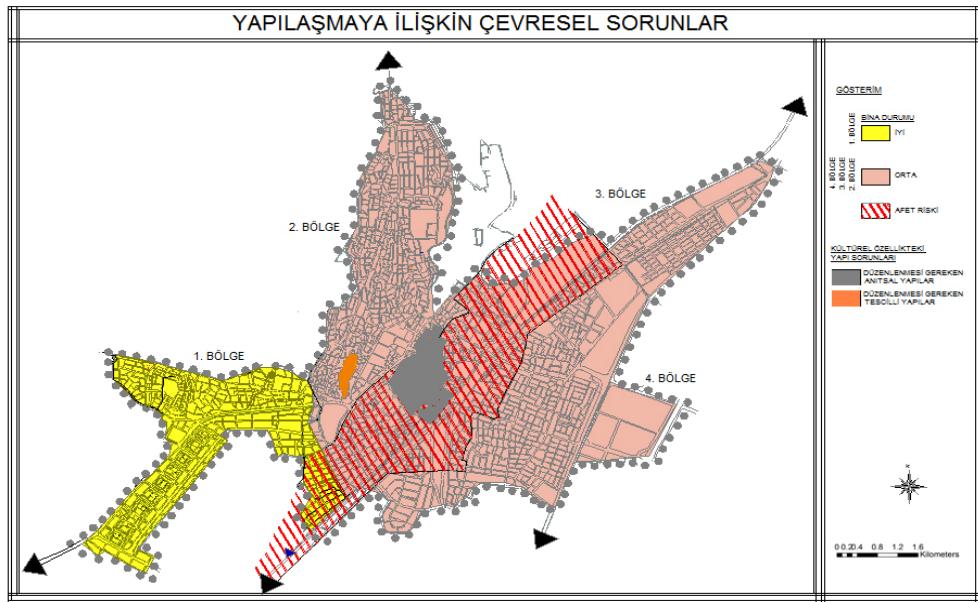


Şekil 2. Niğde kenti bölgesel inceleme şeması

Çalışmada kentin çevresel yapısı;

- Yapılasmaya ilişkin çevresel sorunlar
- Çevresel açıdan açık ve yeşil alan kullanımı değişimi ve
- Kentleşmeye bağlı oluşan çevresel sorunlar

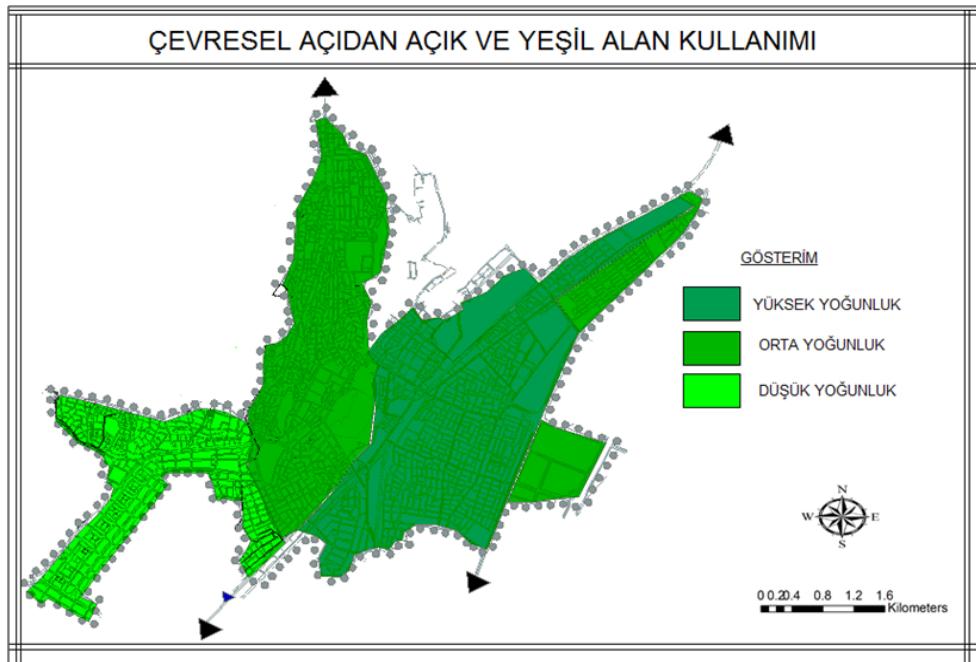
yönleriyle incelenmiştir.



Şekil 3. Yapılasmaya ilişkin çevresel sorunlar

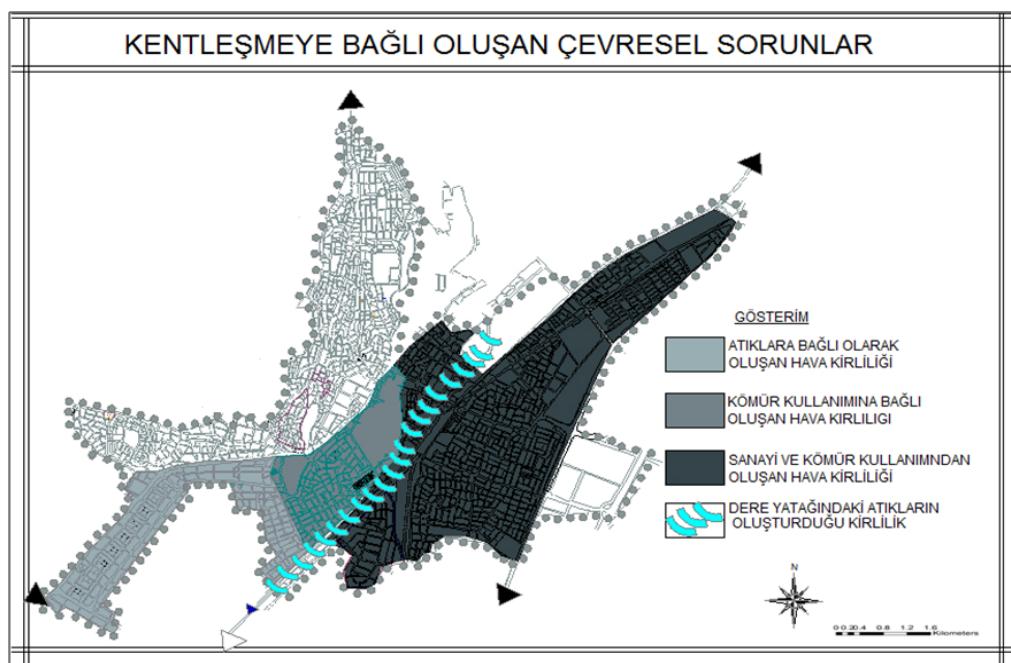
Şekil 3'e göre 1. Bölge kentin yeni yapılaşma alanında bulunan bina durumu iyi, betonarme ve deprem gibi afet risklerine dayanıklı yapıların yer aldığı bölgelerdir. Çevresel niteliği imar ve şehircilik mevzuatına uygun ve planlı gelişmiş bir bölgelerdir. Yapılaşmada bazı arsalardan maksimum kat sayısı elde etme düşüncesiyle güneş

ve manzara kriterleri göz ardı edilmiştir. Bu bölge için bakı sorunu yapılaşmanın en önemli çevresel sorununu oluşturmaktadır. Niğde kenti için 1. Bölge dışındaki diğer bölgeler için afet riski ilan edilen taralı bölge dışındaki bina durumu yakın çevresi ile değerlendirildiğinde orta düzeyde olduğu tespit edilmiştir. Bu bölgelerdeki yapılar çevresi, açık ve yeşil alanları, hizmetler sektörü kapsamında plansal bir bütünlömeye sahip olmayan daha çok arsa üzerinden parçacılık nitelikli gelişen özelliktedir. Afet riski olarak ilan edilen taralı bölgede yapılar kötü durumda yaşı ömrünü tamamlayan çevresel özellikleri ile kentin kimliğini ve yaşanabilirliğini olumsuz etkileyen niteliktedir.



Şekil 4. Çevresel açıdan açık ve yeşil alan kullanımı değişimi

Şekil 4'e göre kentin batı kesiminden doğu bölgelerine doğru gidildikçe açık yeşil alan miktarı artmaktadır. Bunun temel nedeni kentin doğu bölgesinin kültürel yapısının kırsal nitelikte olmasıdır. Kentin batı bölgeleri imar ve şehircilik açısından nitelikli açık ve yeşil alan dokusuna sahipken doğu bölgesinin (3 ve 4. Bölge) geliştirilmesi gerekmektedir.

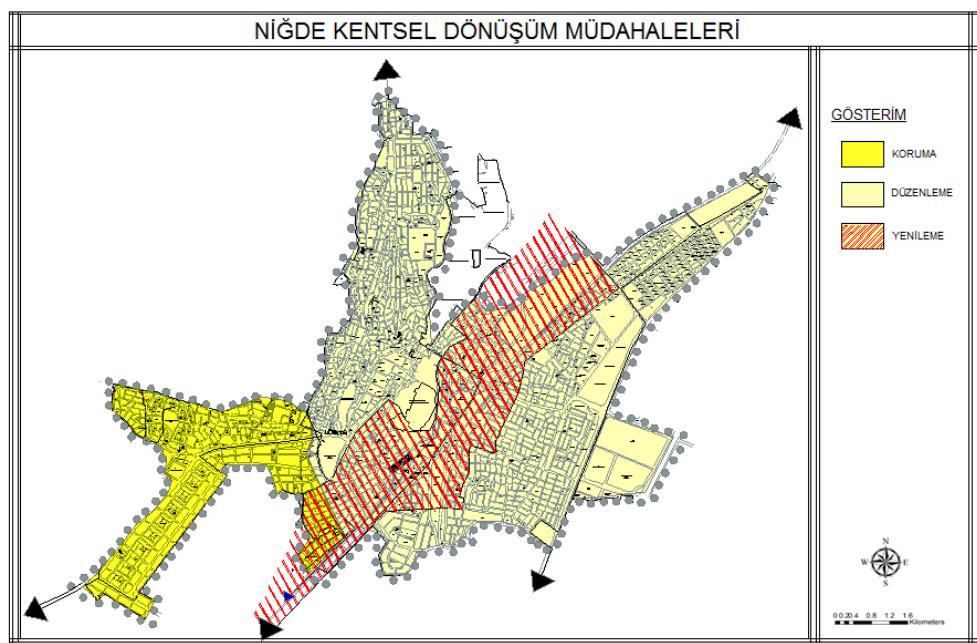


Şekil 5 Kentleşmeye bağlı oluşan çevresel sorunlar

Şekil 5'e göre Niğde'de yer alan Akkaya Barajına dökülen kanalizasyon ve diğer sanayi bazlı atıklar nedeniyle oluşan koku özellikle kış aylarında kentin 1. bölgesinde yoğunlukla hissedilmektedir. Hava kirliliği özellikle merkeze yakın bölgelerde kışın kömür kullanımını nedeniyle oluşmaktadır. 3. bölgede yer alan küçük sanayi alanları arazi kullanım niteliği olarak Kale ve çevresi için aykırı nitelik taşımaktadır. Genellikle düşük gelirli nüfusun yoğun olarak yaşadığı bölgede soفا kullanımını da yoğunluktadır. Bu nedenle kışın kömür kullanımına ilişkin hava kirliliği bulunmaktadır. Ayrıca bölgede yer alan sanayiden oluşan dere yatağına yönelik kirlilik bulunmaktadır.

4.2. Mekansal-işlevsel Açıdan Kentsel Dönüşüm Müdahaleleri

Kentin bölgesel olarak belirlenen sorunlarına ilişkin kentsel dönüşüm müdahaleleri geliştirilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6 Niğde kentsel dönüşüm müdahaleleri

Şekil 6'e göre Niğde kenti için korunacak, düzenlenecek ve yenilenecek alanlar tespit edilmiştir. Korunacak alanların yapı ve çevresel koşullarının mevcut haliyle korunması ve özellikle baki şartlarının yapılacak yeni yapılışmalarda iyileştirilmesi gerekmektedir.

Düzenlenecek alanlarda parçacılık planlama yerine mahalle bazlı ve nüfus ihtiyacına yönelik gerekli hizmetler sektörünün ve açık yeşil alanların oluşturularak bütüncül bir kent planlaması ihtiyacı bulunmaktadır. Çevresel kirlilik sorunlarına yönelik kalitenin yükseltilmesi amacıyla sanayi alanları ve çevresinde özel proje alanları oluşturulmalıdır. Sanayi alanları için desantralizasyon önerilmektedir.

Yenilecek nitelikte belirlenen alanlar kentin merkezinde ve kent kimliğini belirleyen bir bölgedir. Bu nedenle bu bölgenin kentin kültür ve tarihsel dokusunu yansıtan, mevcut afet riskinin dikkate alındığı, kent içi trafiğin ve kömür kullanımının getireceği olumsuz çevre şartlarının uygun açık ve yeşil alanlarla düzenleneceği bir vizyona sahip olmalıdır.

5. SONUÇ

Kapadokya Bölgesi'nde önemli tarihi ve kültürel değerleri barındıran Niğde kenti kentleşme ve çevresel yapı yönüyle planlamaya dair stratejilerini gerçekleştirememektedir. Bu durum çevresinde yer alan diğer iller içerisinde az gelişmiş bir konuma sahip olmasına ve nüfus kaybetmesine neden olmaktadır.

Bu çalışma ile Niğde kentine mevcut mekansal-işlevsel yapı sorunları çevre ve kent bütününde ortaya konulmuştur. Bu sorumlara ilişkin çözüm önerileri geliştirilerek Niğde'nin başta kent ve çevresel yapısında bütüncül planlama ilkeleri kurulmasının sürdürülebilir bir büyümeye için gerekli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kentsel dönüşümün bu süreçteki önemi ve Niğde kent bütününde yapılması gereken dönüşüm müdahalelerinin türleri (koruma, düzenleme ve yenileme) ortaya konulmuştur.

Niğde kentinin çevresinde yer alan gelişmiş kentler arasındaki rekabet edebilirliğinin artırılması ve yaşanabilir kentler seviyesinde bir vizyona sahip olması için sürdürülebilir kentsel dönüşüm müdahalelerine ihtiyaç bulunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Müge, A. Z. Kentsel Dönüşüm Üzerine Batı'daki Kavramlar, Tanımlar, Süreçler ve Türkiye, *TMMOB Şehir Plancıları Odası Yayıncılık*, 2006.
- [2] Özden, P. P., Yasal ve Yönetsel Çerçeveyle Şehir Yenileme Planlaması ve Uygulaması: Türkiye Örneği, *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ, İstanbul, 2002.
- [3] Öner, Z., S. (2010). Türkiye'de Afet Yönetimi ve Niğde Örneği, Sosyal Bilimler Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, Kamu Yönetimi Anabilim Dalı, Niğde Üniversitesi, 2010.
- [4] Çevre Durum Raporu, Niğde İli 2014 Yıl Çevre Durum Raporu, *Niğde Valiliği Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü*, 2015.
- [5] Keleş, R., *Kentleşme Politikası*, İmge Yayıncılıarı, 3. baskı, Ankara, Nisan.1996.
- [6] Aydemir, S., Karadeniz Teknik Üniversitesinin Kent ve Bölge Ekonomisine Doğrudan ve Dolaylı Ekonomik Etkileri, *Bölgesel Kalkınma Sempozyumu*, KTÜ-Trabzon, Bildiriler Kitabı, 195-210.1994.
- [7] Özyaba, M., Kentsel gelişmede üniversitenin rolü: Uludağ Üniversitesi ve Bursa. *UMED Uludağ Üniversitesi Mezunlar Derneği 3. Geleneksel Mezunlar Buluşması*, Uludağ/ Bursa, 4-5 Aralık 1999. (<http://www.kentli.org/makale/bursa.htm>), 1999.



Analysis of Noise Levels in University Campus Areas with the Help of GIS

Ö.B. Gökçek^{1*}, A. Bozdağ², S.S. Durduran³

¹Nigde Omer Halisdemir University, Department of Environmental Engineering, Nigde, Turkey

²Department of Geomatic Engineering, Engineering Faculty, Necmettin Erbakan University, Konya – Turkey

³Department of Geomatic Engineering, Engineering Faculty, Omer Halisdemir University, Niğde – Turkey

Abstract

The selection of the university campuses locations in the appropriate areas in the city is very important for the students and personnel in the service sector. It is also important that universities that offer some high-tech and health services have access to a publicly. However, in terms of the students who reside in the campus during the education period, the factors that affect working and sleeping arrangements should be found to be at a minimum level due to the location of the campus.

The fact that the noise levels of the faculties and dormitories are kept away from certain disturbing influences (such as engine, music and human voice) in the campuses is important for avoiding stress and similar psychological effects. In this context, whether the campuses are regularly exposed to these effects monitoring should be provided. Geographic Information Systems (GIS) is an important tool for monitoring this process and for locating and visualizing this change on maps.

Within the scope of this study, analysis of noise level in Niğde Omer Halisdemir University campus in Niğde province was carried out by GIS. In the study, it was aimed to organize the campus of the developing university considering the noise factor in this process. According to the findings obtained, proposals were made for planning noise reduction factors (traffic and open green area) in the campus.

Keywords: GIS, noise level analysis, spatial analysis, campus areas.

1. GİRİŞ

Ses, titresim yapan bir kaynağın, hava basıncında yaptığı dalgalanmalar ile oluşan ve insanda işitme duygusunu uyaran fiziksel bir olaydır. Gürültü ise, gelişigüzel bir yapısı olan, subjektif olarak istenmeyen ses olarak tanımlanan ses spektrumudur [url1]. Son yıllarda nüfus artışı ile birlikte kentleşme ve teknolojik gelişmelerin birbirine paralel olarak artmasının önemli sonuçlarından biri olan gürültü aynı zamanda önemli bir çevre, yaşam ve sağlık sorunudur. Gürültü insanların işitme sağlığını ve algılamasını olumsuz yönde etkileyen, fizyolojik ve psikolojik dengelerini bozabilen, iç performansını azaltan, çevrenin hoşluğununu ve sakinliğini yok ederek niteliğini değiştiren bir tür kirlilikdir [1]. Özellikle kütüphane ve eğitim kurumlarında gürültü düzeyinin düşük olması istenmektedir. Eğitim kurumlarında öğrenmenin ve öğretmenin temel amaç olduğu düşünülürse, bu amacın gerçekleştirilemesinde hem kurum içi fiziki ortam şartlarının ve hem de eğitim kurumlarındaki dersliklere etki eden dış ortam koşullarının bu amaçlar çerçevesinde en optimal değerler arasında olması gerekmektedir. Eğitim yapılarında gürültünün kontrol altına alınabilmesi için öncelikle mevcut gürültü düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gürültü düzeyinin belirlenmesinde yapının konumu da önem taşımaktadır. Özellikle, kampüs içinde yer alan yapıların gürültü kontrolünde dış mekanlar eğitim sürecinin bir parçası olduğu için, dış mekanlarda da gürültü düzeylerinin belirlenmesi gerekmektedir. Dış mekanlarda elde edilen gürültü düzeyleri yeni yapılacak yapıların konumlanması açısından da veri teşkil etmektedir. Dış mekanlarda yapılan ölçümlerde hem alan içinde oluşan gürültüler hem de alana sınır olan yoldan gelen gürültüler dikkate alınmalıdır.

Özdamar ve Baltacı [2], Ege Üniversitesi Yerleşkesi'nin gürültü profilini çıkarmışlar ve yapılan çalışmada yerleşme içinde alınan ölçüm sonuçlarının Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi ve Yönetimi Yönetmeliğinde belirtilen değerleri aştığını tespit etmişlerdir. Kumbur vd. [3], Mersin Üniversitesi Çiftlikköy yerleşkesinde 38 noktada eşdeğer gürültü seviyesini ifade eden (Leq) ölçümleri yapmışlardır. CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile Mersin Üniversitesi Çiftlikköy yerleşkesi gürültü kirliliği haritasını oluşturmuşlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Morova vd., [4] yaptıkları çalışmada yerleşme içerisinde daha önceden koordinatları belirlenen 96 noktada maksimum (Lmax), minimum (Lmin) ve eşdeğer gürültü seviyelerini (Leq), ölcerek ArcGIS 9.0 yazılımında IDW interpolasyon yöntemi kullanılarak her bir gürültü seviyesi için gürültü haritaları oluşturulmuş ve yapılan bu haritalar Quickbird uydu görüntüsü ile örtüstürülerek Süleyman Demirel Üniversitesinin gürültüden etkilenen alanları belirlenmiştir.

Bu çalışmada, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Kampüsünde dış ortamlarda gürültü düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bu değerler Coğrafi Bilgi Sistemleri kullanılarak haritalandırılmıştır ve ölçülen değerler standart değerlerle karşılaştırılarak olumsuz durumlar belirlenmiştir.

2. GÜRÜLTÜ ÖLÇÜMLERİ

Gürültü düzeyi dB (desibel) olarak ifade edilir. Desibel, gerçek anlamda bir birim olmayıp, bir oranın logaritmasıdır. dB(A), belli durumlar için insan kulağı duyarlığı ile dengelenmiş bir ölçme birimini kullanıldığını gösteren simgedir. İnsanın dayanabileceği ses şiddeti 0-120 dB arasındadır. Ses şiddetinin 120 dB'in üstünde olması insan kulagina fiziksel zarar meydana getirebilir. Açı verebilir ve işitme kaybına neden olabilir. Genelde, 85 dB'in üstü gürültü düzeylerinde zamanla meydana gelen işitme rahatsızlıklarının oluşmaktadır. Ses düzeyleri etkilerine göre zayıf (35-65 dB), kuvvetli (65-90 dB) ve çok kuvvetli (90-120 dB) şeklinde belirlenmiştir [5].

CBS, yeryüzünde mevcut olan ve sonradan oluşan her türlü verileri haritalamaya ve analiz yapmaya yardımcı olan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. CBS teknolojisi sorgulama, görüntüleme, istatistik analiz ve haritalarda gösterilen coğrafi analiz gibi ortak veri tabanı işlemlerini birleştirir. Bütün bu özellikler CBS'i diğer bilgi sistemlerinden ayırr ve strateji planlamada, sonuçları tahmin etmede, olayları açıklamada genel ve özel işlemlere cevap vermesi ile önemli hale getirir [6]. Son yıllarda gelişen teknolojilere paralel olarak CBS'nin kullanımı yaygınlaşarak gürültü konusunda da bu yöntemden faydalılmıştır [4].

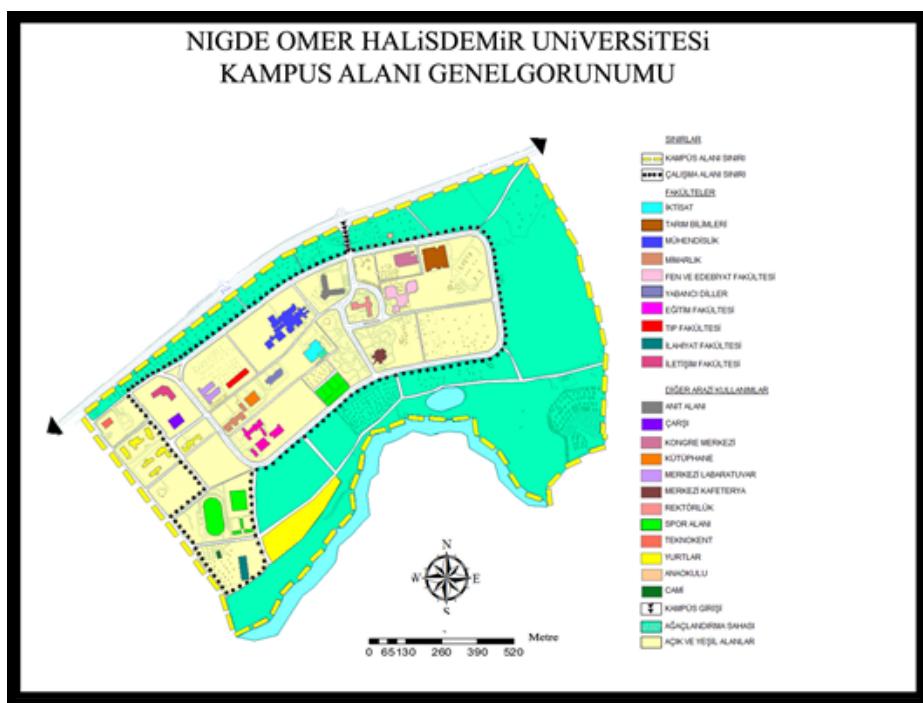
3. MATERİYAL VE METOD

3 Temmuz 1992'de kurulan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, 10 fakülte, 3 enstitü, konservatuvar, üç yüksekokul, altı meslek yüksekokulu, Rektörlüğe bağlı dört bölüm başkanlığı, 10 araştırma ve uygulama merkezi bulunmaktadır.

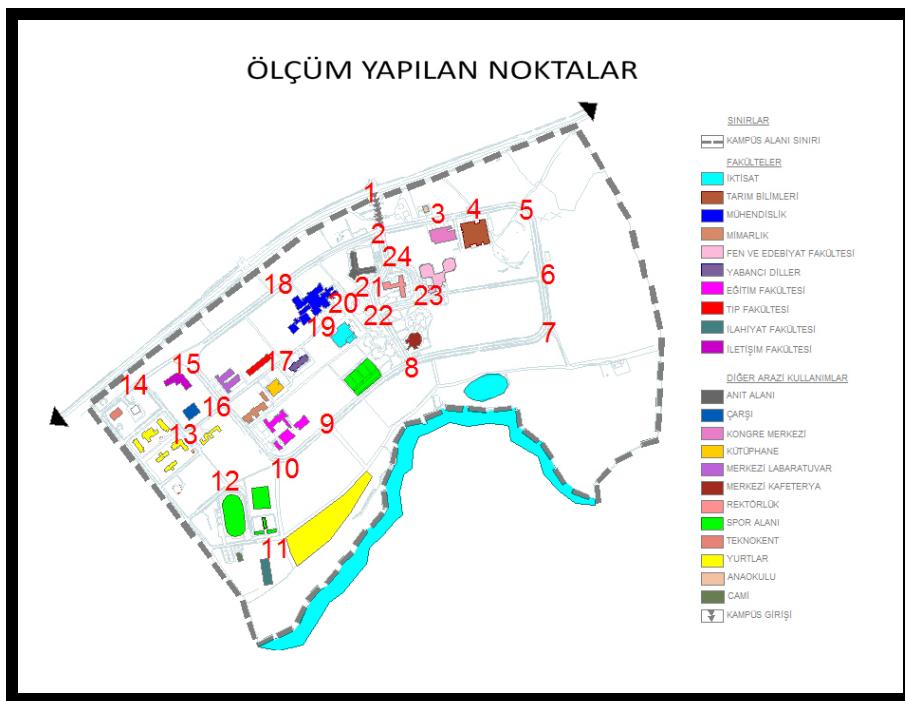
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez yerleşkesi Niğde-Bor karayolu üzerinde Niğde şehir merkezine 6 km mesafede olup, üniversite binalarının büyük bir kısmı bu yerleşke içerisinde yer almaktadır. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Yerleşkesi 1.820.587,54 m² lik arazi üzerinde bulunmaktadır. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi'nde öğrenim gören öğrenci sayısı yaklaşık 24000, akademik personel sayısı ise 847'dir; bunun 392'si öğretim üyesidir. İdari personel ise 529 kişidir [7].

Bu çalışmada Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez yerleşkesi içerisinde belirlenen 24 ölçüm noktasında sabah, öğlen ve akşam olmak üzere gürültü ölçümleri (dBA) yapılarak elde edilen sonuçlar Coğrafi Bilgi Sistemleri ile değerlendirilip yerleşkeye ait haritalar hazırlanmıştır. Merkez yerleşkesine ait genel görünüm haritası Şekil 1'de gürültü ölçüm noktalarının gösterildiği harita Şekil 2'de verilmiştir. Belirlenen ölçüm noktalarında sabah, öğle ve akşam olmak üzere 3 farklı zaman diliminde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde her bir koordinat alınan noktanın yer aldığı güzergah ve etki alanındaki gürültü ölçüm değerinin değişimini ölçmek amaçlı Kriging yöntemiyle gürültü yoğunluk analizi yapılmıştır. Kriging yöntemi, koordinatları bilinen noktalardan alınan verileri kullanarak diğer noktalarda ölçüm değeri bilinmeyecek verilerin optimum değerlerini tahmin eden bir interpolasyon yöntemidir. Kriging interpolasyon, yarıvariogram yapısal özelliklerini kullanılarak örnüklenmemiş noktalardaki konumsal değişikliklerin yansız tahminin optimal şekilde yapıldığı bir tekniktir. Kriging yöntemini diğer interpolasyon yöntemlerinden ayıran en önemli özellik, tahmin edilen her bir nokta veya alan için bir varyans değerinin hesaplanabilmesidir ki bu tahmin edilen değerin güven derecesinin bir ölçüsüdür [8].

Gürültü ölçümler gürültü seviyesi ölçülecek yolun, kavşağıın veya noktanın karşısında bulunan kaldırımların yola bakan kenarında yerden 1,5 m yükseklikte yapılmıştır. Gürültü ölçümleri sırasında, cihazın ölçümleri etkileyebilecek ölçüde herhangi bir gürültü çıkarılmamasına özen gösterilmiştir. Her ölçümünden önce cihaz kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktaların koordinatları Magellan marka eXplorist 610 model GPS'i ile tespit edilerek bilgisayar ortamina aktarılmıştır.



Şekil 1. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Kampüs Alani genel görünümü

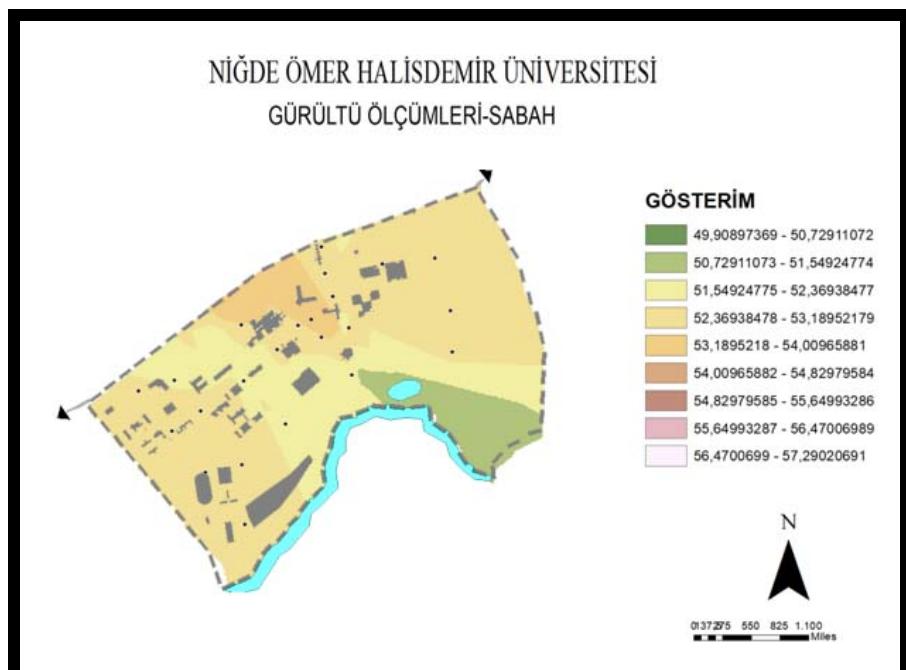


Şekil 2. Gürültü ölçümü yapılan noktalar

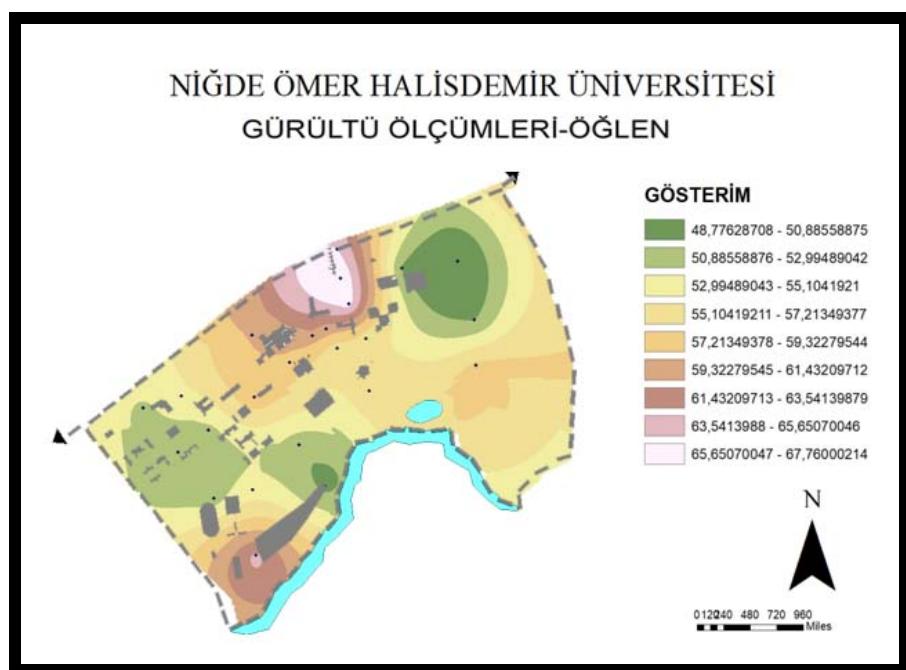
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan bu çalışmada Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Yerleşkesi’nde sabah 08:00-09:00, öğle 12:00-13:00 ve akşam 17:00-18:00 saatleri arasında 3 farklı zaman diliminde belirlenen 24 noktada gürültü ölçümleri gerçekleştirılmıştır. Ölçüm noktaları özellikle öğrencilerin ve trafiğin yoğun olacağı düşünülen noktalardan seçilmiştir. Gürültü ölçümü yapılan noktalarda GPS ile elde edilen koordinatların yerel düzeyde koordinat sistemi olan imar planına aktarılabilmesi için koordinatların ITRF96 küresel konumlama sisteminden ED50 yerel düzeyde konumlama sistemine dönüştürülmesi sağlanmıştır. Dönüşen koordinatlar

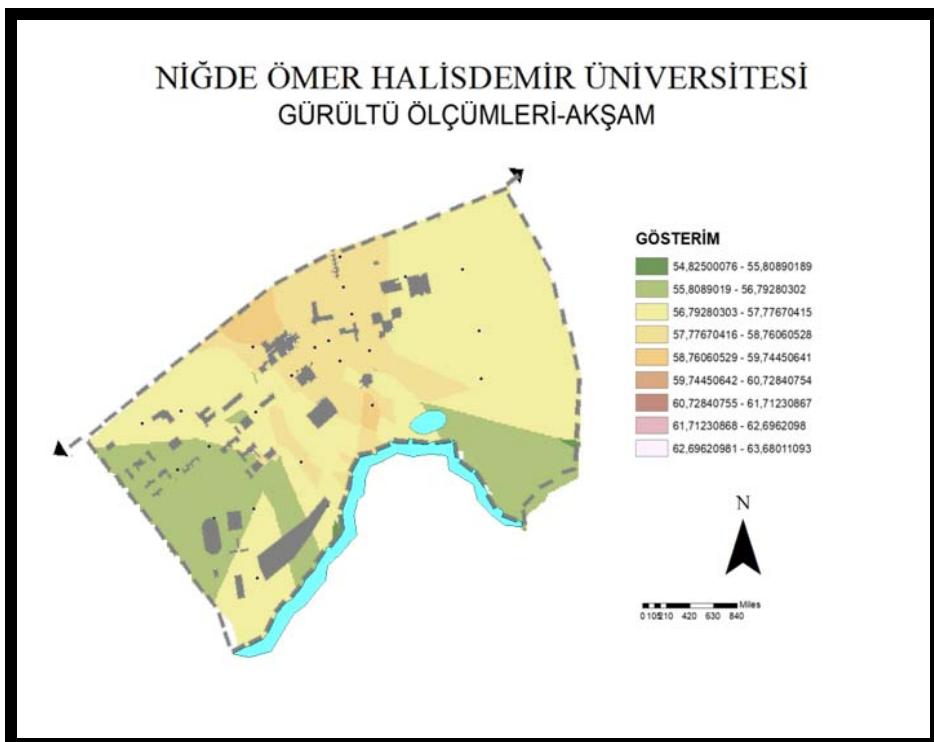
Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımlarından biri olan MapInfo ArcGIS 10.2 yardımıyla imar planı üzerine aktarılmış ve ölçüm yapılan her bir noktaya ait gürültü ölçüm değerlerinin programa veri girişi sağlanmıştır. Kriging yöntemiyle gürültü yoğunluk analizi yapılmıştır. Şekil 3-5'de sırasıyla sabah, öğle ve akşam saatlerinde yapılan ölçümlerin yoğunluk haritaları verilmiştir. Merkez Yerleşke içerisinde belirlenen noktalarda yapılan ölçümler neticesinde gürültü seviyeleri yaklaşık 49 dBA ile 68 dBA arasında ölçülmüştür. Buna göre 3 farklı zaman diliminde yapılan ölçümler karşılaştırıldığında öğlen saatlerinde yapılan ölçümlerde üniversite merkez yerleşkesine giriş yapılan ana kapıda (65-67 dBA) yurtların bulunduğu bölgelerde (61-63 dBA) özellikle araç güzergahlarında gürültü yoğunluğunun fazla olduğu görülmektedir. Sabah ve akşam saatlerinde yapılan ölçümler neticesinde hazırlanan haritada ise gürültü yoğunluğunun yine aynı şekilde üniversitede araçların giriş yaptığı ana kapı (54 dBA) ve yurtların bulunduğu bölgelerin (52-53 dBA) diğer binalara göre nispeten daha gürültülü olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen gürültü verileri işliğinde Merkez yerleşkesinde oluşan gürültü kaynağının büyük oranda trafik kaynaklı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 3. Sabah yapılan ölçüm sonucuna göre oluşturulan gürültü yoğunluk haritası



Şekil 4. Öğlen yapılan ölçüm sonucuna göre oluşturulan gürültü yoğunluk haritası



Şekil 5. Akşam yapılan ölçüm sonucuna göre oluşturulan gürültü yoğunluk haritası

3. SONUÇ

Bu çalışmada, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Merkez Yerleşkesinde dış ortamlarda gürültü düzeyi ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bu değerler CBS kullanılarak haritalandırılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde ortalama gürültü ölçüm değeri 55 dBA, en yüksek gürültü ölçüm değeri ise 68 dBA olarak belirlenmiştir. En yüksek ölçüm Niğde-Bor karayolu üzerinde bulunan üniversite ana kapısının olduğu bölgede tespit edilmiştir. En düşük gürültü ölçümü ise anayola, yurtlara ve eğitim öğretimin gerçekleştirildiği binalara uzak bölgelerde tespit edilmiştir. Yerleşme alanı içerisinde gürültünün ana kaynağının trafik olduğu belirlenmiştir. İkinci olarak gürültünün yoğun olduğu bölgeler kampüs otobüslerinin kalkış noktası olan yurtlar bölgesinde olduğu tespit edilmiştir. Meydana gelen bu gürültülerin önlenmesi için yol kenarlarına ses bariyerlerinin konulması, ağaçlandırma yapılması, ses yalıtımına karşı binalardaki eksikliklerin giderilmesi, trafik uyarı levhaları ile sürücülerin uyarılması, yol kaplamasının daha az gürültüye neden olan kaplama ile değiştirilmesi önerilebilir. Özellikle ders saatlerinde yerleşme içerisindeki araç trafiğinin yeniden düzenlenmesi, yerleşme içerisinde yapılacak bakım ve onarım faaliyetlerinin uygun zaman dilimlerinde yapılması sağlanarak ulaşabilecek gürültünün eğitim görülen binalara girişi önlenebilir.

Yapılan çalışma sonucunda belirli noktalardaki gürültü düzeyleri, bazı tedbirlerin alınmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gürültü denetiminde alınacak tedbirlerin başında özellikle yerleşkedeki yeni yapılan binaların inşaatında TSE standartlarına uygun gerekli izolasyonların yapılması sağlanmalıdır ve aynı özen kullanılan cihazlardan kaynaklanan gürültünün giderimi için yapılacak çalışmalarda da gösterilmelidir. Çevresel Gürültünün Değerlendirilmesi Ve Yönetimi Yönetmeliği'ne göre "konut, yataklı hizmet veren sağlık kurumları, eğitim kurumları, çocuk ve yaşı bakım evleri, canlı müzik izni almış olan oteller hariç diğer oteller, açık arazideki ve yerleşim alanı içindeki sessiz alanlar gibi kullanıcılar" çok hassas kullanıcılar olarak belirtilmektedir. Ayrıca gürültüye hassas alanların çevrelerine uygun bitki deseninin seçimi ve ses yalıtımını sağlayan perdelerin oluşturulması ile bu bölgelerdeki gürültü düzeyleri en aza indirgenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Biçaklıçı, T., Selek, Z., Trafikten Kaynaklanan Çevresel Gürültü Haritaları Ve Çukurova Üniversitesi Kampüsü Örneği, Ç.Ü Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt:28-2, 2012.
- [2] Özdamar, A. ve Baltacı, A., Ege Üniversitesi Kampüsü Gürültü Profili, Mühendis ve Makine, Makine Mühendisleri Odası Yayıncı, 496, 2001.

- [3] Kumbur, H., Özer, Z., Avcı, D. E., Mersin üniversitesi Çiftlikköy Kampüsü Gürültü Seviyelerinin CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) ile Analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 13 – 16 Eylül 2006.
- [4] Morova, N., Şener, E., Terzi, S., Beyhan, M., Harman, B.İ., Süleyman Demirel Üniversitesi Yerleşkesinin Gürültü Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hazırlanması, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 14-3, 271-278, 2010.
- [5] Karabiber, Z., YTÜ Yayın no: 210 Mimari akustikle ilgili başlıca tanım , terim, formül ve büyüklükler, 1991.
- [6] Maguire, D. J., Goodchild, M, and Rhind, D.W., Geographic Information Systems: Principles and Applications. Longman/Wiley, 1991.
- [7] Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İkinci Stratejik Planı, 2013-2017.
- [8] Taylan, E. D., Damçayıṛı, D., Isparta Bölgesi Yağış Değerlerinin IDW ve Kriging Enterpolasyon Yöntemleri ile Tahmini, İMO Teknik Dergi, 7551-7559, Yazı 459 Teknik Not, 2016.



An Overview of Developments in Bio-Radar Applications

I.Şeflek¹, Y.E.Acar², E.Yaldız¹*

¹*Department of Electrical & Electronics Engineering, Konya Technical University, Konya, Turkey*

²*Department of Electrical & Electronics Engineering, Selçuk University, Konya, Turkey*

Abstract

The idea of remote contactless detection of an object is a matter that has been very interesting for human beings. Because of this reason radar have been invented and have found many application areas for about eighty years. The studies aiming at the use of radars in the indoor environment have recently become popular. In these studies, it has been argued that radar can be used for contactless vital signs detection and new fields of study have emerged. Radar used for vital signs detection is called bio-radar. This paper presents information on the development and current status of bio-radar applications. In addition, bio-radar structures and basic signal processing methods are demonstrated.

Keywords: Vital signs, bio-radar, respiration, heartbeat, noncontact measurements.

1. INTRODUCTION

The discovery of the existence of electromagnetic waves and the transfer of information wirelessly; reveals the idea of remote sensing the existence of an object. For this purpose, electromagnetic sensors called radar (radio detection and ranging) have emerged. Radar produced by German engineer Hülsmeyer in 1903 for ship detection; military intentions were intensively used in the Second World War, and in the 1970s, commercial applications were begun to be developed and used [1]. Radars have taken place in many different areas. Various types of radar are used to detect abnormal conditions of structures, non-destructive testing and detection of sub-surface objects, for example, collision detection and awareness, in the automotive sector, detection and imaging in medicine. Also radar have found the application area in many indoor environments such as home security, through wall detection, life support for the elderly and detection of vital signs [2].

Radar, which enables vital signs to be obtained by non-invasive, is called bio-radar [3]. The idea of non-contact vital signs detection first appeared in the 1970s [4]. However, the technology was not sufficiently developed at that time and high costs prevented the acceleration of radar study in medicine. The use of surface-mount devices (SMD) in the last two decades and the improvements of production technology have allowed the development of inexpensive and compact radar systems based on continuous wave radar (CW), ultra wideband radar (UWB), frequency modulated continuous wave radar (FMCW) and step frequency continuous wave radar (SFCW) techniques. Thus, the studies have gained speed in the field of medicine.

The vital signs that are obtained wirelessly cause the disappearance of the many problems in daily life especially in medicine. Obtaining signals that don't require the patient to be kept under surveillance with the probes attached to the body provide the patient comfort and facilitating the work of specialists. Especially, vital signs monitoring in burn and newborn cases make the current situation even more difficult by contacting probes with the patient. This situation both limits the movement of the patients and causes various injuries.

The paper is organized as follows Section 2 shows the studies about bio-radars. The bio-radar structures used in Section 3 are described. Finally, conclusion of this study is presented Section 4.

* Corresponding author. Tel.: +90 332-223-2034

E-mail address: iseflek@selcuk.edu.tr (I. Şeflek).

2. RELATED WORKS

A microwave technique was introduced to measure respiratory movements of humans and animals in the study, which is regarded as the basis for the noncontact vital signs detection [4]. However, the lack of technology in the period of studying has reduced the intensity of these studies in a certain duration. With the emergence of Complementary Metal Oxide Semiconductor (CMOS) technology, the subject has become popular again. The cheap and high precision radar system invented and developed at LLNL (Lawrence Livermore National Laboratories) is presented. Thanks to the radar system that produces short pulses, radar has found many new uses in the field. Researchers have developed a compact, low-power and cost-effective radar which has named the micropower impulse radar (MIR) and patented it [5-6]. Figure 1 shows the generated radar.

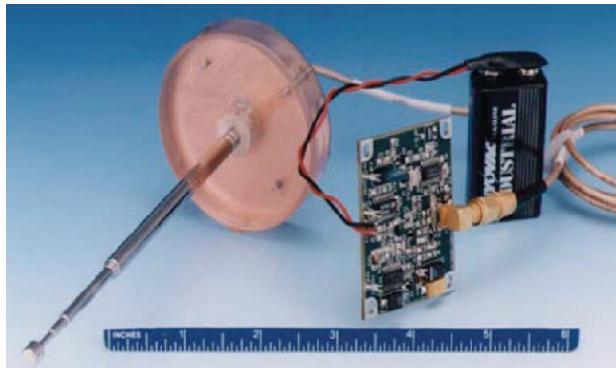


Fig. 1. MIR Radar [5]

Since the beginning of the year 2000, bio-radar studies have gained speed by considering different scenarios. A radar system has been introduced that can be used to detect people who have been hidden behind earthquake demolitions or various obstacles. This system operates at 1150 MHz or 450 MHz. It can detect the breathing and heartbeat signals of human subjects from an earthquake rupture or an obstacle of about 10 ft. thick. The clutter generated by the reflected wave from the fixed background can be removed completely. Thus breath and heartbeat signals, by the waves reflected from the human body, are detected. The system has been simulated and tested in realistic earthquake demolitions [7]. In another work using CMOS technology, a microwave Doppler-radar operating at 1.6 and 2.4 GHz is designed. The ability to detect heartbeat and breathing-related motion from a distance of 50 cm has proven to be useful in monitoring sleep apnea for infants and adults. Also using a quadrature (IQ) receiver, the measurements showing the performance advantages of the IQ receiver are presented [8]. In another study, quantitative measurement of body volume change due to respiration was performed. The experiments were conducted on seventeen healthy volunteers using a continuous wave microwave sensor. A PLL (Phase Locked Loop) synthesizer with a carrier frequency of 2.42 GHz was used as the transmitter. This operating frequency is on the ISM (Industrial Scientific Medical) band and does not require a specific license. A receiver based on a heterodyne architecture detects the in-phase (I) and quadrature-phase (Q) components of the back-scattered signal. A convenient data processing system has been developed which can reject most breath measurements taken on inappropriate conditions [9].

With the emergence of System on Chip (SoC) technology, this innovation is also reflected in radar designs. Ultra-wideband (UWB) SoC radar sensor for monitoring respiratory rate has been implemented with 90 nm CMOS technology and the performance of the operation is demonstrated by tests. The radar sensor is used for non-contact detection of adult and infant respiratory activity. The results of the tests showed that the UWB radar sensor detected subcentimeter chest movements and detected the respiratory rate of the person under test. This allows contactless monitoring of the vital signs of patients and of the individuals under observation [10]. A study was carried out in the laboratory to detect vital signs by SFCW radar technique through cardio-respiratory signals of a human among the obstacles. Experiments have been organized by various detection scenarios by collecting data from humans. Experiments have investigated the effect of varying thicknesses of obstacles, human subjects' posture, respiration status, position of the radar antenna relative to the human chest, as well as the length of the measurement time. The experimental results have shown that respiration can be detected with very high accuracy as a primary vital sign. It has shown that radars should be developed in order to be used in search and rescue operations in disasters such as earthquakes. It has been stated that the minimum recording time for the respiratory signal may be 5 seconds, while the 30 second breath is sufficient to capture the respiratory signal with a high signal / noise ratio [11].

In recent years, radar has been used in experiments to determine the respiratory activities of laboratory animals in order to support pharmacological studies. Prior to the use of radar, respiratory activities have been carried out with expensive and cumbersome procedures that require the application of sensors in the animal's body. A feasibility study was conducted by Anishchenko et al. on the possible use of bioradar devices for contactless monitoring of respiratory rhythm of live rodents. The experiments were performed in laboratory conditions on

sleeping mice using a continuous wave Doppler radar operating at 13.8-14.2 GHz. The recorded signals are processed by a data processing strategy based on a new motion-dependent artifact filtering procedure. The main purpose is to characterize the respiratory pattern during sleep phases. The results showed that bio-radar measurements were consistent with standard monitoring methods [12]. Deciding on the presence of obstructive sleep apnea (OSA) and early warning of danger is very important in the diagnosis of sleep disturbances. A new method based on the wavelet information entropy spectrum has been proposed to determine the presence of apnea in the OSA respiratory signal sensed by the bio-radar in the wavelet domain. During apnea, weak air flow and strong irregularity due to brain stimulation and respiratory signal disturbance are observed. It has been tried to be shown that this disease can be detected by means of vital signs obtained from the bio-radar. The experimental results have shown that the proposed method is effective for detecting the sleep apnea and at the same time identifies some apnea cases that the energy spectrum cannot. It has reported that the accuracy of the study was reached to 93,1% and the contactless identification of OSA can be realized by radar [13].

In some studies, more than one radar was built on a single structure. Instead of using separate platforms for each type of radar, a Multi-Mode Radar (MMR) with a reconfigurable center frequency that includes both CW and SFCW Doppler radar functions is one of these studies. The MMR is controlled by a microcontroller and can be used indoors to detect long-range vital signs from multiple subject. The radar has been implemented and used experimentally to monitor heart rate both short and long-range. The frequencies of the signals are determined by Fast Fourier Transform (FFT). Long distance measurements were performed in the CW mode, where the sensitivity was higher than in the SFCW mode, reaching more than 97% accuracy [14]. In a study based on wavelet transformation, an algorithm based on the wavelet entropy method is presented for the detection of multiple targets since there are significant frequency differences between the human echo signal and the noise in the shadowed region. The study was carried out with UWB radar. The findings show that the value of the entropy is much lower than the noise. Compared with adaptive filtering and energy spectrum methods, wavelet entropy gives better results in human detection [15]. A SoC RF impulse-based radar system is introduced for applications involving the monitoring of vital signs. The transmitter complies with the standards of regulatory agencies such as the Federal Communications Commission (FCC), the European Telecommunications Standards Institute (ETSI), and the Korea Communications Commission (KCC) with bandwidths of -10 dB at 1.4 and 1.5 GHz centered at 7.29 and 8.748 GHz. The receiver samples the reflected signal at 23.328 GS / s, covering a range of 9.9 m. The measured front end noise value is 6.3 dB with a gain of -14.7 dB at 7.29 GHz. Respiration and heart rate induced breast movements from a human subject are determined at 9 and 5 m, respectively. All necessary power management and clock functions are integrated on the chip. SoC is applied to 55 nm CMOS. In active mode, the system consumes 118 mW of power from a 1.8 V power supply [16].

Studies have also been carried out on the realization of electromagnetic models for heart rate and respiration rate detection. Nahar et al. developed an electromagnetic model that has been experimentally confirmed with non-contact measurements using an ultra-wideband radar. The model was proved to be true for both heart rate and respiratory rate detection within 5% error compared to conventional sensor (contact) measurements. This model can be used to explore various human activities and motion scenarios and to develop more advanced radar system with signal processing techniques [17].

3. MATERIAL AND METHODS

The remote obtainment of vital signs as non-contact has led to the emergence of bio-radar in different structures. Continuous wave (CW) Doppler radar is used extensively for this purpose. Figure 2 shows the block diagram of a CW radar.

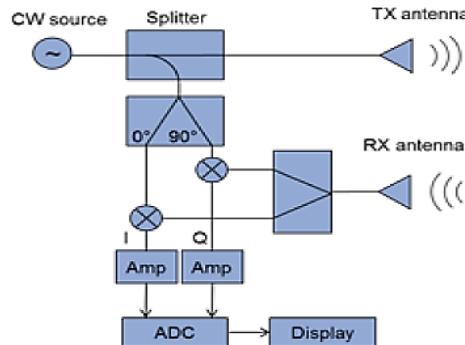


Fig. 2. CW radar block diagram [18]

In CW Doppler radar operation, the transmitter (Tx) produces a signal without modulation. A large part of the generated signal is radiated by means of the transmitting antenna while a small part is sent to the receiver (Rx) circuit via the power divider for use. The signal emitted by the Tx antenna can be expressed as in Equation (1).

$$X_T(t) = A_T \cos(2\pi f t + \phi(t)) \quad (1)$$

where A_T , f and ϕ represent the amplitude, frequency and phase of the signal, respectively. The emitted electromagnetic signal is reflected from the target surface and returns to the receiver. The receiving signal contains periodic physiological motion information (respiration and heartbeat). $d(t) = d_o + x(t)$ indicates the distance between the target and the radar (where the nominal distance d_o is the periodic displacement of $x(t)$). In this case, the signal obtained by Rx is expressed as in Equation (2)

$$X_R(t) = A_R \cos(2\pi f t - \frac{4\pi d_o}{\lambda} - \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi(t - \frac{2d(t)}{c})) \quad (2)$$

In Equation (2), A_R and λ are the amplitude and the wavelength of the signal received by Rx, respectively; c is the speed of light. The signal sent from the transmitter to the receiver is used to generate two reference signals, one with the same phase and the other with 90 degrees of phase shift. The purpose of this process is to convert the reflected signal to the baseband. When the received signal is down converted by the mixers, two baseband signals are obtained. One is the in-phase $I(t)$ signal and the other is the quadrature $Q(t)$ signal. The circuit structure that allows the output of 90° phase-different $I(t)$ and $Q(t)$ signals is known as I/Q demodulator. The purpose of this demodulator is to achieve the optimum demodulation accuracy and to ensure that the baseband output is proportional to the chest displacement. After the I/Q demodulation, mixer outputs are expressed as in Equations (3) and (4).

$$I(t) \cong \cos(\frac{4\pi d_o}{\lambda} + \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi_R(t)) \quad (3)$$

$$Q(t) \cong \sin(\frac{4\pi d_o}{\lambda} + \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi_R(t)) \quad (4)$$

where $\varphi_R(t) \cong \varphi((t) - (t - \frac{2d(t)}{c}))$ is a residual phase noise. Through Equations (3) and (4), when $I(t)$ is at an optimal detection point, $Q(t)$ is at the null detection point or vice versa. Under these conditions, there is always a channel that provides the best sensitivity, that is reflected from the body surface and contains periodic movements. For this reason, I/Q channel selection has been proposed as a way to improve detection accuracy. Robust and automatic detection schemes are designed that do not need to select between the I and Q channels, but use both signals at the same time (complex linear demodulation, non-linear arc-tangent demodulation etc.). Among these methods, arctangent demodulation method is used extensively. The arctangent demodulation is based on the arctangent of $Q(t)$ and $I(t)$. It is expressed as in Equation (5).

$$\Phi(t) = \tan^{-1}(\frac{Q(t)}{I(t)}) = \frac{4\pi d_o}{\lambda} + \frac{4\pi x(t)}{\lambda} + \varphi_R(t) \quad (5)$$

The phase $\Phi(t)$ is directly proportional to the signal $x(t)$, after the phase discontinuities associated with the crossing between adjacent quadrants are eliminated. The resulting signal is digitized by means of an analogue digital converter so as to be suitable for signal processing [12].

The UWB radars that are commercial off-the shelf, are based on CMOS technology. By using this technology, impulse radars (IR) have been realized. The UWB radar is produced by combining the blocks shown in Figure 3 on a single chip.

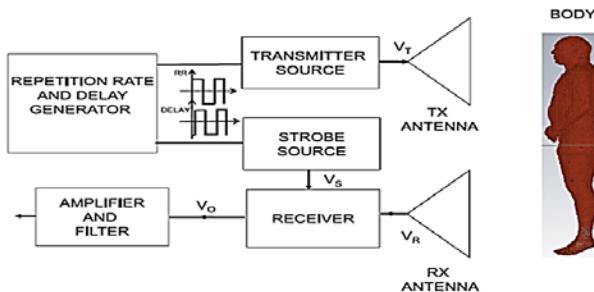


Fig. 3. UWB radar block diagram [19]

Impulse radars transmit a narrow pulse at a time with a wide bandwidth. In some implementations of these radars, while the transmitter consists of a CW source modulated by a Gaussian impulse, the receiver comprises a square detector that is cascaded by an integrator and a voltage comparator. The short-term propagating waveform reduces Tx-Rx insulation requirement. However, wide bandwidth typically results in non-practical Rx architectures in narrowband systems. A suggested solution to this is the Rx correlation where the received signal is multiplied by a sample and then integrated. This allows the actual signal to be sampled at a lower rate than the bandwidth. But a more complex sub-process and control logic is required to detect / track objects of interest within range [19].

Another approach is to directly sample the RF signal, preserving all the information carried in the digital domain signal. This allows the detection of human vital signs by applying FFTs to slow time samples for the range bins. The required high sampling rate leads to high power consumption and circuit complexity. To alleviate these problems, a receiver based on an equivalent time sample, which is performed with a continuous time binary value (CTBV) quantizer following a sweep threshold sampler, has been developed. The block diagram of the circuit is shown in Figure 4. The receiver output is a sampled version of the received pulse with an equivalent sampling rate higher than 20 GHz [20].

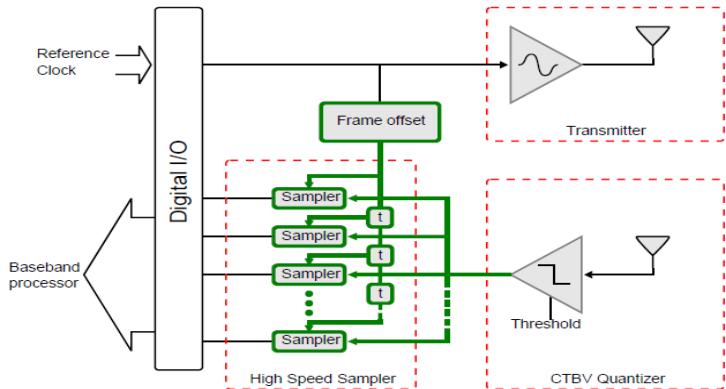


Fig. 4. Block diagram of UWB impulse radar with CTVB [20]

Although the types of radar are different, the processing of acquired signals and the extraction of vital signs are similar. Generally, the signal processing block diagram used in determining vital signals is shown in Figure 5.

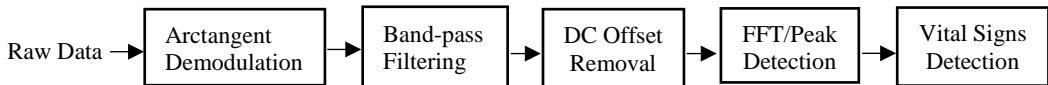


Fig. 5. Signal processing block diagram for vital signs detection

The arctangent demodulation is applied to the raw data, followed by a high order band-pass filter. The reason for the application of the filter is to eliminate the high frequency (according to useful signals) noise and very low frequency fluctuations from the respiration signal of 0.2-0.5 Hz and the heartbeat signal of 1-2 Hz. The presence of DC offsets due to receiver defects and clutter can affect the resolution negatively, as it may be greater than the desired AC motion-related signal. For this reason, the DC components of the signals are removed [21]. In some studies, autocorrelation is applied to each signal to strengthen the periodicity. Fast Fourier transform, discrete Fourier transform (DFT) and discrete wavelet transform in recent studies are used to transform each signal from the time domain to the frequency domain. A Peak Detection algorithm is applied to determine vital signs. Finally, the number of pulses per minute of vital signs is calculated. The results of non-contact measurements are compared with reference signals (with current standards) to demonstrate the success of the measurement results.

4. CONCLUSION

In this study, it was tried to show how bio-radars evolved from the emergence process until today. It has been stated that the application areas of these radars are regarded as solutions of some problems encountered in daily life. Information on the working principles of existing radars has been given and it is presented how signal processing stages are generally implemented.

With the development of technology, the use of radar in medicine is increasing and it is seen that both the costs and dimensions are decreasing. In the future, the accuracy and precision of bio-radars will be improved more

and it is considered that they can replace existing contact measurement standards. It is also anticipated that the comfort of patients and the work of specialists will be facilitated.

REFERENCES

- [1] Skolnik, M. L., *Introduction to Radar Systems* 2d ed., New York., McGraw-Hill Book Co,1980.
- [2] Anishchenko, L., Alekhin, M., Tataraidze, A., Ivashov, S., Bugaev, A. S., and Soldovieri, F., Application of step-frequency radars in medicine. In: *Radar Sensor Technology XVIII. International Society for Optics and Photonics*, p. 90771N, 2014.
- [3] An, Q., Li, Z., Liang, F., Chen, F., and Wang, J., A novel approach to simulate chest wall micro-motion for bio-radar life detection purpose. In *Target and Background Signatures II. International Society for Optics and Photonics*, p. 99970T, 2016.
- [4] Lin, J. C., Noninvasive microwave measurement of respiration, *Proceedings of the IEEE*, 63(10);1530-1530, 1975.
- [5] Azevedo, S. and McEwan, T. E., Micropower impulse radar, *Science and Technology Review*, 12-19, 1996.
- [6] McEwan, T. E., Body monitoring and imaging apparatus and method, *US Patent* 5,573,012, 1996.
- [7] Chen, K.-M., Huang, Y., Zhang, J. and Norman, A., Microwave life-detection systems for searching human subjects under earthquake rubble or behind barrier, *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 47 (1); 105-114, 2000.
- [8] Droitcour, A. D., Boric-Lubecke, O., Lubecke, V. M., Lin, J. and Kovacs, G. T., Range correlation and I/Q performance benefits in single-chip silicon Doppler radars for noncontact cardiopulmonary monitoring, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 52 (3); 838-848, 2004.
- [9] Dei, D., Grazzini, G., Luzi, G., Pieraccini, M., Atzeni, C., Boncinelli, S., Camiciottoli, G., Castellani, W., Marsili, M. and Lo Dico, J., Non-contact detection of breathing using a microwave sensor, *Sensors*, 9 (4); 2574-2585, 2009.
- [10] Zito, D., Pepe, D., Mincica, M., Zito, F., Tognetti, A., Lanatà, A. and De Rossi, D., SoC CMOS UWB pulse radar sensor for contactless respiratory rate monitoring, *IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems*, 5 (6); 503-510, 2011.
- [11] Liu, L. and Liu, S., Remote detection of human vital sign with stepped-frequency continuous wave radar, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7 (3); 775-782, 2014.
- [12] Anishchenko, L., Gennarelli, G., Tataraidze, A., Gaysina, E., Soldovieri, F. and Ivashov, S., Evaluation of rodents' respiratory activity using a bioradar, *IET Radar, Sonar & Navigation*, 9 (9); 1296-1302, 2015.
- [13] Qi, F., Li, C., Wang, S., Zhang, H., Wang, J., and Lu, G., Contact-free detection of obstructive sleep apnea based on wavelet information entropy spectrum using bio-radar, *Entropy*, 18 (8); 306, 2016.
- [14] Quaiyum, F., Ren, L., Nahar, S., Foroughian, F. and Fathy, A. E., Development of a reconfigurable low cost multi-mode radar system for contactless vital signs detection, *IEEE MTT-S International Microwave Symposium (IMS)*, p.1245-1247, 2017.
- [15] Xue, H., Liu, M., Zhang, Y., Liang, F., Qi, F., Chen, F., Lv, H., Wang, J., and Zhang, Y., An algorithm based wavelet entropy for shadowing effect of human detection using ultra-wideband Bio-Radar, *Sensors*, 17 (10); 2255, 2017.
- [16] Andersen, N., Granhaug, K., Michaelsen, J. A., Bagga, S., Hjortland, H. A., Knutsen, M. R., Lande, T. S. and Wisland, D. T., A 118-mW Pulse-Based Radar SoC in 55-nm CMOS for Non-Contact Human Vital Signs Detection, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 52 (12); 3421-3433, 2017.
- [17] Nahar, S., Phan, T., Quaiyum, F., Ren, L., Fathy, A. E., and Kilic, O., An Electromagnetic Model of Human Vital Signs Detection and Its Experimental Validation. *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, 8(2); 338-349, 2018.
- [18] Cerasuolo, G., Petrella, O., Marciano, L., Soldovieri, F. and Gennarelli, G., Metrological Characterization for Vital Sign Detection by a Bioradar, *Remote Sensing*, 9 (10); 996, 2017.
- [19] Pisa, S., Pittella, E. ve Piuzzi, E., A survey of radar systems for medical applications, *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 31 (11); 64-81, 2016.
- [20] Wisland, D. T., Granhaug, K., Pleym, J. R., Andersen, N., Støa, S. and Hjortland, H. A., Remote monitoring of vital signs using a CMOS UWB radar transceiver, *14th IEEE International New Circuits and Systems Conference (NEWCAS)*, p. 1-4, 2016.
- [21] Hall, T., Lie, D. Y., Nguyen, T. Q., Mayeda, J. C., Lie, P. E., Lopez, J. and Banister, R. E., Non-Contact Sensor for Long-Term Continuous Vital Signs Monitoring: A Review on Intelligent Phased-Array Doppler Sensor Design, *Sensors*, 17 (11); 2632, 2017.



Leaching Kinetics of Copper Blended Slag Assisted Ultrasound

Z. A. Sarı¹, M. D Turan^{1*}, H. Nizamoğlu¹, A. Demiraslan¹

¹Department of Metallurgical and Materials Engineering, Firat University, 23119 Elazığ, Turkey

Abstract

In this study, the dissolution kinetic of blended slag was investigated in presence of hydrogen peroxide and acetic acid using ultrasound probe. The optimized processing conditions have been determined, under which the almost all copper ions completely dissolved while iron passing was limited. Kinetic analysis indicates that the copper leaching ratio is controlled by diffusion controlled through the product layer.

Keywords: Hydrometallurgy, Copper Slag, Hydrogen Peroxide, Acetic Acid.

1. INTRODUCTION

The vast majority method of copper extraction from copper minerals is pyro-metallurgy. These processes generate slags, which generally contain some significant metals. Copper slags are produced in thousands of tons per year. Components of slag eventually contaminate the environment. Besides significant amount of copper, zinc, and other valuable metals can be obtained from copper slag. This fact stimulates the researches worldwide to development of methods for the recovery of above mentioned metals from metallurgical wastes such as copper smelter slag. There is some hydrometallurgical methods for the slag processing because of having some advantages. Researches have been focused on atmospheric leaching, using lixivants such as acids, bases, and salts; and on high pressure oxidative acid leaching [1]. Leaching is another method for extraction of metals from copper slags. The leachants applied in slag leaching include sulphuric acid, chlorine, ferric chloride, ammonia, nitric acid, and hydrogen peroxide [2]. As an oxidant, hydrogen peroxide is a good oxidizing agent for leaching studies because its oxidation potential is adequate for oxidizing almost all the metal sulfide minerals [3]. Hydrogen peroxide is an unstable compound, whose decomposition can be catalyzed by certain factors such as the presence of an acid, base, mineral surface or soluble ions. To avoid rapid decomposition of hydrogen peroxide, some stabilizers have been used such as glycol, phosphoric acid, oxalic acid, citric acid, and acetic acid in the leach solution.

Ultrasound has increasingly been used to enhance chemical process rate. Unlike other new technologies that ultrasound requires only the presence of a liquid to transmit its energy. In heterogeneous solid–liquid systems, the collapse of the cavitation bubble near a surface produces an unsymmetrical in-rush of fluid to fill the void with the result that a liquid jet is formed, targeted at the surface. This effect increases mass and heat transfer to the surface by disruption of the interfacial boundary layers. Interparticle collisions can lead to erosion, cleaning of the solid surfaces, degassing, wetting of the particles and particle size reduction. The appearance of micro currents due to ultrasonic irradiation on the solid–liquid interfaces in the suspension causes a considerable decrease in the diffusion layer thick-ness, even compared to that which exists when the suspension is stirred vigorously. Cavitation effects lead to the appearance of many micro fissures on the solid surface subjected to ultrasound. Because the diffusion speed increases, the solutions go to the bottom of the capillaries and accelerates the leaching [4].

* Corresponding author. Tel.: +90 424-237-0000/6379.

E-mail address: mdturan@firat.edu.tr (M. D. Turan).

The aim of the present study is to investigate the effects of the parameters such as temperature and time on the recovery of copper from blended slag. Additionally, some kinetic evaluations based on copper extraction were also made for the leaching process. As experimental procedures, metals dissolution was investigated in presence of acetic acid and hydrogen peroxide by using ultrasound probe.

2. MATERIAL AND METHODS

The blended slag sample used in this study was obtained from Karadeniz Copper Plant, Samsun-Turkey. The blended slag used in these experiments is from converter and flash furnace slag. The slag sample was crushed in a jaw crusher and ground in a ball mill and then sieved. The fraction of -74 mm (200 mesh) was used in all experiments. These experiments were performed under atmospheric conditions by using an ultrasonic generator and stainless steel prop. Chemical analyses of blended slag were carried out by AAS in clear supernatant that was obtained by the digestion process. Results of the chemical analyses are shown in Table I.

Table I. Chemical compounds of blended slag.

Composition	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	CuO	ZnO
wt%	51	3.5	32	2.4	0.5	0.7	0.1	3.8	3.2

3. RESULTS AND DISCUSSION

The effect of temperature on the extraction of copper from blended slag is shown in Fig 1. As seen in figure, metal extraction yields increase with increasing leaching temperature. The copper could be completely extracted from slag at 65 °C. Due to blended slag contains sulfide phases having various stages of oxidation, oxidative leaching is necessary for dissolution. Oxygen formed during the decomposition of hydrogen peroxide can be useful for oxidative leaching. As shown in Fig. 2, copper dissolution was increased with an increase in hydrogen peroxide concentration. Besides, the amount of iron passing through the solution does not exceed 4% during all experiments. This situation, indicating that a selective leaching process has been achieved.

Cu leaching from blended slags by using lixiviate containing H₂O₂ and CH₃COOH is a complex heterogeneous process. In addition to revealing the effect of leaching parameters, it will also be useful to have kinetic information. Kinetic analyses were made based on the data of the effect of temperature and H₂O₂ concentration on the Cu extraction depending on the leaching time. The Cu extraction yields obtained depending on time, temperature and H₂O₂ concentrate (Fig 3,4) were applied to various heterogeneous kinetic models. Kinetics analysis indicates that the copper leaching ratio is controlled by diffusion controlled through the product layer. Assumes the diffusion through the ash (slag matrix) is a rate limiting step (Equation 1).

$$1-3(1-X)^{2/3} + 2(1-X) = k t \quad (1)$$

where X is the extraction of Cu, t is time (min) and k is the apparent rate constant (min⁻¹).

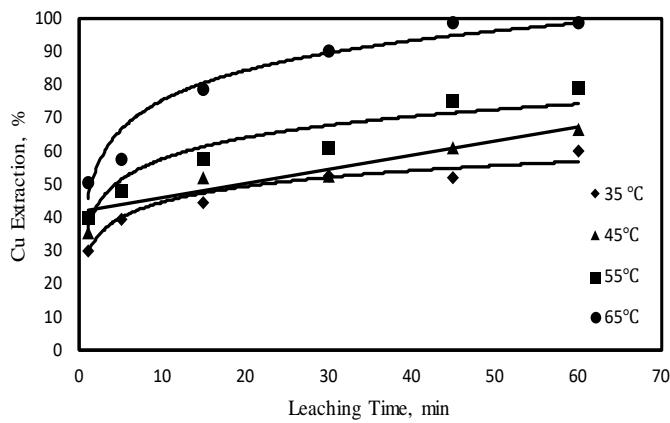


Fig. 1. Effect of leaching temperature (Liquid- Solid Ratio: 25 mL/g; Ultrasonic power: %50; Hydrogen peroxide concentrate:2 M; Acetic acid concentrate:4 M).

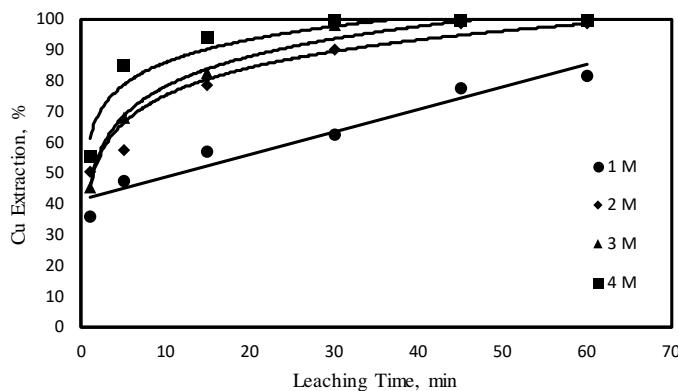


Fig. 2. Effect of hydrogen peroxide concentrate (Liquid- Solid Ratio: 25 mL/g; Ultrasonic power: %50; leaching temperature: 65 °C; Acetic acid concentrate:4 M)

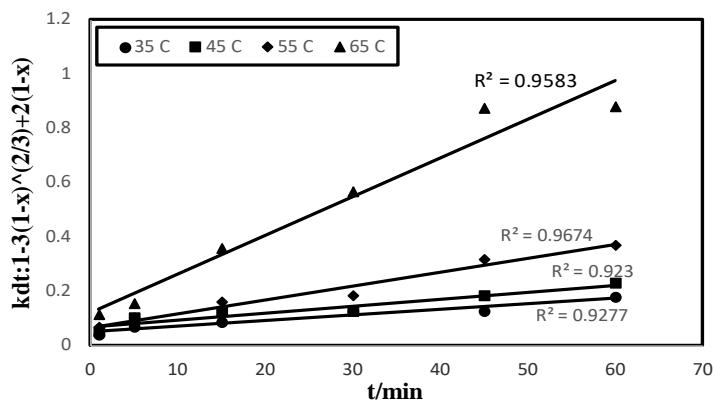


Fig. 3. A plot of $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ versus time for various temperatures during Cu extraction from blended slag (Liquid-Solid Ratio: 25 mL/g; Ultrasonic power: %50; hydrogen peroxide concentrate:2 M; Acetic acid concentrate:4 M).

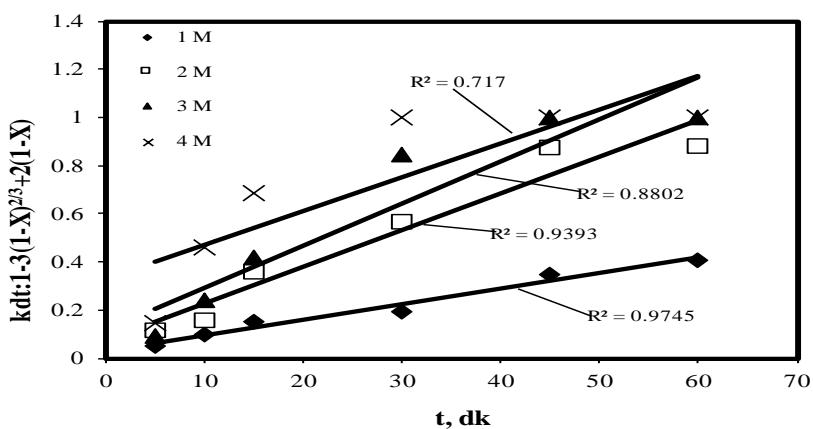


Fig. 4. A plot of $1-3(1-X)^{2/3}+2(1-X)$ versus time for various hydrogen peroxide concentrate during Cu extraction from blended slag (Liquid-Solid Ratio: 25 mL/g; Ultrasonic power: %50; Leaching temperature: 65 °C; Acetic acid concentrate: 4 M).

4. CONCLUSION

According to experimental results, extraction of copper increased with increased temperature, H_2O_2 concentrate and time. On the other hand, results of experiments showed that negligible iron ions passed in to leaching solution which indicates that selective leaching is possible with stabilization of iron in the leach residue. The kinetics of Cu extraction from blended slag by using H_2O_2 can be described by means of the diffusion controlled shrinking core model. Besides the obtained results, it can be said that ultrasonic energy has a positive effect on the dissolution of base metal in blended slag.

REFERENCES

- [1] Nadirov, K.R., Syzdykova, L.I., Zhussupova, A.K., Usserbaev, M.T., Recovery of value metals from copper smelter slag by ammonium chloride treatment, International Journal of Mineral Processing 124, 145–149, 2013.
- [2] Gbor, P.K., Hoque, C., Jia, C.Q., Dissolution behavior of Fe, Co, and Ni from non-ferrous smelter slag in aqueous sulphur dioxide, Hydrometallurgy 81, 130–141, 2006.
- [3] Antonijevic, M.M., Dimitrijevic, M., Jankovic, Z., Leaching of pyrite with hydrogen peroxide in sulphuric acid, Hydrometallurgy, 46, 71-83, 1997.
- [4] Beşe, A.V., Effect of ultrasound on the dissolution of copper from copper converter slag by acid leaching, Ultrasonics Sonochemistry 14, 790–796, 2007.



Experimental Study on the Effects of Condenser and Evaporator Air Flow Rates in an Automotive Air Conditioning System

A. Alkan^{1*}, A. Kolip¹, M. Hoşöz²

¹Department of Mechanical Engineering, Sakarya University, Sakarya, Turkey

² Department of Automotive Engineering, Kocaeli University, Kocaeli, Turkey

Abstract

In this study, the effects of condenser and evaporator air flow rates on the performance of an automotive air conditioning (AAC) system with R1234yf are experimentally investigated in comparison to the system with R134a. For this aim, an experimental AAC system consisting of the components of an original AAC system was developed in laboratory environment, and equipped with various mechanical and electrical measuring devices. The refrigeration cycle of the system was made up from an evaporator, condenser, liquid receiver, filter/drier, compressor and thermostatic expansion valve. The experimental AAC system was equipped with instantaneous control and data acquisition systems. The tests were performed by varying the compressor speed as well as the condenser and evaporator air flow rates. By applying energy analysis to the components of the AAC system based on acquired data, various performance parameters of the AAC system with R1234yf and R134a were evaluated, and presented in comparative graphics. It has been found that the coefficient of performance (COP) for the AAC system decreases with the increase of the compressor speed, while cooling capacity, compressor power, condenser heat rejection, compressor discharge temperature and refrigerant flow rate increase with it. With rising evaporator air flow rate, the cooling capacity, compressor power, condenser heat rejection rate, COP, refrigerant flow rate and compressor discharge temperature increase for both refrigerants. With rising condenser air flow rate, the cooling capacity, condenser heat rejection rate and COP increase for both refrigerants; while the compressor power, refrigerant flow rate and compressor discharge temperature decrease with it.

Keywords: Automobile air conditioning, condenser, cooling, evaporator, R1234yf, R134a.

1. GİRİŞ

Otomobil klima sistemlerinin kullanımına, kloroflorokarbon (CFC) grubu soğutucu akışkanların geliştirilmesi ile başlanmıştır. Bazı tür soğutucu akışkanlarının içerisinde bulunan klor atomunun ozon tabakasının incelemesine yol açığının anlaşılmasıından sonra, klor atomu içeren soğutucu akışkanların kullanımı kısıtlanmıştır. Otomobil klima sistemlerinde kullanılan CFC grubundan R12 soğutucu akışkanının kullanımının 1994 yılından itibaren kısıtlanmasından sonra, alternatif olarak Hidroflorokarbon (HFC) grubundan R134a soğutucu akışkanının kullanımına başlanılmıştır. Daha sonra, HFC grubu soğutucu akışkanların küresel ısınma potansiyeli (GWP) değerlerinin yüksek olduğu anlaşılmış ve kullanımlarına sınırlamalar getirilerek zaman içerisinde kademeli olarak kaldırılmasına karar verilmiştir [1,2]. Küresel ısınmanın etkisinin azaltılması amacıyla, otomobil klima sisteminde kullanılan soğutucu akışkanların GWP değerinin 150'den büyük olmamasına dair bir karar, 2006 yılında Avrupa Birliği Parlamentosu'nda alınmıştır [3,4].

Otomobil klima sistemleri ile ilgili olarak farklı soğutucu akışkan kullanımın performansa etkisi, sistem bileşenlerin performanslarının iyileştirilmesi, sistemin kışın ısı pompası olarak yararlanması ve yapay sinir ağları ile sistem performansının belirlenmesi üzerine yapılmış çeşitli araştırmalar literatürde yer almaktadır. Ratts ve Brown, otomobil klima sisteme şarj edilen soğutucu akışkan miktarının performansa etkisini araştırmışlardır [5]. Kaynaklı ve Horuz, R134a soğutucu akışkanı ile çalışan otomobil klima sisteminde en iyi

* Corresponding author. Tel.: +90 264-295-3191; fax: +90 264-295-7202.

E-mail address: aalkan@sakarya.edu.tr (A. Alkan).

çalışma şartlarını belirlemek amacıyla deneyel araştırmalarda bulunmuştur [6]. Esen ve Hoşoz, R12 ve R134a soğutucu akışkanların performans karşılaştırmalarını yapmak için bir otomobil klima sisteminde deneyler gerçekleştirmiştir ve sonuçları karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır [7]. Alkan ve Hoşoz, bir otomobil klima sisteminde sabit ve değişken kapasiteli kompresörler kullanılması durumunda deneyel performans karşılaştırmalarını gerçekleştirmiştir [8]. Hosoz ve Direk, bir otomobil klima sisteminin ısı pompası olarak kullanımındaki performansını araştırmışlardır [9]. Hosoz ve arkadaşları, otomobillerde kişi faydalanan motor soğutma su kullanımlı ısıtma sistemi ile farklı ısı kaynakları kullanabilen otomobil ısı pompası sistemi arasında deneyel performans karşılaştırmaları yapmışlardır [10]. Hosoz ve Ertunc, yapay sinir ağları kullanarak bir otomobil klimasının çalışmasını modellemiş ve model sonuçları ile deneyel sonuçları karşılaştırmışlardır [11]. Hoşoz ve arkadaşları, ANFIS yöntemini kullanarak R134a soğutucu akışkanı kullanan bir otomobil iklimlendirme sisteminin çeşitli performans parametrelerini modellemiştir [12]. Alkan ve arkadaşları, sabit ve değişken kapasiteli kompresör kullanabilen bir otomobil klima sisteminde soğutucu akışkan şarj miktarının etkilerini araştırmışlardır [13]. R134a soğutucu akışkanının küresel ısınma potansiyeli yüksek olan soğutucu akışkanlardan biri olması nedeniyle, alternatif soğutucu akışkanlar üzerine araştırmalar son yıllarda artmıştır. Tamura ve arkadaşları, R134a soğutucu akışkanı alternatif olan karbondioksit soğutucu akışkanını kullanan bir otomobil klima sisteminde araştırmalar gerçekleştirmiştir [14]. Navarro ve arkadaşları, R1234yf, R134a ve R290 soğutucu akışkanlarını açık pistonlu buhar sıkıştırmalı tip bir kompresöre sahip ticari araç kimasında kullanarak karşılaştırmalı deneyler gerçekleştirmiştir [15]. Navarro ve arkadaşları, bir buhar sıkıştırmalı kompresöre sahip klima sisteminde R134a ve R1234yf soğutucu akışkanları kullanımının deneyel karşılaştırmalarını gerçekleştirmiştir ve R1234yf soğutucu akışkanının R134a soğutucu akışkanına göre %9 daha az soğutma kapasitesi ile %19 daha düşük soğutma tesir katsayısına (STK) sahip olduğunu belirlemiştir [16]. Zilio ve arkadaşları, R1234yf soğutucu akışkanını R134a soğutucu akışkanlı ve değişken kapasiteli kompresör kullanılan bir otomobil klima sisteminde kullanarak deneyel performans araştırmışları yapmışlardır [17]. Lee ve Jung, R1234yf ve R134a soğutucu akışkanların performansı karşılaştırmalarını açık pistonlu kompresöre sahip ticari tip bir iklimlendirme sisteminde gerçekleştirmiştir ve R134a'lı sistemin R1234yf'li sisteme göre sırasıyla %2.7 ve %4 daha yüksek STK ve soğutma kapasitesi değerine sahip olduğu sonucuna ulaşmıştır [18]. Cho ve arkadaşları, bir otomobil klima sisteminde R134a ve R1234yf soğutucu akışkanların kullanılmasını araştırmışlar ve R1234yf soğutucu akışkanlı sistemin R134a'lı sisteme göre sırasıyla %7 ve %4.5 daha düşük soğutma kapasitesi ve STK ile sonuçlandığini tespit etmişlerdir [19]. Alkan ve arkadaşları, R134a soğutucu akışkanına alternatif olan R1234yf soğutucu akışkanın bir otomobil klima sisteminde kullanımını deneyel olarak araştırmışlardır [20].

Bu çalışmada, R134a ve R1234yf soğutucu akışkanı kullanılabilen bir otomobil klima sisteminde farklı kondenser ve evaporatör hava akım hızlarının performansa etkisi araştırılmıştır. Bu amaç için kurulan deneyel sistem, orijinal otomobil klima sistemi parçaları ile çeşitli mekanik ve elektriksel ölçüm cihazları kullanılarak laboratuvar ortamında kurulmuştur. Sistemin soğutma çevrimi, bir otomobil klima sisteminde kullanılan evaporatör, kondenser, sıvı tankı, kompresör ve termostatik genleşme elemanından oluşmaktadır. Oluşturulan deneyel otomobil klima sistemi, anlık olarak kontrol yapabilen ve veri alabilen sistemler ile donatılmıştır. Ayrıca, deneylerde kullanılan evaporatör ve kondenser fanlarının hızları, elektronik olarak kontrol edilmiştir. Testler, kompresör devri ile kondenser ve evaporatör hava akım hızları değiştirilerek gerçekleştirilmiştir. Testler sonucu elde edilen veriler yardımıyla deneyel sisteme enerji analizi uygulanarak R134a ve R1234yf soğutucu akışkanlı taşıt iklimlendirme sisteminde kondenser ve evaporatör hava akım hızlarının değişiminin çeşitli performans parametrelerine etkisi, grafikler halinde sunulmuştur.

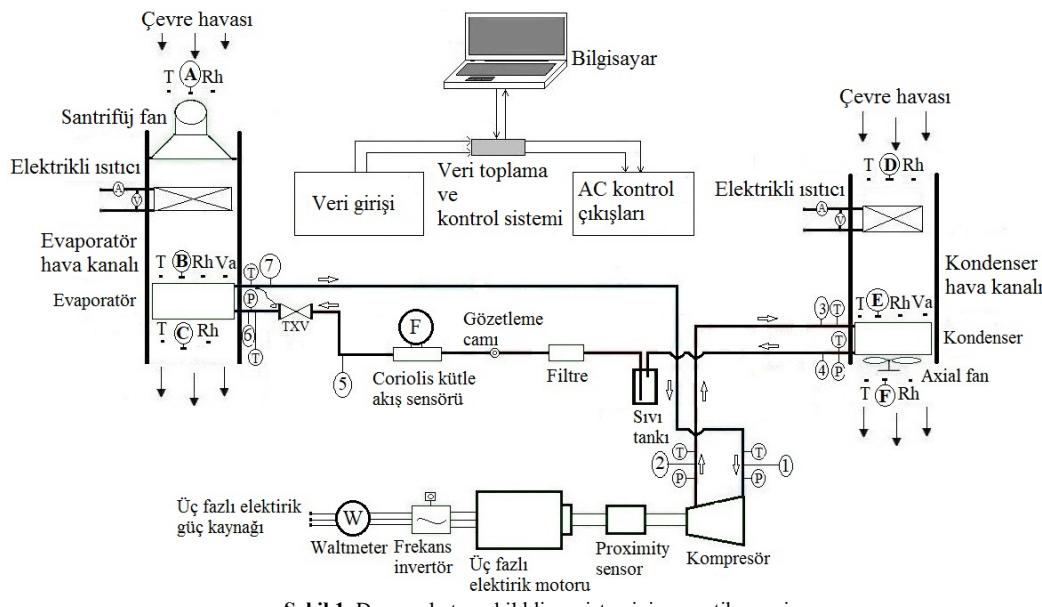
2. DENEY SİSTEMİ VE TEST PROSEDÜRÜ

Deneylerin gerçekleştirildiği, çeşitli kompresör devri ve evaporatör/kondenser hava akım hızları ile çalışabilen otomobil klima sisteminin şematik resmi Şekil 1'de görülmektedir. Deneyel otomobil klima sistemi, orijinal bir otomobil klima sisteminin soğutma çevrimi bileşenlerinden, istenilen evaporatör ve kondenser hava akımı giriş sıcaklıklarının ve hızlarının sağlanması amacıyla kullanılan ekipmanlardan, kondenser ve evaporatör hava kanallarından, kompresörü istenen devirde çalışırmak için kullanılan üç fazlı asenkron elektrik motoru ile motor sürücüsünden, basınç, sıcaklık, izafî nem, soğutucu akışkan kütlesel debisi, devir gibi fiziksel büyüklüklerin Şekil 1'de gösterilen noktalardan ölçülmüşünü sağlayan çeşitli mekanik ölçüm cihazları ile veri toplama/kontrol sistemlerinden ve belirtilen bileşenleri üzerinde barındıran deney masasından oluşmaktadır. Deneyel otomobil klima sistemi soğutma çevrimi bileşenleri ise paralel akımlı ve mikro kanallı kondenser, termostatik genleşme valfi, lamine tip evaporatör, sıvı tankı, filtre/kurutucu, sabit kapasiteli kompresör, eksenel tip çift kondenser fanı ve santrifüj tip evaporatör fanından oluşmaktadır. Deneyel otomobil klima sisteminde kullanılan soğutma çevrimi bileşenlerinin temel özellikleri, Tablo I'de verilmiştir.

Tablo I. Deneysel otomobil klima sistemi soğutma çevrimi bileşenlerinin temel özelliklerini.

Kompresör	Sanden SD7H15
Kondenser	Paralel akımlı mikro kanallı
Evaporatör	Lamine tip
Genleşme valfi	İçten dengeli termostatik genleşme valfi
Soğutma çevrimi boru bağlantıları	1/2", 5/8", 3/8" dış çaplı bakır borular

Deneysel sistemde soğutucu akışkanın kütlesel debisi sıvı hattına monte edilen Coriolis debimetre ile, soğutucu akışkanın basınç ve sıcaklıklarını ise Şekil 1'deki şematik resimde sırasıyla (P) ve (T) sembolleriley gösterilen noktalardan basınç transmitterleri/Bourdon manometreler ve termokupollar ile ölçülmektedir.



Şekil 1. Deneysel otomobil klima sisteminin şematik resmi

Deneysel otomobil iklimlendirme sisteminde evaporatör ile kondenser üzerinden geçen hava akımlarının izafî nem (R_h), sıcaklık (T) ve hız (V_h) özellikleri, Şekil 1'de verilen noktalardan ölçülmüştür. Deneysel sisteme hava akımının sıcaklık ve izafî nemini ölçmek amacıyla SHT 71 tip sıcaklık/nem sensörü kullanılmıştır. İç ve dış ünite hava kanalları içinden geçen hava akımlarının hızlarını ise, hava akış transmitterleri ile ölçülmüştür. Hava akış transmitterleri, hava kanalları içinde ortalama hava hızlarını gösteren noktalara monte edilmiştir. Deneyleerde istenen evaporatör ve kondenser giriş hava akım hızları, hava akış transmitterlerinden gelen bilgilere göre elektronik kontrol ünitesi tarafından kondenser ve evaporatör fanlarının devirlerinin değiştirilmesiyle sağlanmaktadır. Deneysel otomobil klima sisteminde kullanılan ölçüm cihazlarının temel özellikleri, Tablo II'de verilmiştir.

Tablo II. Deneysel otomobil klima sisteminde kullanılan ölçüm cihazlarının özelliklerini.

Ölçülen değişken	Ölçüm cihazı	Ölçüm aralığı	Tamlık
Sıcaklık	T tipi termokupl	-40 – 350 °C	± 0.5 °C
	SHT 71	-40 – 123.8 °C	± 0.4 °C
Basınç	Vika S-10 transmitter	0 – 25 Bar	≤ 0.25 bar
İzafî nem	SHT 71	0 – 100 %	± % 3
Hava hızı	EE65-VCK200	0.2 – 10 m/s	± 0.2 m/s
Kütle akışı	Krohne Optimass 3300C H04	0 – 450 kg/h	± % 0.1

Deneysel sistemde kompresör hızı, motor sürücü ile istenen test değerine ayarlanmıştır. Evaporatör ve kondenser hava akımlarının giriş sıcaklıklarını ayarlamak için elektrikli ısıticılara uygulanan voltaj değiştirilmiştir. Deney sisteminde kullanılan kompresör, 5.5 kW gücünde bir asenkron motor ile kayış-kasnak mekanizması aracılığıyla tahrik edilmiştir. Asenkron elektrik motoru ise 5.5 kW gücünde bir motor sürücüsü ile istenilen devirde çalıştırılmıştır. Klima kompresörünün devri proximity sensör yardımıyla anlık olarak alınmakta ve devir verisi elektronik kontrol sisteme de değerlendirilerek kompresör üzerindeki yük değişse bile devrin istenilen değerde sabit kalması sağlanmaktadır. Evaporatör ve kondenser hava kanalları, hava akışına engel olmayacağı ve havanın homojen şekilde ısıtılmasını sağlayacak geometride elektrikli ısıticılara sahiptir. Bu elektrikli ısıticılardan, deney koşullarına göre elektronik kontrol ünitesi aracılığıyla enerjilendirilerek istenilen kondenser ve evaporatör giriş hava akımı sıcaklıklarını elde edilmiştir. Kondenser ve evaporatör hava kanallarının girişlerine yerleştirilen evaporatör ve kondenser fanları, kanallar içerisindeki hava akım hızı sensörlerinden gelen veriler dikkate alınarak doğru akım motor sürücülerini yardımıyla kontrol edilmekte ve kanallarda istenilen hava akım hızları sağlanmaktadır. Deneysel sisteme tüm ölçüm verileri, veri toplama sistemi yardımıyla bilgisayar ortamına aktarılır ve kayıt altına alınmaktadır. İstenen çalışma koşullarının değerleri bilgisayar ortamında kullanıcı tarafından belirtilmekte ve kontrol sistemi tarafından sistemin istenilen koşullarda çalışması sağlanmaktadır. Deney sistemi ile ilgili ayrıntılı bilgi, kaynak [21]'de bulunmaktadır.

Deneysel otomobil klima sisteminde ilk grup testler, motorun rölatif devrine karşılık gelen 800 d/d kompresör devrinde, evaporatör hava akım hızı 2.8, 3.6 m/s, kondenser hava akım hızı 1.6, 2.8 ve 3.6 m/s seçilerek her iki soğutucu akışkan için gerçekleştirilmiştir. İkinci grup testler ise kompresör devri 1600 d/d'ya çıkarılarak ilk grup testlerdeki evaporatör ve kondenser hava akım hızları ile her iki soğutucu akışkan için gerçekleştirilmiştir. Her iki test grubunda da kondenser ve evaporatör hava akımlarının giriş sıcaklıkları ($T_{kond,hg}$ ve $T_{evap,hg}$), 27 °C değerinde sabit tutulmuştur. Bilgisayar ortamındaki deneysel sistem arayüzünde kompresör hızı, deney süresi, kondenser ile evaporatör kanalları hava akım hızları ve hava akımı giriş sıcaklıklarını tanımlanarak testler gerçekleştirilmiştir. Deneyler esnasında, deney sisteminde gelen tüm veriler bilgisayar ekranında izlenerek sistemin kararlı hale gelmesi beklenmiş ve veri toplama sistemi aracılığıyla sürekli rejim verileri alınarak kaydedilmiştir.

3. TERMODİNAMİK ANALİZ

Deneysel otomobil klima sisteminde enerji analizi yapılırken soğutma çevrimi bileşenlerinin giriş ve çıkışlarındaki soğutucu akışkan sıcaklık verileri ile kompresör girişi, çıkışı ve kondenser girişinden alınan basınç verileri kullanılmıştır. Kompresör ve genleşme valfi dışında çevrim bileşenlerindeki basınç düşümleri ihmal edilmiştir.

Soğutma kapasitesi, evaporatöre enerjinin korunumu ilkesinin uygulanması ile aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_r (h_7 - h_6) \quad (1)$$

Bu denklemdeki \dot{m}_r , Coriolis debimetrenin ölçüdüğü soğutucu akışkan kütlesel debisini göstermektedir. Soğutucu akışkanın evaporatör çıkışındaki entalpisi h_7 , girişteki entalpisi ise h_6 ile gösterilmektedir. Entalpiler, basınç ve sıcaklığın fonksiyonu olarak REFPROP programından elde edilmiştir.

Soğutucu akışkanı kompresörde verilen sıkıştırma gücü, adyabatik kompresör kabulu ile aşağıdaki denklemden bulunmuştur.

$$\dot{W}_{komp} = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad (2)$$

Burada h_2 soğutucu akışkanın kompresör çıkışındaki özgül entalpisini, h_1 ise kompresör girişindeki özgül entalpisini ifade etmektedir.

Soğutma sistemlerinin etkinliğini ifade eden Soğutma Tesir Katsayısi, soğutucu akışkanın evaporatörden geçen havadan aldığı ısının kompresörde soğutucu akışkanı verilen güçe oranından bulunur. Bu durumda STK, aşağıdaki denklemden elde edilmiştir.

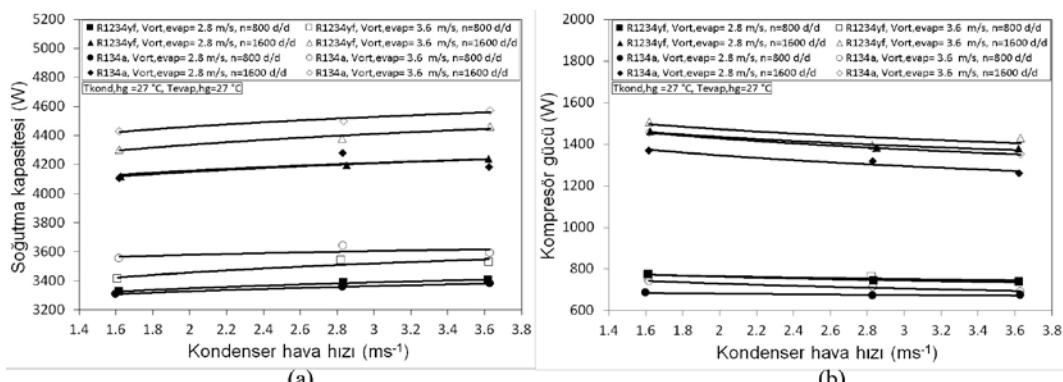
$$STK = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{W}_{komp}} \quad (3)$$

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı evaporatör ve kondenser hava akımı hızlarında çalıştırılabilen deneysel otomobil klima sisteminin çeşitli performans parametrelerinin kompresör devri, evaporatörden geçen hava akımının hızı ve kondenserden geçen hava akımının hızına göre değişimleri, Şekil 2–4’de verilmiştir. Şekillerdeki grafiklerin elde edildiği testlerde, kondenser ve evaporatör girişlerindeki hava akımlarının sıcaklıkları $T_{kond,hg} = 27^\circ\text{C}$, $T_{evap,hg} = 27^\circ\text{C}$ olarak tutulmuştur. Komprörün 800 ve 1600 d/d dönüş hızlarının her biri için evaporatör üzerinden geçen hava akımı $V_{ort,evap} = 2.8 \text{ m/s}$ ve $V_{ort,evap} = 3.6 \text{ m/s}$ değerlerine getirilerek, her devir ile evaporatör hava akım hızı için kondenserden geçen hava akım hızı $V_{ort,kond} = 1.6 \text{ m/s}$, $V_{ort,kond} = 2.8 \text{ m/s}$ ve $V_{ort,kond} = 3.6 \text{ m/s}$ değerlerine ayarlanmıştır. Deneysel otomobil klima sisteminde R134a ve R1234yf soğutucu akışkanları kullanılarak deneysel gerçekleştirilmişdir.

Deneysel otomobil klima sisteminin soğutma kapasitesinin kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 2(a)'da gösterilmiştir. Kondenser ve evaporatörden geçen hava akım hızlarının artması ile soğutma kapasitesi artmaktadır. Evaporatör hava akım hızının düşük olduğu durumda R134a ile R1234yf soğutucu akışkanları birbirlerine yakın sonuç verir iken evaporatör hava akım hızı arttığında R134a soğutucu akışkanın daha yüksek soğutma kapasitesine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Soğutma kapasitesinin artmasında en etkili parametrenin kompresör devrindeki artış olduğu, ikinci olarak evaporatör hava akım hızının üçüncü olarak kondenser hava akım hızının etkili olduğu görülmektedir.

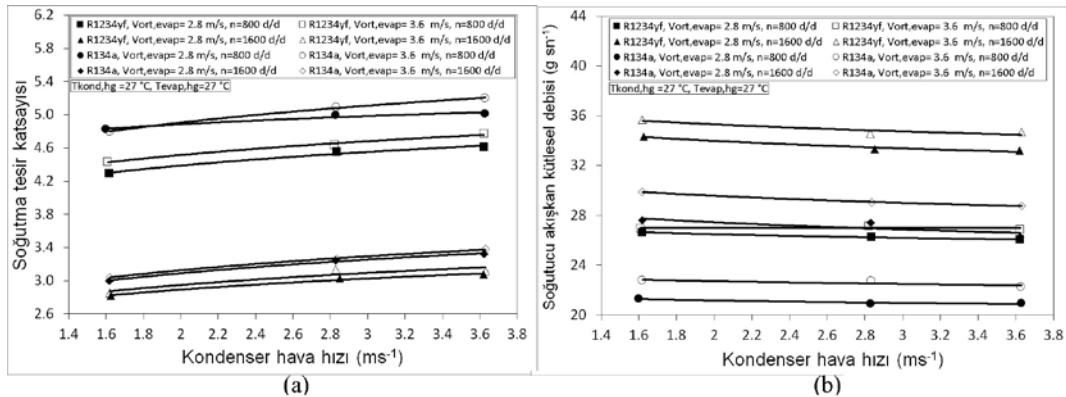
Deneysel otomobil klima sisteminde kompresör gücünün kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 2(b)'de sunulmuştur. Düşük kompresör devirlerinde, kondenser hava akım hızının artması ile kompresör gücünde değişim gözlenmez iken kompresör devrinin artması ile kondenser hava akım hızının artması sonucu kompresör gücünün azaldığı görülmektedir. Özellikle yüksek kompresör devirlerinde kondenser hava akım hızının artması, kondenserdeki doyma basıncının düşmesine neden olmakta; bunun sonucu kompresör yükü azalmakta ve kompresör gücü düşmektedir. R1234yf soğutucu akışkanın, R134a soğutucu akışkanına göre aynı kompresör devri ile aynı evaporatör hava akım hızında kondenser hava akım hızına bağlı olarak yaklaşık % 4–11 daha büyük kompresör gücüne sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 2. Soğutma kapasitesinin (a) ve kompresör gücünün (b) kondenser hava hızı ile değişimi

Deneysel otomobil klima sisteminin soğutma tesir katsayısının kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 3(a)'da verilmiştir. Kondenser ve evaporatör hava akım hızlarının artması ile STK artmaktadır; kompresör devrinin artması ile STK azalmaktadır. Kondenser hava akım hızının 1.6 m/s'ye den 3.6 m/s'ye çıkarılması

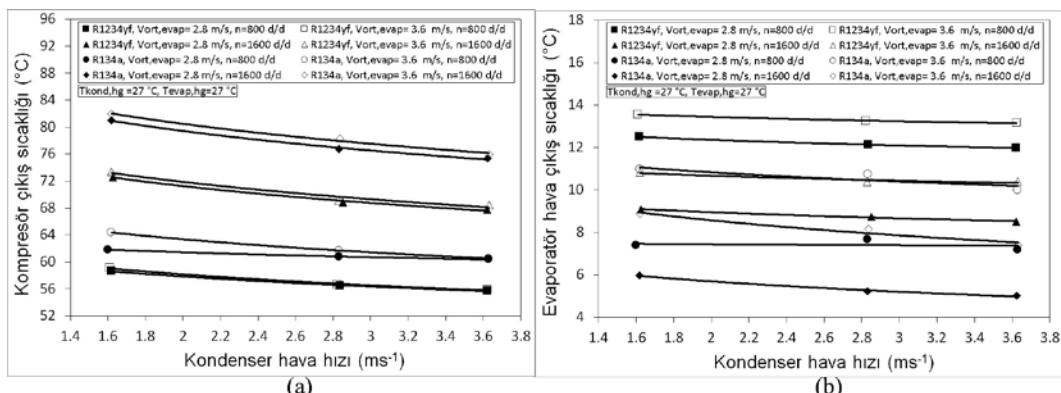
ile R134a soğutucu akışkanlı sistemin STK değeri evaporatör hava akım hızı ve kompresör devrine bağlı olarak yaklaşık % 8–11 artarken R1234yf soğutucu akışkanlı sistemde yaklaşık % 7–9 arasında artış görülmektedir. Kondenser hava akım hızının artması ile kompresör çıkış sıcaklığının ve kondenser basıncının azalmasına bağlı olarak kompresörde soğutucu akışkanaya verilen güç de azalmaktadır. Aynı zamanda kondenser hava akım hızının artması ile yoğunlaşma basıncı ve sıcaklığının azalmasına bağlı olarak buharlaşma sıcaklığının azalması sonucu soğutma kapasitesinin artması, STK’ının da artmasına neden olmaktadır.



Şekil 3. Soğutma tesir katsayısının (a) ve soğutucu akışkan kütlesel debisinin (b) kondenser hava hızı ile değişimi

Deneysel sistemin soğutma çevriminde dolaşan soğutucu akışkan kütlesel debisinin kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 3(b)’de sunulmuştur. Kompressor devri ve evaporatör hava akım hızının artması ile sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisi de artmaktadır. Kondenser giriş hava akım hızının artması ile R1234yf soğutucu akışkan debisi yaklaşık olarak % 1–3 arasında, R134a soğutucu akışkan debisi ise yaklaşık olarak % 2–4 azalmaktadır. Evaporatör hava akım hızı artması, R1234yf soğutucu akışkan debisini yaklaşık olarak % 2–4 arasında, R134a soğutucu akışkan debisini ise yaklaşık olarak % 6–10 arasında artırmaktadır. Kompressor devrinin 800 d/d’den 1600 d/d’ya çıkarılması ile R1234yf soğutucu akışkanı debisi yaklaşık olarak % 32–34 arasında, R134a debisi ise yaklaşık olarak % 37–40 arasında artmaktadır.

Deneysel otomobil klima sisteminde kompressor çıkışındaki soğutucu akışkan sıcaklığının kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 4(a)’da görülmektedir. Kondenser hava akım hızının artması ile yoğunlaşma sıcaklığının azalmasına sonucu kompressor çıkış sıcaklığı da düşmektedir. Bu düşme, kondenser hava akım hızının 1.6 m/s’den 3.6 m/s’ye çıkarılması ile her iki soğutucu akışkan için yaklaşık % 5–7 düzeyindedir. Evaporatör hava akım hızının artması ile buharlaşma sıcaklığının artmasına bağlı olarak yoğunlaşma sıcaklığının da artması, kompressor çıkış sıcaklığını yükseltmektedir. Fakat bu artış, evaporatör hava akım hızının 2.8 m/s’den 3.6 m/s’ye çıkarılması ile her iki soğutucu akışkan için en fazla % 1 düzeyinde gerçekleşmektedir.



Şekil 4. Soğutucu akışkanın kompressor çıkış sıcaklığının (a) ve evaporatörden çıkan şartlandırılmış hava akımı sıcaklığının

(b) kondenser hava hızı ile değişimi

Deneysel otomobil klima sisteminde evaporatörden çıkan şartlandırılmış hava akımı sıcaklığının kondenser hava akım hızı ile değişimi, Şekil 4(b)’de verilmiştir. Kondenser hava akım hızının artması ile yoğunlaşma sıcaklığının azalmasına bağlı olarak buharlaşma sıcaklığının da düşmesi sonucu evaporatör çıkış hava akım sıcaklığı azalmaktadır. Bu azalma, kondenser hava akım hızının 1.6 m/s’den 3.6 m/s’ye çıkarılması ile R1234yf soğutucu akışkanı için yaklaşık % 3–7 düzeyinde, R134a soğutucu akışkanı için ise yaklaşık % 8–17 düzeyinde gerçekleşmektedir. Evaporatör hava akım hızının artması ile buharlaşma sıcaklığının da

yükselmesi sonucu evaporatör çıkış hava akım sıcaklığı artmaktadır. Bu artış, evaporatör hava akım hızının 2.8 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması ile R1234yf soğutucu akışkanı için kompresör devrine bağlı olarak yaklaşık % 19–22 düzeyinde gerçekleşirken R134a soğutucu akışkanlı sistemde yaklaşık % 4–6 arasında olmaktadır. Kompresör devrinin artması ile her iki soğutucu akışkan için evaporatör çıkış hava akımı sıcaklığı % 20–30 arasında azalmaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, otomobil klima sisteminde evaporatör ve kondenser hava akım hızlarının performans etkileri çeşitli çalışma koşulları altında deneyel olarak incelenmiştir. Bu amaçla kullanılacak deneyel sistem, çeşitli mekanik ve elektriksel ölçüm cihazlarını üzerinde bulunduran otomobil klima sistemi ve parçalarından oluşturularak laboratuvar ortamında kurulmuştur. Farklı evaporatör ve kondenser hava akım hızları ile çalıştırılabilen deneyel otomobil klima sistemine ait çeşitli sürekli rejim performans parametrelerinin değerleri, R1234yf ve R134a soğutucu akışkanlarının kullanımı ile iki farklı kompresör devrinde belirlenmiş ve grafikler halinde sunulmuştur. Testler esnasında kondenser ve evaporatör girişindeki hava akımı sıcaklıklar $T_{kond,hg} = 27^{\circ}\text{C}$, $T_{evap,hg} = 27^{\circ}\text{C}$ değerlerinde tutulmuştur. Testlerdeki birinci kompresör devri, araç rölatif devrine karşılık gelen 800 d/d olup bu durumda evaporatör hava akım hızları 2.8, 3.6 m/s, kondenser hava akım hızları 1.6, 2.8 ve 3.6 m/s seçilerek her iki soğutucu akışkan için deneyler gerçekleştirilmiştir. İkinci kompresör devri deneyleri ise 1600 d/d'de birinci motor devri testlerindeki evaporatör ve kondenser hava akım hızları sağlanarak her iki soğutucu akışkan için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada ulaşılan başlıca sonuçlar, aşağıdaki gibidir.

- Kondenser ve evaporatörden geçen hava akımlarının hızlarının artması ile soğutma kapasitesinin arttığı, evaporatör hava akım hızının düşük olduğu durumda R134a ile R1234yf soğutucu akışkanları birbirlerine yakın sonuçlar verirken evaporatör hava akım hızının artması durumunda R134a soğutucu akışkanının daha yüksek soğutma kapasitesine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma kapasitesinin artmasında etkili olan en önemli parametrenin kompresör devrindeki artışı olduğu, ikinci olarak evaporatör hava akım hızının üçüncü olarak ise kondenser hava akım hızının etkili olduğu belirlenmiştir.
- Düşük kompresör devrinde kondenser hava akım hızının artması ile kompresör gücünde değişim gözlenmez iken yüksek kompresör devrinde kondenser hava akım hızının artması sonucu kompresör gücünün azaldığı tespit edilmiştir. R1234yf soğutucu akışkanın, R134a'ya göre aynı kompresör devri ile aynı evaporatör hava akım hızında kondenser hava akım hızına bağlı olarak yaklaşık % 4–11 daha fazla kompresör gücüne sahip olduğu görülmüştür.
- Kondenser ve evaporatör hava akımlarının hızlarının artması ile STK'nın da arttığı, kompresör hızının artması ile STK'nın düşüğü görülmüştür. Kondenser hava akım hızının 1.6 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması ile R134a soğutucu akışkanlı sistemin STK değerinin yaklaşık % 8–11 artışı, R1234yf soğutucu akışkanlı sistemde ise bu artışın yaklaşık % 7–9 arasında olduğu belirlenmiştir.
- Kompresör devri ve evaporatör hava akım hızının artması ile sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisinin de arttığı, kondenser hava akım hızının artması ile R1234yf debisinin yaklaşık % 1–3, R134a debisinin ise yaklaşık % 2–4 azaldığı gözlemlenmiştir. Evaporatör hava akım hızının artması ile R1234yf debisinin yaklaşık % 2–4, R134a debisinin ise yaklaşık % 6–10 arttığı görülmüştür. Kompresör devrinin 800 d/d'dan 1600 d/d'ye çıkarılması ile R1234yf debisinin yaklaşık % 32–34, R134a debisinin ise yaklaşık % 37–40 arttığı belirlenmiştir.
- Kondenser hava akım hızının artması ile kompresör çıkış sıcaklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu azalma, kondenser hava akım hızının 1.6 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması sonucu yaklaşık % 5–7 düzeyindedir. Evaporatör hava akım hızının artması ile kompresör çıkış sıcaklığının artışı, ancak bu artışın evaporatör hava akım hızının 2.8 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması ile en fazla % 1 düzeyinde olduğu tespit edilmiştir.
- Kondenser hava akım hızının artması ile evaporatör çıkış hava akım sıcaklığının azaldığı, bu azalmanın kondenser hava akım hızının 1.6 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması ile R1234yf'li sistemde yaklaşık % 3–7 düzeyinde, R134a'lı sistemde ise yaklaşık % 8–17 düzeyinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Evaporatör hava akım hızının 2.8 m/s'den 3.6 m/s'ye çıkarılması ile R1234yf'li sistemde evaporatör çıkış hava akım sıcaklığı, kompresör devrine bağlı olarak yaklaşık % 19–22 arasında artarken R134a'lı sistemde bu artış yaklaşık % 4–6 düzeyinde gerçekleşmiştir. Kompresör devrinin artması ile her iki soğutucu akışkan için evaporatör çıkış hava akımı sıcaklığının % 20–30 arasında düşüğü gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] The Kyoto protocol to the United Nations framework convention on change, 1997.
- [2] Billiard, F., Refrigeration and air conditioning: what's new at regulatory level. The Ninth European Conference on Technological Innovations in Refrigeration, Air Conditioning and in the Food Industry, *Politecnico*, 2001.
- [3] <http://eurlex.europa.eu/lexuriserv/lexuriserv.do?uri=14oj:l:2006:161:0001:0011:en:pdf>; 2006. Erişim tarihi: 07.07.2010.
- [4] <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/txt/?uri=uriserv:oj:l.2014.150.01.0195.01.eng>, Erişim tarihi: 21.01.2015.
- [5] Ratts, E.B, Brown, J.S., An experimental analysis of the effect of refrigerant charge level on an automotive refrigeration system, *International Journal of Thermal Sciences* 39; 592-604, 2000.
- [6] Kaynakli, O., Horuz, I., An experimental analysis of automotive air conditioning system, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 30; 273–284, 2003.
- [7] Esen, D.Ö., Hoşoz, M., R12 ve R134a soğutucu akişkanları kullanan otomobil iklimlendirme sisteminin deneySEL performans analizi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi* 21; 703–709, 2006.
- [8] Alkan, A., Hosoz, M., Comparative performance of an automotive air conditioning system using fixed and variable capacity compressors, *International Journal of Refrigeration* 33; 487–495, 2010.
- [9] Hosoz, M., Direk, M., Performance evaluation of an integrated automotive air conditioning and heat pump system, *Energy Conversion and Management* 47; 545–559, 2006.
- [10] Hosoz, M., Direk, M., Yigit, K.S., Turkcan, A., Alptekin, E., Sanlı, A., Performance evaluation of an R134a automotive heat pump system for various heat sources in comparison with baseline heating system, *Applied Thermal Engineering* 78; 419–427, 2015.
- [11] Hosoz, M., Ertunc, H.M., Artificial neural network analysis of an automobile air conditioning system, *Energy Conversion and Management* 47; 1574–1587, 2006.
- [12] Hosoz, M., Alkan, A., Ertunc, H. M., Modelling of an automotive air conditioning system using ANFIS, *İş Bilimi Tekniği Dergisi* 33; 127–137, 2013.
- [13] Alkan A., Doğan E., Hosoz M., Effect of refrigerant charge on the performance of an automobile air conditioning system using fixed and variable capacity compressors. In: *Proceedings of the 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17)*, Elazığ, Turkey, 19-21 Oct., 1074–1080, 2017.
- [14] Tamura, T., Yakumaru, Y., Nishiwak, F., Experimental study on automotive cooling and heating air conditioning system using CO₂ as a refrigerant, *International Journal of Refrigeration* 28; 1302–1307, 2005.
- [15] Navarro, E., Martínez-Galván, I.O., Nohales, J., González-Maciá, J.. Comparative experimental study of an open piston compressor working with R-1234yf, R-134a and R-290, *International Journal of Refrigeration* 36; 768-775, 2013.
- [16] Navarro-Esbrí, J., Mendoza-Miranda, J.M., Mota-Babiloni, A., Barragán-Cervera, A., Belman-Flores, J.M., Experimental analysis of R1234yf as a drop-in replacement for R134a in a vapour compression system, *International Journal of Refrigeration*, 36; 860-880, 2012.
- [17] Zilio, C., Brown, J.S., Schiochet, G., Cavallini, A., The refrigerant R1234yf in air conditioning systems, *Energy* 36; 6110 – 6120, 2011.
- [18] Lee, Y., Jung, G., A brief performance comparison of R1234yf and R134a in a bench tester for automobile applications, *Applied Thermal Engineering* 35; 240-242, 2012.
- [19] Cho, H., Lee, H., Park, C., Performance characteristics of an automobile air conditioning system with internal heat exchanger using refrigerant R1234yf, *Applied Thermal Engineering* 61;561-569, 2013.
- [20] Alkan A., Kolip A., Hosoz M., Experimental investigation of using R1234yf as alternative to R134a in an automobile air conditioning system. In: *Proceedings of the 8th International Advanced Technologies Symposium (IATS'17)*, Elazığ, Turkey, 19-21 Oct., 2425–2432, 2017.
- [21] Alkan, A., Otomobil klima sisteminde R134a yerine R1234yf kullanımının teorik ve deneySEL incelenmesi. Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 2015.



Mechanical and thermal insulation properties of lightweight mortars with perlite

V. Akyüncü^{1*}, A.B. Kızılkanaat², N. Kabay²

¹Department of Civil Engineering, Tekirdag Namik Kemal University, Tekirdag, Türkiye

²Department of Civil Engineering, Yildiz Technical University, İstanbul, Türkiye

Abstract

Lightweight concrete can be produced by using lightweight aggregates with porous structure. Perlite is one of the most important underground resources of our country and is a heat-expanding rock that can expand up to 20 times its original volume when expanded. In this study; expanded perlite was substituted with rilem sand by 0%, 20%, 40%, 60%, 80% to manufacture mortars. The effective water to cement ratio of all mortar samples was determined as 0.6. Tests were carried out on mortar samples to determine density, compressive strength, flexural strength, capillary water absorption, ultrasonic pulse velocity, water absorption ratio and thermal conductivity. The results showed that the density of mortar samples were reduced with increasing perlite content and that the physical and mechanical properties changed accordingly. Mortar samples with thermal insulating properties were obtained as a result of reduced thermal conductivity.

Keywords: Expanded perlite, Mortar, Lightweight concrete, Compressive strength, Thermal conductivity

1. GİRİŞ

İnşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi olan betonu oluşturan bileşenlerin, özelikleri ve miktarları betonun sahip olacağı fiziksel ve mekanik özelikleri belirleyen parametrelerdir. Betonun hacminin büyük bir bölümünü oluşturan agregalar ise betonun iskeletini meydana getirirler. Betonda kullanılan agregaların fiziksel ve mekanik özelikleri ise o betonun birim hacim ağırlığı, ısı ve ses yalıtımı gibi özeliklerini etkiler. Diğer yandan betonda birim ağırlığının azaltılmasıyla ısı iletkenlik ve ısıl genleşme katsayıları küçülür, yanına dayanıklılık artar. Betonun birim hacim ağırlığının düşürülmesiyle betonarme elemanların ağırlıkları da azaltılarak yapı hafifletilebilir. Böylece taşıyıcı sistem elemanlarının kesitleri küçültülverek ekonomi sağlanmasının yanında depremden gelen kuvvetlerde azaltılabilir [1].

Hafif agregalar kullanılarak üretilen hafif betonlar içerisinde, en yüksek ısı yalıtımı perlit kataklı hafif betonlar ile sağlanabilmektedir[1,2] Önemli madenlerimizden olan perlit; asidik karakterli, inci parlaklığında, amorf yapılı, açık gri renkli, küçük, yuvarlak camsı taneciklerden oluşmuş volkanik bir kayaçtır [3, 4]. Bu tanecikler içinde % 2-6 oranında sıkışmış olarak su bulunur. Ham perlit öğütülp, hızlı ve kontrollü bir şekilde özel firnlarda yumuşama noktasına kadar ($760^{\circ}\text{C} - 1100^{\circ}\text{C}$) ısı işlemeye tabi tutulursa bu tanecikler, içlerindeki suyun buharlaşması sonucu, ilk hacminin 10 ile 20 katı kadar genleşebilir [5]. Genleşme sırasında sıcak, yumuşamış, camsı parçacıklar halinde çok sayıda ufak tanecikler oluşur. Genleşmiş perlitin çok hafif, düşük termal iletkenlikli, ateşe dayanıklı bir malzeme oluşsunun sebebi bu camsı taneciklerdir [6].

Birim hacim ağırlığı düşük hafif betonlar üretmek için çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemlerden birincisi, beton agregasının ince kısmının yerine hafif aggrega kullanımı ile gerçekleşir. İri aggrega parçalarını bir arada tutmak ve aggrega tanelerinin etrafını ince harç tabakasıyla kaplamak amacıyla cimento kullanılır. Büyük boşluklu yalıtılmış noktalardan birbirleriyle temas halinde olan parçalar yoğunluğu düşürür. Bu tür betonlar,

* Corresponding author. Tel.: 0-2822502389; fax: 0282 2509924

E-mail address: vakyuncu@nku.edu.tr (V. Akyüncü).

kumsuz betonlar olarak bilinir. İkinci yol ise, kimyasal katkılar veya mekanik köpükleme tekniği kullanılarak betonun içerisinde hava boşlukları oluşturmaktır. Bu tür betonlar havalı, hücreli, köpük ya da gaz beton olarak bilinir. Hafif beton üretmede en yaygın yol ise, hafif agregat kullanmaktadır [7].

Normal betona göre hafif beton çok daha iyi ara yüzey özelliği gösterir. Çünkü hafif agregatındaki pürüzlü ve gözenekli yapı, çimento hamuruyla çok iyi bir aderans olmasını sağlar. Çimento hamurunun agregat içine girmesiyle ara yüzey, normal betona kıyasla çok daha güçlü hale gelir. Çimento hamurunun ve agreganın elastisite modülleri birbirinden çok farklıdır ve uygulanan dış yükler ya da termal etkiler sebebiyle, gerilme farklılıklarını sınırlı düzeyde kalır [8].

Günümüzde hafif agregatlı beton üretiminde yaygın olarak kullanılan hafif agregatlardan genleştirilmiş perlit inşaat sektöründe ısı yalıtım amacıyla ana malzeme olarak kullanıldığı gibi yapının farklı elemanlarında yük azaltıcı katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Özellikle inşaat sektöründe yüksek performanslı hafif betonların üretiminde agregat veya bağlayıcılık özelliği kazandıran puzolanik malzemeler ile birlikte de kullanılmaktadır [9,10,11]. Bununla birlikte genleştirilmiş perlitin inşaat sektöründe kullanımı zamanla daha yaygın bir hal almaktadır.

Bu çalışmada; genleştirilmiş perlit sırasıyla %0, %20, %40, %60, %80 oranlarında ince agregat ile yer değiştirilerek harç üretimleri gerçekleştirılmıştır. Üretilen tüm harç numunelerinin etkin su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Perlit agregatlı harç serilerde, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme katsayısı, ultrases geçiş hızı, su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir. Harç üretiminde çimento ve genleştirilmiş perlite ait özellikler Tablo 1'de, CEN referans kuma ait tane büyüğlüğü dağılımı ise Tablo 2'de görülmektedir. Taze harç kıvamının tayini TS EN 1015-3 [13] standardına göre belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlit agregasının kullanımı ile harçın işlenebilirliği olumsuz etkilenmemiştir, karışımındaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça artmıştır. Bu nedenle, genleştirilmiş perlit kullanılan serilerde akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek kalmamıştır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında genleştirilmiş perlit sırasıyla %0, %20, %40, %60, %80 oranlarında ince agregat ile yer değiştirilerek harç üretimleri TS EN 196-1 [12] standardına göre gerçekleştirılmıştır. Üretilen tüm harç numunelerinin etkin su/çimento oranı 0,6 olarak belirlenmiştir. Perlit agregatlı harç serilerde, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal su emme katsayısı, ultrases geçiş hızı, su emme oranı ve ısı iletkenlik katsayısı belirlenmiştir. Harç üretiminde çimento ve genleştirilmiş perlite ait özellikler Tablo 1'de, CEN referans kuma ait tane büyüğlüğü dağılımı ise Tablo 2'de görülmektedir. Taze harç kıvamının tayini TS EN 1015-3 [13] standardına göre belirlenmiştir. Genleştirilmiş perlit agregasının kullanımı ile harçın işlenebilirliği olumsuz etkilenmemiştir, karışımındaki genleştirilmiş perlit miktarı arttıkça artmıştır. Bu nedenle, genleştirilmiş perlit kullanılan serilerde akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanımına gerek kalmamıştır.

Tablo 1. Çimento ve genleştirilmiş perlite ait özellikler

Bileşenler (%)	CEM I 42.5 R	Genleştirilmiş Perlit	
CaO	62.62	0.5-2	
SiO ₂	20.84	71-75	
Al ₂ O ₃	5.23	12.5-18	
Fe ₂ O ₃	3.60	0.1-1.5	
MgO	0.85	0.02-0.5	
SO ₃	3.23	0.0-0.2	
Na ₂ O/K ₂ O	0.58/0.74	-	
TiO ₂	-	0.03-0.2	
Cl	0.03	-	
H ₂ O	-	2.0-5.0	
Kızdırma kaybı	2.45	-	
Çözünmez kalıntı	0.79	-	
<hr/>			
Fiziksel özellikler			
Özgül ağırlık	3.16	-	
Özgül yüzey (cm ² /g)	3550	-	
Priz süresi (dakika)	Başlangıç Bitiş	119 170	-
Hacim genleşmesi (mm)	1	-	
<hr/>			
Mekanik özellikler			
Dayanım (MPa)	2 günlük 7 günlük 28 günlük	28.0 41.3 60.5	-

Tablo 2. CEN referans kuma ait tane büyüklüğü dağılımı

Kare elek göz açıklığı (mm)	2.00	1.60	1.00	0.50	0.16	0.08
Elekte kalan yığışıklı (%)	0	7 ± 5	33 ± 5	67 ± 5	87 ± 5	99 ± 1

Çalışma kapsamında üretilen numunelere ait kodlamalar aşağıda görülmektedir.

- R : % 100 kum içeren normal beton
 PH20 : % 20 genleştirilmiş perlit, % 80 kum içeren harç
 PH40 : % 40 genleştirilmiş perlit, % 60 kum içeren harç
 PH60 : % 60 genleştirilmiş perlit, % 40 kum içeren harç
 PH80 : % 80 genleştirilmiş perlit, % 20 kum içeren harç

2.1 Hafif Agrega Katkılı Harç Üretimi İçin Bileşim Hesaplamaları

Harç üretiminde kullanılan malzemelerin hacimce birleşim miktarları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Genleştirilmiş perlit katkılı harç agrega karışım oranları

Agraga Tipi ve Özelliği	Karışım Oranı, Hacimce %'si				
	R	PH20	PH40	PH60	PH80
Kum (0-4 mm)	100	80	60	40	20
Genleşmiş perlit (2-4 mm)	-	20	40	60	80
Toplam	100	100	100	100	100

Çalışma kapsamında üretilen kontrol, genleştirilmiş perlit katkılı harç karışımlarındaki malzeme miktarları ve birim hacim ağırlıkları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Genleştirilmiş perlit katkılı harç karışımlarındaki malzeme miktarları ve birim hacim ağırlıkları.

Numune Kodu	1m ³ harçtaki gerçek malzeme miktarları ve taze beton özelikleri					
	Çimento (kg)	Su (kg)	Su/Çimento oranı	Kum 0-4 mm (kg)	Hafif agregat 0-4 mm (kg)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)
R	494	294	0.6	1482	-	1990
PH20	494	294	0.6	1186	16.3	1980
PH40	494	294	0.6	889.5	32.6	1830
PH60	494	294	0.6	593	48.9	1640
PH80	494	294	0.6	296.5	65.2	1440

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

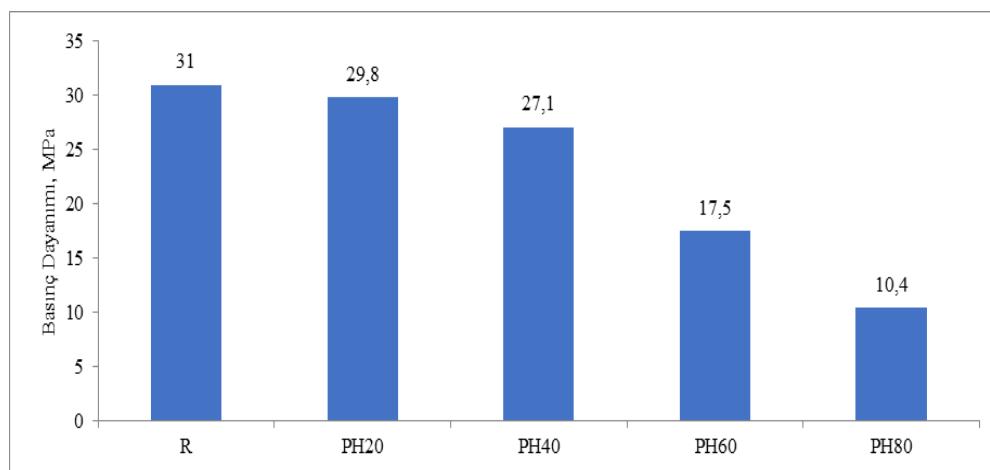
Deneysel çalışmalarında birim ağırlıkları 1460-1990 kg/m³ arasında değişen toplam 5 seri hafif harç üretilmiştir. Farklı birim ağırlıklarda üretilen ve 28 gün boyunca kirece doygun suda bekletilen hafif harçlarda fiziksel, mekanik ve ısı iletim katsayısı tayini deneyleri yapılmış, sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Harç serilere ait deney sonuçları

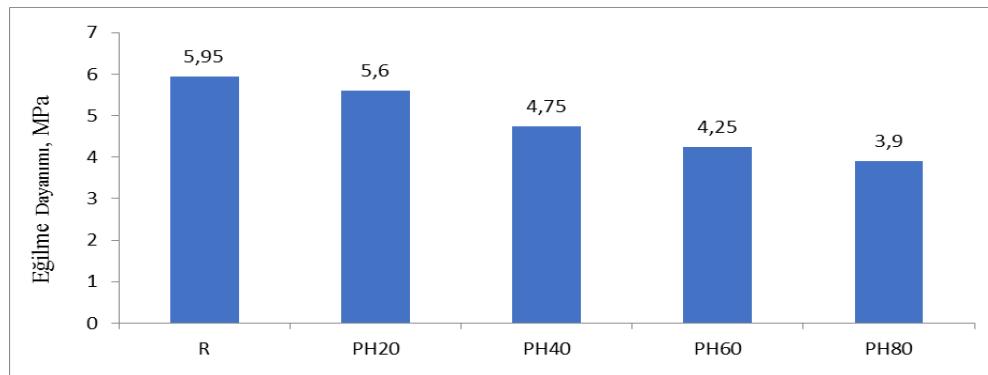
Numune kodu	Birim Hacim Ağırlığı (kg/m ³)	Ağırlıkça Su Emme (%)	Ultrases Geçiş Hızı (mm/ms)	K (Kılcal geçirimlilik katsayısı, cm ² /sn)	Eğilmeye çekme dayanımı, MPa	Basınç dayanımı, MPa	λ (ısı iletim katsayısı) (W/mK)
R	1990	7.5	4.3	0,81x10 ⁻⁷	5.95	30.95	2.36
PH20	1980	8.1	4.2	1,08x10 ⁻⁷	5.6	29.8	2.13
PH40	1830	11.6	4.1	1,55x10 ⁻⁷	4.75	27.1	1.75
PH60	1640	15.1	3.6	2,55x10 ⁻⁷	4.75	17.5	1.46
PH80	1460	18.1	3.2	3,15x10 ⁻⁷	3.9	10.4	1.20

3.1. Basınç ve Eğilme Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Eğilme ve basınç deneyi sonuçları Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Şekil 1 ve 2 incelendiğinde perlit katkılı hafif harçlarda perlit oranı arttıkça ve buna bağlı olarak birim ağırlık düşüktçe, eğilme ve basınç dayanım değerlerinin düşüğü görülmektedir. Dayanımdaki düşüşün temel sebebi, genleştirilmiş perlit agregasının diğer bileşenlere göre daha düşük dayanıma sahip olmasıdır. Bu nedenle karışımındaki perlit miktarının artması ile eğilme ve basınç dayanımında sırası ile %34 ve %70'e varan düşüşler gözlenmiştir. Eğilme ve basınç deneyi sonuçlarına göre perlit içermeyen referans numune en büyük eğilme ve basınç dayanımına, %80 perlit katkılı numune ise en küçük eğilme ve basınç dayanımına sahiptir.



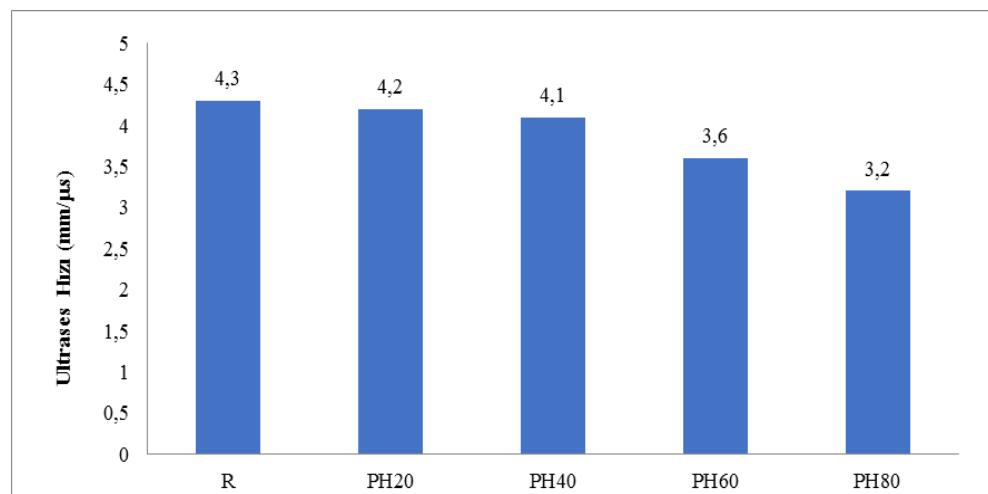
Şekil 1. Harç numunelerinin basınç dayanımı sonuçları, MPa



Şekil 2. Harç numunelerin eğilme dayanımı sonuçları, MPa

3.2 Ultrases Geçiş Hızı Deneyi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

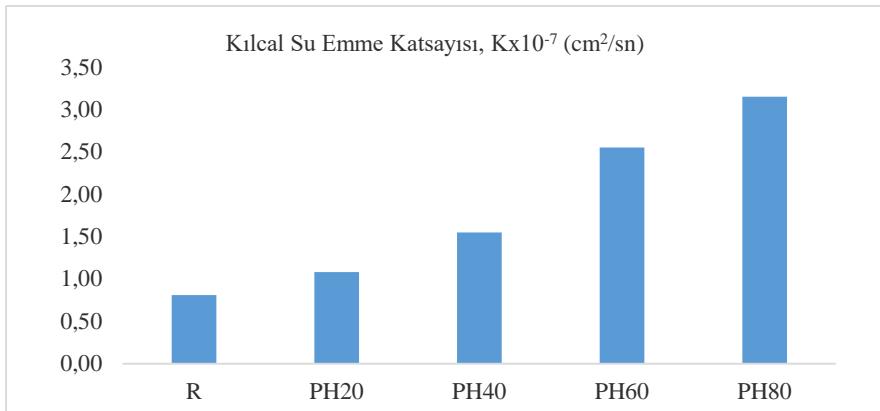
Ultrases geçiş hızı deney sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Sonuçlar dikkate alındığında karışımındaki perlit oranı arttıkça ses geçiş hızının düşüğü açık bir şekilde görülmektedir. Gözenekli ve boşluklu yapısı ile perlit agregası ses geçiş hızını düşürmektedir. Ultrases geçiş hızı deney sonuçlarına göre perlit içermeyen referans numune en büyük ultrases hızına, %80 perlit katkılı numune ise en küçük ultrases hızına sahiptir.



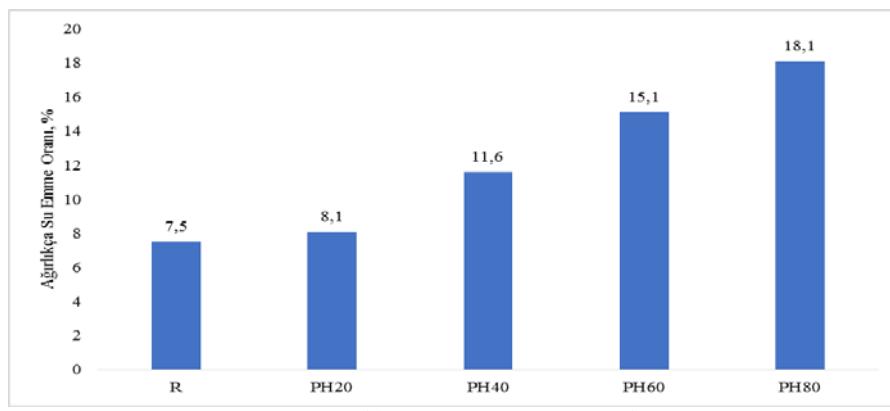
Şekil 3. Harç numunelerin ultrases geçiş hızı sonuçları

3.3. Kılcal Su Emme ve Ağırlıkça Su Emme Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Şekil 4 ve 5'te kılcal ve ağırlıkça su emme deney sonuçları grafiklerle gösterilmiştir. Perlitin yüksek su emme kapasitesi nedeniyle, harç numunelerde perlit oranına paralel olarak su emme oranlarının da arttığı gözlemlenmiştir. Kılcal su emme deneyi sonuçlarına göre kontrol numune (R) en küçük kılcal su emme katsayısına, PH80 serisi ise en büyük kılcal su emme katsayısına sahiptir. Genleştirilmiş perlit katkılı hafif harçların su emme oranları ve kılcallık katsayıları değerleri incelendiğinde, perlit miktarı arttıkça boşluk oranının arttığı ve geçirimliliğin de buna bağlı olarak arttığı görülmektedir.



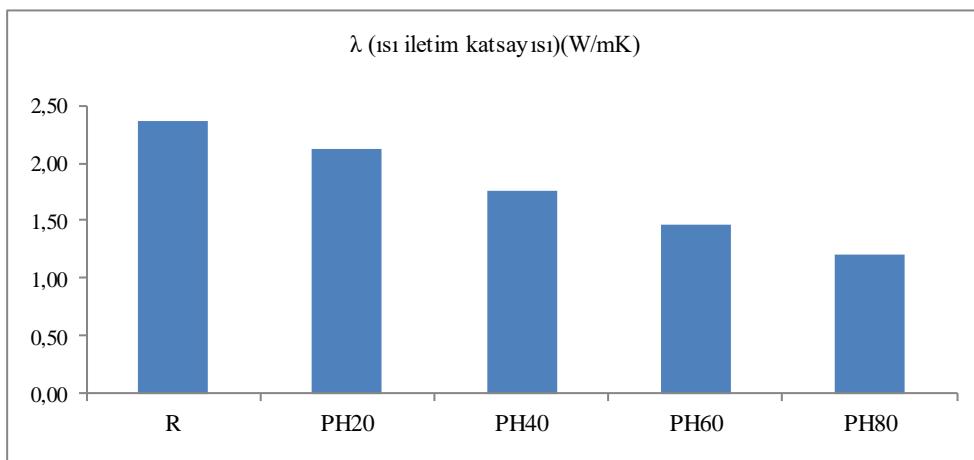
Şekil 4. Kılcal su emme katsayıları sonuçları



Şekil 5. Ağırlıkça su emme oranı (%) sonuçları

3.4. Isı İletkenlik Katsayıları Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı birim ağırlıkta üretilen perlit katkılı harç numunelerin ısı iletkenlik katsayıları değerleri Şekil 6'da verilmiştir. Isı iletkenlik katsayısı 1.20 ile 2.36 arasında değişmektedir. Karışımındaki perlit oranı arttıkça ısı iletkenlik katsayısı azalmaktadır. En düşük ısı iletkenlik katsayısı PH80 serisinde 1.20 W/mK olarak belirlenmiştir.



Şekil 6. Isı iletim katsayıları sonuçları

4. SONUÇ

Farklı oranlarda genleştirilmiş perlit agregası kullanılarak üretilen harç serilerde perlit miktarı arttıkça birim hacim ağırlığı, eğilme dayanımı, basınç dayanımı ve ısı iletkenlik katsayısının düşüğü, ağırlıkça su emmenin ve kılcal su emme katsayısının arttığı görülmüştür. Perlitin; harcin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi bileşimdeki oranına bağlı olarak değişmiş, ısı iletkenlik katsayıısı %80 perlit ikameli seride (PH80) yaklaşık %50 azalmıştır. Bununla birlikte basınç dayanımı perlit oranı ile birlikte yaklaşık %70 oranında azalırken, eğilme dayanımındaki düşüş ise yaklaşık %34 mertebede kalmıştır. Perlit agregası kullanımı ile birlikte birim ağırlık önemli ölçüde azalmış, en düşük değer PH80 serisinde 1460 kg/m³ olarak belirlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında üretilen harç serilerden elde edilen deney sonuçlarına göre, genleştirilmiş perlit kullanım ile harçların su emme ve mekanik özellikleri olumsuz etkilense de birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayıısı dikkate alındığında yapılarda özellikle zati yükün azaltılmasında ve ısı yalıtım performansının arttırılmasında önemli avantajlar sağlayacaktır. Ülkemizde çok büyük miktarda rezervi bulunan perlitin, inşaat sektöründe bu anlamda kullanım alanı bulmasıyla ülke ekonomimiz ve ülke çıkarları açısından büyük yararlar sağlayabilecektir.

TEŞEKKÜR

Yapı malzemesi anabilim dalında bitirme çalışması yapan öğrencilere deneysel çalışmalarındaki emeklerinden dolayı teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

- [1] Azizi,S., Perlit katkılı hafif betonların mekanik özellikleri ve ısı yalıtımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007.
- [2] Duaij, J. A. A., El-Laithy K. and Payappilly R. J., A value engineering approach to determine quality lightweight concrete aggregate, *Cost Engineering*, 39, 21-26, 1997.
- [3] Doğan, M., Sulu ortamda perlit'in yüzey yükünün ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 2001.
- [4] Chestermen, C. W., Industrial minerals and rocks, 4th Ed., *AIME and Pet. Eng.*, New York, p. 927-934, 1975.
- [5] Harben, P. W., and Bates, R. L, *Metal Bulletin Plc.* 184-189, London, 1990.
- [6] Doğan, M., Cumaovası perliti'nin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 1997.
- [7] Neville, A.M., and Brooks, J.J., Concrete Tecnology. Longman Scientific and Technical, 155, 1987.
- [8] Baradan B., Yazıcı H., Aydin S., *DEÜ Mühendislik Yayımları*, Beton, 2012.
- [9] Topcu İB, İşkdağ B. "Manufacture of high heat conductivity resistant clay bricks containing perlite". *Building and Environment*, 42(10), 3540-3546, 2007.
- [10] Liu WV, Apel DB, Bindiganavile VS. "Thermal properties of lightweight dry-mix shotcrete containing expanded perlite aggregate", *Cement and Concrete Composites*, 53, 44–51, 2014.
- [11] Türkmen I, Kantarcı A. "Effects of expanded perlite aggregate and different curing conditions on the physical and mechanical properties of self-compacting concrete", *Building and Environment*, 42(6), 2378-2383, 2007.
- [12] TS EN 196-1, Dayanım Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- [13] TS EN 1015-3, Taze Harç Kivamının Tayini (Yayılma Tablası İle), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2000.
- [14] TS 3624, Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1981.



Physical and Mechanical Properties of Cement Based Coating Materials

N.Kabay¹, V. Akyüncü^{2*}, A.B. Kızılkanat¹, Ö.U. Aktaş¹

¹Department of Civil Engineering, Yildiz Technical University, Istanbul, Turkey

²Department of Civil Engineering, Tekirdag Namik Kemal University, Tekirdag, Turkey

Abstract

Slab surfaces are the most vulnerable elements in constructions that are exposed to environmental effects and therefore require a coating material to improve their resistance to different physical, mechanical and chemical effects. The performance of coating materials vary depending on the admixed chemical materials. One example for such chemicals is the polymers.

Polymers used in coating materials are commercially available in the form of liquid and powder. In this study three different types of polymers are used to manufacture cement based coating materials. The coating materials were then tested to determine characteristic properties such as shrinkage, flexural and compressive strength, abrasion, water absorption by weight and volume, capillary water absorption and freeze-thaw resistance.

Test results showed that when used at definite content, polymer addition could improve the physical, mechanical and durability properties of cement based coating materials.

Keywords: Coating, polymer, physical properties, mechanical properties, freeze-thaw resistance.

1. GİRİŞ

Kaplama, beton yüzeyi üzerinde sürekli bir koruma sağlayan, kalınlığı genellikle 0,1 mm'den 5 mm'ye kadar değişebilen, bazı özel uygulamalarda 5mm'den fazla teşkil edilebilen tabakalara verilen genel addır [1]. Kaplama uygulaması ile mevcut beton yüzeyin korunması, daha düzungün, uzun ömürlü, tozumayan, sağlıklı ve görsel açıdan güzel görünen bir yüzey elde edilmesi sağlanabilmektedir.

Kaplama malzemelerinin uygulanmasındaki temel amaç özellikle betonarme döşemeyi zamana bağlı olarak yıpranmaya karşı dış etkilerden korumakla birlikte döşemeye istege uygun olarak estetik görünüm, aşınma direnci, kaymazlık fonksiyonu, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gibi pek çok özellik kazandırmaktır [2].

Genel olarak betonda dört temel yüzey iyileştirme yöntemi uygulanmaktadır: (a) sürekli film tabakası oluşturan organik kaplamalar, (b) boşlukların yüzeyini kaplayan hidrofobik uygulamalar, (c) kapiler boşlukları doldururan uygulamalar ve (d) çimento esaslı tabakalar [3].

Polimerik kaplamalar genellikle akrilik, poliüretan ya da epoksi gibi polimer esaslı malzemelerdir. Akrilik ve poliüretan ile modifiye edilmiş harçlarda geçirimlilik özellikleri genellikle iyileşmeyecektir ve bu anlamda uygulandığı betonarme yüzeylerde servis ömrünü olumlu yönde etkilemektedir. Akrilik esaslı kaplamaların betonun klor geçirimliliğini oldukça azalttığı yapılan deneylerle ortaya koyulmuştur. Polimer-çimento esaslı kaplamalarda polimer miktarı arttıkça kaplama ile beton arasındaki aderans ve kaplamanın fiziksel bariyer etkisi de artmaktadır [4-8].

* Corresponding author. Tel.: 0-2822502389; fax: 0282 2509924

E-mail address: vakyuncu@nku.edu.tr (V. Akyüncü).

Bu çalışmada polimer-çimento esaslı kaplamaların çeşitli fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üç farklı tip (sıvı ve toz halde) polimerin üretim aşamasında çimento esaslı matrise belirli oranlarda katılması ile elde edilen 3 seri harçta eğilme ve basınç dayanımı gelişimi, aşınma, su emme, rötre ve donma-çözülmeye dayanıklılık araştırılmış, sonuçlar polimer içermeyen referans harç seri ile karşılaştırılmıştır.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1. Malzemeler

Kaplama malzemesi üretiminde çimento (beyaz Portland çimento ve alüminatlı çimento), silis esaslı ince agregat, akışkanlaştırıcı, köpük kesici, kıvam arttırıcı ve polimer kullanılmıştır. Bu malzemelere ait detaylar aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Çimento

Deneysel çalışmada CEM I 52,5 R beyaz Portland çimentosu ve alüminatlı çimento birlikte kullanılmıştır. Çimentolara ait fiziksel özellikler ve kimyasal bileşenler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan çimentolara ait özellikler

Kimyasal bileşenler ve fiziksel özellikler	Beyaz Portland çimento	Alüminatlı çimento
Cözünmeyen kalıntı (%)	0,18	-
SiO ₂ (%)	21,6	3,6
Al ₂ O ₃ (%)	4,1	39,8
Fe ₂ O ₃ (%)	0,26	17,1
CaO (%)	65,7	36,2
MgO (%)	1,3	0,65
SO ₃ (%)	3,3	0,04
Kızdırma kaybı (%)	3,2	0,3
Na ₂ O (%)	0,3	-
K ₂ O (%)	0,35	-
Serbest CaO (%)	1,6	-
Özgül ağırlık	3,06	3,25
Özgül yüzey (Blaine, cm ² /g)	4600	3000

2.1.2. Agrega

Harç üretiminde, maksimum dane çapı 2 mm olan silis kumu kullanılmıştır.

2.1.3. Akışkanlaştırıcı

Çalışmada melamin esaslı toz akışkanlaştırıcı kullanılmış, kullanılan akışkanlaştırıcıya ait özellikler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin özellikleri

Fiziksel hal	Toz
Renk	Beyaz
Kurutma sırasındaki kütle kaybı	Maksimum %4
Yoğunluk (kg/m ³)	500-800
pH	9,0 – 11,4

2.1.4. Köpük kesici

Çalışmada, harç yüzeyinde köpük oluşmasını engellemek amacı ile köpük kesici katkı maddesi kullanılmış, köpük kesicinin özellikleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Köpük kesici katkı maddesinin özellikleri

Fiziksel hal	Toz
Renk	Beyaz
Kurutma sırasındaki kütle kaybı	Maks. %4
Yoğunluk (kg/m ³)	290

2.1.5. Kıvam arttırıcı

Çalışmada kıvam arttırıcı olarak iyonlaşmamış, suda çözünebilen selüloz eter kullanılmış, kıvam arttırcının özelliklerini Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kıvam arttırcının özelliklerini

Fiziksel hal	Toz
Renk	Beyaz
Tane çapı	<425µm
Su içeriği	Maks. %5
Tuz içeriği	Maks. %5
Yüzey aktivitesi ve viskozite	Zayıf

2.1.6. Polimer

Kaplama malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisini belirlemek amacıyla üç farklı tip polimer kullanılmış, polimerlere ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Polimerlerin kimyasal ve fiziksel özelliklerini

Polimer tipi	Toz polimer (D)	Akrilik polimer (O)	Sıvı polimer (S)
Kimyasal bileşim	Vinil asetat ve etilen	Saf akrilik	Stiren akrilik
Renk	Beyaz	Beyaz	Beyaz
Toplam katı madde oranı (%)	-	47±1	50±1
pH	6	9-10	5-7
Viskozite (Mpa/s)	-	300	3000-7000

2.2. Karışım Oranları ve Kontrol Deneyleri

Deneysel çalışmada toplamda 4 seri kaplama malzemesi üretilmiş, seri kodlarının açıklamaları ve serilere ait karışım oranları ve sırası ile Tablo 6'da ve Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 6. Harç serilerin kodlanması

Kod	Açıklama
R	Referans (polimer katkısız) seri
O5	%5 saf akrilik emülsiyon polimer katkılı harç seri
S5	%5 stiren akrilik bazlı sıvı polimer katkılı harç seri
D2.5	%2.5 vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimer katkılı harç seri

Tablo 7. Karışım oranları (ağırlıkça)

Malzeme	R	O5	S5	D2,5
Cimento (BPÇ+AC)	100	100	100	100
Su	63,29	63,29	63,29	63,29
Köpük kesici	2,31	2,31	2,31	2,31
Kıvam arttıracı	0,13	0,13	0,13	0,13
Akışkanlaştırıcı	0,87	0,67	1,33	2,00
Sıvı polimer (S)	0	0	12,50	0
Akrilik polimer (O)	0	12,50	0	0
Toz polimer (D)	0	0	0	6,25
Ince agregat	150	150	150	150

Çimento esası polimer katkılı kaplama malzemelerinde 2, 7. ve 28. günlerde eğilme ve basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Eğilme deneyi, 3 adet 40x40x160 mm boyutlu prizmatik numunede TS EN 196-1'e [9] uygun olarak yapılmıştır. Basınç deneyi ise eğilme deneyi sonucunda elde edilen yarım prizmalarda TS EN 12190'a [10] uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Aşınma deneyi TS EN 13892-3 [11] standardına uygun olarak kenar boyutu $71 \pm 1,5$ mm olan küp numunelerde yapılmıştır. Deneyde, aşındırıcı malzeme olarak krondon tozu kullanılmıştır.

Su geçirgenliği deneyi, 40x160x160 mm boyutlarında beton üzerine dökülen kaplama malzemesinde TS EN 1062-3'e [12] uygun olarak yapılmıştır. Taban malzeme olarak kullanılan beton numuneler kaplama malzemesi dökülmeden önce temizlenmiş ve kurutulmuştur. Deney numuneleri bir hafta süreyle laboratuvar ortamında bekletilmiş, şartlandırmadan önce deney numunelerinin arkası yüzü ve kenarları parafinle kaplanarak suya karşı sızdırmaz hale getirilmiştir.

Harç numunelerde ağırlıkça ve hacimce su emme deneyi, her bir seri için 50 mm boyutlu 3'er adet küp numunede 28. günde yapılmıştır.

Donma-çözülme deneyi EN 13687-1 [13] standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutlu numunelerde yapılmıştır. Deney, 28. günü doldurulan numunelerin suya konulmasıyla başlanmıştır. Numuneler 24 saat suda bekledikten sonra aşağıda açıklandığı şekilde donma-çözülme çevrimine tabi tutulmuşlardır.

- Numuneler doymuş sodyum klorür çözeltisi içine koyularak, -15 ± 2 °C sıcaklıkta 2 saat boyunca bekletilmiştir.
- Numuneler yıkandıktan sonra 21 ± 2 °C sıcaklıkta suda 2 saat bekletilmiştir.

Her 10 çevrimde bir numuneler çatlama, soyulma, kabarma, parça atma gibi yüzeysel kusurları tespit etmek için gözle kontrol edilmiş, deney 50. çevrimde kadar sürdürülmüş, ardından numuneler üzerindeki yüzeysel kusurlar incelenmiş ve fotoğraflanmıştır.

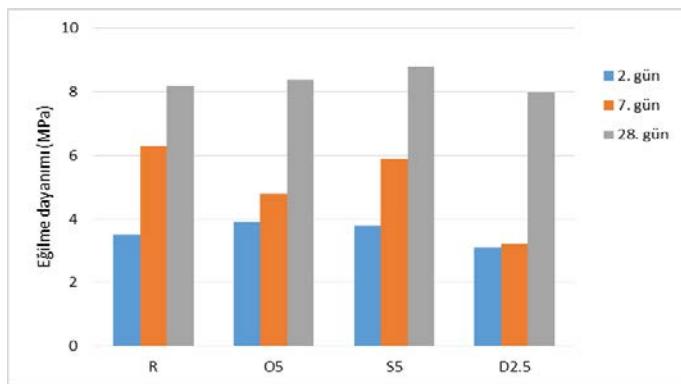
Rötrenin belirlenmesi amacıyla, hazırlanan harç numuneler EN 12617-1'e [14] uygun olarak 1000x30x4 mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiş, sıcaklığı 21 ± 2 °C, bağıl nemi 60 ± 10 olan laboratuvar ortamında 7 gün saklanmış ve boy değişimi belirlenmiştir. Ardından numuneler kalıp içerisinde 70 ± 2 °C sıcaklığındaki etüvde 24 saat boyunca bekletilmiştir, etüvdən alınan numuneler 24 saat daha laboratuvar ortamında bekletildikten sonra boy değişimi ölçümü tekrarlanmıştır. Rötre, boy değişiminin (Δl) numunenin ilk boyuna (l_0) oranlanması ile hesaplanmıştır.

3. DENEY SONUÇLARI VE İRDELEMELER

Çalışma kapsamında üretilen kaplama malzemelerinin eğilme ve basınç dayanımının zamana bağlı değişimi Tablo 8 ve Şekil 1-2'de gösterilmiştir.

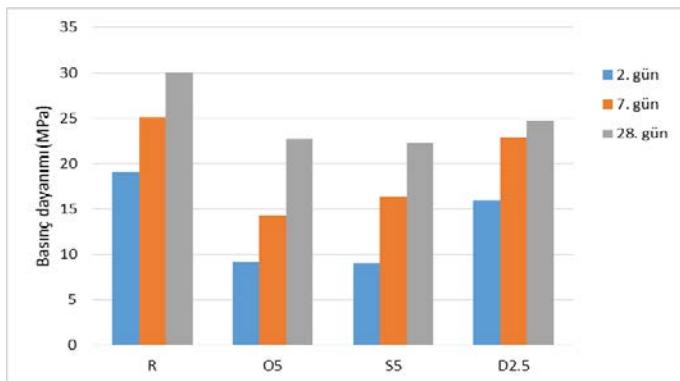
Tablo 8. Kaplama malzemelerine ait mekanik deney sonuçları

Kod		R	O5	S5	D2.5
Eğilme dayanımı (MPa)	2. gün	3,5	3,9	3,8	3,1
	7. gün	6,3	4,8	5,9	3,2
	28. gün	8,2	8,4	8,8	8,0
Basınç dayanımı (MPa)	2. gün	19,1	9,1	9,0	16,0
	7. gün	25,1	14,3	16,3	22,9
	28. gün	30,0	22,7	22,2	24,7



Şekil 1. Kaplama malzemelerinin eğilme dayanımı gelişimi

Kaplama malzemelerinin eğilme dayanımı Şekil 1'de görüldüğü üzere zamana bağlı artmış, tüm seriler dikkate alındığında 28. gündeki eğilme dayanımı $8,4 \pm 0,4$ MPa aralığında değişmiştir. Polimer katkısı genel olarak eğilme dayanımını olumlu etkilemiş, en yüksek eğilme dayanımı %5 stiren akrilik bazlı sıvı polimer katkılı harç seride (S5) 8,8 MPa olarak gözlenmiştir.



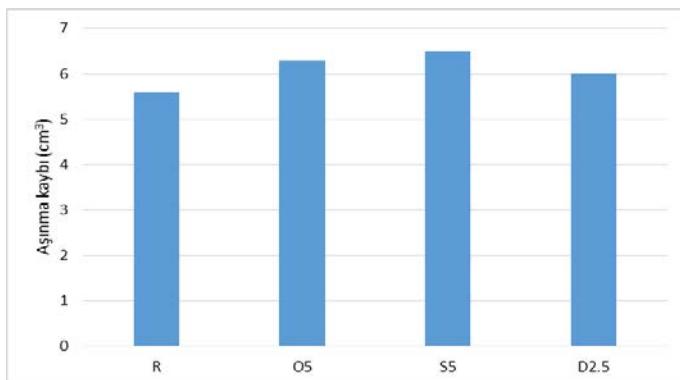
Şekil 2. Kaplama malzemelerinin basınç dayanımı gelişimi

Harç serilerin basınç dayanımı eğilme dayanımına benzer şekilde zamana bağlı artmış, ancak polimer kullanımı basınç dayanımını olumsuz etkilemiştir. Polimer katkılı harçların 28 günlük basınç dayanımı $23,5 \pm 1,5$ MPa arasında değişmiş, referans harca göre dayanımında ortalama yaklaşık %20 azalma meydana gelmiştir. Polimer katkılı harçlarda en yüksek dayanım %2.5 vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimer katkılı harç seride (D2.5) gözlenmiştir.

Harç serilerde gerçekleştirilen aşınma kaybı, su geçirgenlik hızı katsayı, ağırlıkça ve hacimce su emme ile rötre deney sonuçları Tablo 9'da özetlenmiştir. Deney sonuçları ayrıca Şekil 3-6 da gösterilmiştir.

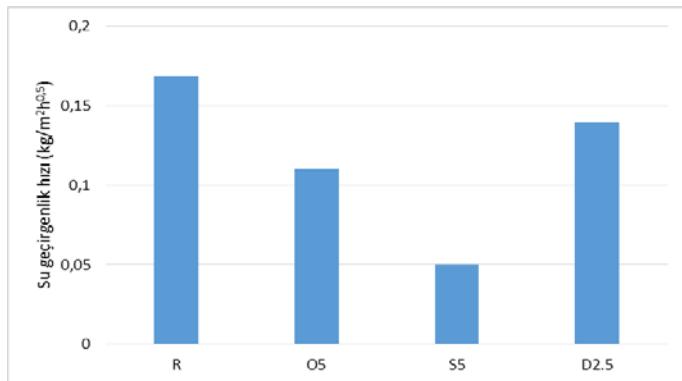
Tablo 9. Kaplama malzemelerine ait fiziksel deney sonuçları

Kod	R	O5	S5	D2.5
Aşınma kaybı (ΔV , cm^3)	5,6	6,3	6,5	6,0
Su geçirgenlik hızı katsayı ($\text{kg}/\text{m}^2\text{h}^{0,5}$)	0,169	0,110	0,05	0,14
Ağırlıkça su emme (%)	12,3	10,7	8,8	12,4
Hacimce su emme (%)	22,7	18,4	15,3	22,8
Rötre (mm/m)	0,12	0,08	0,13	0,15



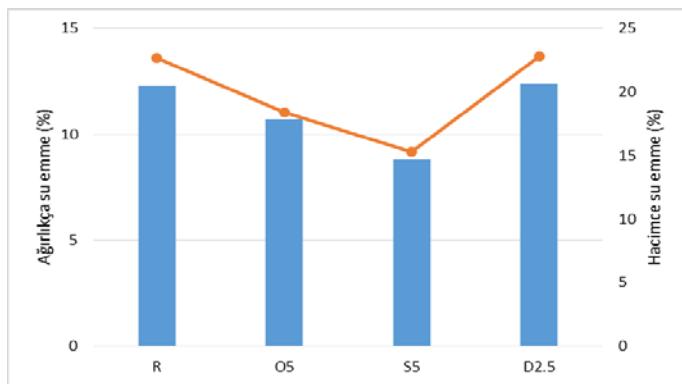
Şekil 3. Kaplama malzemelerinin aşınma kaybı

Aşınma deneyi sonuçları (Şekil 3) dikkate alındığında harç serilerin aşınma kaybının yaklaşık $6 \pm 0,5$ cm^3 aralığında olduğu, polimer katkının harçın aşınma direncine belirgin bir etkisinin olmadığı görülmektedir.

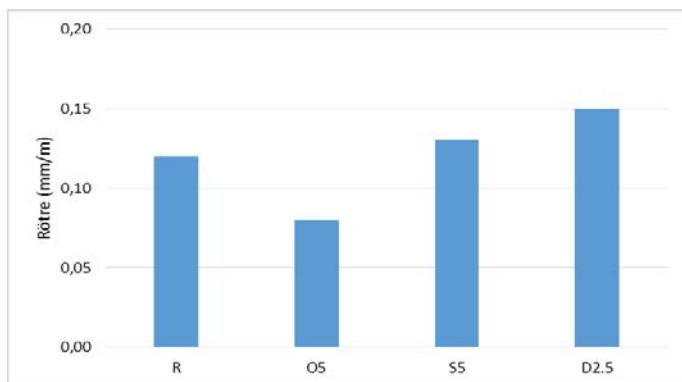


Şekil 4. Kaplama malzemelerinin su geçirgenlik hızı katsayıları

Harç numunelerde gerçekleştirilen su geçirimlilik deneyi sonuçları Şekil 4'te gösterilmiştir. Polimer kullanımı ile harçın su geçirimliliği belirgin şekilde azalmış, en düşük su geçirgenlik hızı katsayıları %5 stiren akrilik bazlı sıvı polimer katkılı harç seride (S5) $0,05 \text{ kg}/\text{m}^2\text{h}^{0.5}$ olarak belirlenmiştir. Polimer katkılar performans açısından karşılaştırıldığında her ne kadar referansa göre daha düşük su geçirimliliğine sahip olsa da vinil asetat-etilen kopolimer bazlı toz polimerin en düşük performansı gösterdiği görülmektedir. Benzer sonuçlar ağırlıkça ve hacimce su emme deney sonuçlarına da (Şekil 5) yansımaktadır.



Şekil 5. Kaplama malzemelerinin ağırlıkça ve hacimce su emme oranları



Şekil 6. Kaplama malzemelerinin rötre değerleri

Rötre deney sonuçları Şekil 6'da gösterilmiştir. Referans seri ile kıyaslandığında sadece %5 saf akrilik emülsiyon polimer katkılı harç seri daha düşük rötre değeri vermiştir. Diğer polimerlerin kullanıldığı S5 ve D2.5 serilerinde rötre değeri referansa göre sırası ile %10 ve %25 daha yüksek çıkmıştır.

Polimer katkılı harçların donma-çözülme etkisi altındaki performansını belirlemek adına 50 çevrime maruz bırakılan harç numunelerde meydana gelen kusurlar Şekil 7-10'da gösterilmiştir. Görsel incelemeden elde edilen sonuçlara göre polimer kullanımı, harçın donma-çözülme performansında referans serisiye göre gözle görülür bir iyileşme sağlamıştır. Referans numuneler en büyük hasarı görürken (Şekil 7) S5 ve O5 serilerinde belirgin bir hasar oluşmamıştır.



Şekil 7. Referans numunelerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü



Şekil 8. D2.5 serisine ait numunelerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü



Şekil 9. S5 serisine ait numunelerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü



Şekil 10. O5 serisine ait numunelerin donma-çözülme çevrimi sonundaki görüntüsü

4. SONUÇLAR

Farklı tip polimerler ile modifiye edilmiş çimento esaslı harçların fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacı ile gerçekleştirilen deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Polimer ilavesi harçların eğilme dayanımını olumlu yönde geliştirirken basınç dayanımında yaklaşık %20 azalmaya yol açmıştır.
- Polimer ilavesi harçın aşınma direncine belirgin bir etki yapmamış, referans numuneye göre polimer katkılı harçların aşınma kayıpları az bir miktar artmıştır.
- Harçların su geçirimliliği polimer kullanımı ile belirgin şekilde azalmış, polimer tipi geçirimlilik performansını doğrudan etkilemiş, %5 stiren akrilik bazlı sıvı polimer katkılı harç seride en düşük değere ulaşmıştır.
- Polimer kullanımının harçın rötresine etkisi polimer tipine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Referans seri ile kıyaslandığında sadece %5 saf akrilik emülsiyon polimer katkılı harç seri daha düşük rötre değeri vermiştir. Diğer polimerlerin kullanıldığı S5 ve D2.5 serilerinde rötre değeri referansa göre sırası ile %10 ve %25 daha yüksek çıkmıştır.
- Donma-çözülme etkisi altındaki performans dikkate alındığında, polimer kullanımını ile harçın donma-çözülme performansında referans serisi göre gözle görülür bir iyileşme sağlanmıştır. Referans numuneler en büyük hasarı görürken S5 ve O5 serilerinde belirgin bir hasar oluşmamıştır.
- Polimerlerin kimyasal yapılarına bağlı olarak çimento esaslı harçların farklı özelliklerini geliştirdiği, örnek olarak stiren akrilik bazlı sıvı polimerin su geçirimliliğini diğer polimerlere göre daha çok azalttığı, saf akrilik bazlı polimerin harçın rötresini azalttığı görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmadaki yardımlarından dolayı Yapı Malzemeleri Laboratuvarı çalışanlarına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] TS EN 1504-1, Beton yapıların korunması ve tamiri için mamuller ve sistemler - Tarifler, gerekler, kalite kontrol ve uygunluk değerlendirmesi - Bölüm 1: Tarifler, 2008.
- [2] Cain R., Borglum E., Selecting the proper fluid-applied resin flooring system for concrete floors, *Journal of Architectural Coatings*; 2009.
- [3] Diamanti M.V., Brenna A., Bolzoni F., Berra M., Pastore T., Ormellesse M., Effect of polymer modified cementitious coatings on water and chloride permeability in concrete, *Construction and Building Materials* 49; 720-728, 2013.
- [4] Swamy R.N., Tanikawa S., An external surface coating to protect concrete and steel from aggressive environments, *Materials and Structures* 26; 465–478, 1993,
- [5] Sergi G., Seneviratne A.M.G., Maleki M.T., Sadegzadeh M., Page C.L., Control of reinforcement corrosion by surface treatment of concrete, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers- Structures and Buildings* 140(1); 85–100, 2000.
- [6] Almusallam A.A., Khan F.M., Dulaijan S.U., Al-Amoudi O.S.B., Effectiveness of surface coatings in improving concrete durability, *Cement and Concrete Composites* 25; 473–81, 2003.
- [7] Aguiar J.B., Camões A., Moreira P.M., Coatings for concrete protection against aggressive environments, *Journal of Advanced Concrete Technology* 6; 243–250, 2008.
- [8] Medeiros M.H.F., Helene P., Surface treatment of reinforced concrete in marine environment: influence on chloride diffusion coefficient and capillary water absorption, *Construction and Building Materials* 23; 1476–1484, 2009.
- [9] TS EN 196-1, Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, 2009.
- [10] TS EN 12190, Beton yapılar- Koruma ve tamir için mamul ve sistemler- Deney metotları- Tamir harcı basınç dayanımının tayini, 2001.
- [11] TS EN 13892-3, Şap malzemeleri - Deney yöntemleri - Bölüm 3: Aşınma direncinin belirlenmesi - Böhme deneyi, 2010.
- [12] TS EN 1062-3, Boyalar ve vernikler - Kâğıt ve beton dış cephe için kaplama malzemeleri ve kaplama sistemleri - Bölüm 3: Su geçirgenliğinin tayini, 2010.
- [13] TS EN 13687-1, Beton yapılar-Koruma ve tamir için mamul ve sistemler-Deney metotları-İslı uygunluğun tayini- Bölüm 1: Buz çözücü tuz içinde donma-çözülme deneyi, 2002.
- [14] TS EN 12617-1, Beton yapılar - Koruma ve tamir için mamul ve sistemler - Deney metotları - Bölüm 1: Yüzey koruma sistemleri (spc) ve polimerler için doğrusal büzülmeyen tayini, 2004.



Improving Reliability and Operational Flexibility Capacities in case of Strategic Extension of Ereğli-II Substation in Turkey

N.Pamuk^{1*}

¹Department of Computer Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

Abstract

This study investigated an extension strategy for electrical equipment in an electrical power plant from the reliability perspective. It describes the works and studies made in Ereğli-II substation in Turkey, to upgrade the existing 25 MW electrical generation capacity to 95 MW through an interconnection between the existing generation systems and Turkish National Electric Grid (TNEG). Through this extension major modifications have been made in connection lines between Ereğli-II electrical substation and national electrical network and the electrical distribution system in order to restore the system reliability, operational flexibility and equipment maintainability. In this study, main design criteria, power system analysis, two level medium voltage and low voltage distribution system installation, automation, load control of generation, distribution and control room revision during the extension project are reviewed. It presents appropriate, systematic and effective application for improved electrical reliability and increased production capacity. The aim of this paper to make recommendations based on the learning experiences during the implementation of this project and to assist the reader faced with a similar major plant extension projects.

Keywords: Turkish National Electric Grid (TNEG), Modification, Reliability, Electrical Power Plant.

1. INTRODUCTION

Electricity is a convenient form to transfer energy. Electrical energy is seldom generated and used directly. Electrical power systems convert an available energy source such as gas, coal, hydro, nuclear, wind or solar to electrical energy [1]. The generated electricity is then conveniently transferred to a load center. The devices at the load center convert the electrical energy back to another useful energy form such as light, heat, or mechanical motion [2-3]. Modern countries are not used to having even short electrical power system failures in electrical power plants. Electrical power plants are generally operated for two or three years without pausing because opportunity cost of plant pausing time is very large [4]. Equipment in electrical power plant is also required to work without any pausing as long as possible. For long-run operation of electrical power plant, maintenance with plant shutdown is very important and it has a large impact on asset management of a power plant.

The electrical power transmission and distribution network of a power plant has a direct impact on the profitability, reliability and overall operation of that plant. In power plants reliability is important in terms of cost and reliability [5-6]. This is due to the hazardous environment that is created by the nuclear processes. Sudden loss of power can result in explosions or the escape of noxious gasses. Often, it is not the loss of power that causes the problem, but the uncontrolled startup of a plant when the power is restored. Furthermore the vulnerability of the electrical power system, the industrial and heavy iron-steel companies and the public and private sector is high due to the interconnectedness and dependency of all areas on information and communication technology, navigational systems and other electronic devices. One of the most serious problems in the operation of industrial company is the breakdown of the electrical energy in the

* Corresponding author. Tel.: +90 372-291-2617.

E-mail address: nihatpamuk@beun.edu.tr (N. Pamuk).

production processes [7]. This interruption could be due to the presence of failures that inhibit the continuity and reliability of the electrical energy service. A possible cause of fault in the electrical power system with permanent damages in the primary electrical equipment is the occurrence of the catastrophic phenomenon. The presence of this phenomenon is directly associated with the grounding scheme of the electrical power equipment [8-9]. At the moment, in some electrical power plants only one neutral is connected to ground. When a fault appears, the protection relays operate in order to release the fault and leaving the system temporarily without ground reference. As a practical solution to keep away from the presence of overvoltage by catastrophic scenario, a hybrid neutral grounding scheme is used with the target of avoiding the power system could be floated during stationary and fault operation of the electrical power system in industrial company. Hybrid neutral grounding consists on an implementation of high resistance grounding in parallel with the low resistance scheme on each of the electrical generators [10].

The goal of this study is to investigate the reliability of electrical transmission and distribution systems used in chemical and gas to liquid plants compared to those used in other industrial plants and to develop a model that can be used to establish the adequacy of the reliability of transmission and distribution power networks in terms of the components and power network topologies used. It provides an analysis of research on the occurrence of failures in the electrical system of power plants. Using digital simulation by Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) version 7.5.0 computer software [11] was determined that this phenomenon appears when the electrical system has major extensions.

2. DESCRIBING EREGLI-II ELECTRICAL SUBSTATION

Eregli-II electrical substation, a substation belonging to Turkish National Electric Grid (TNEG), is the biggest transformer center of Marmara region in Turkey, with a load flow capacity of 1638 MW per day [12]. It is located in the north-west region of Turkey. Eregli-II electrical substation installed electrical generation capacity was 25 MW before the extension project and it was generally operated in island mode. The system was only synchronized with TNEG in case of generator failures and generator maintenance periods. One line diagram of the eregli-II electrical substation with 25 MW generation capacities is shown in figure 1.

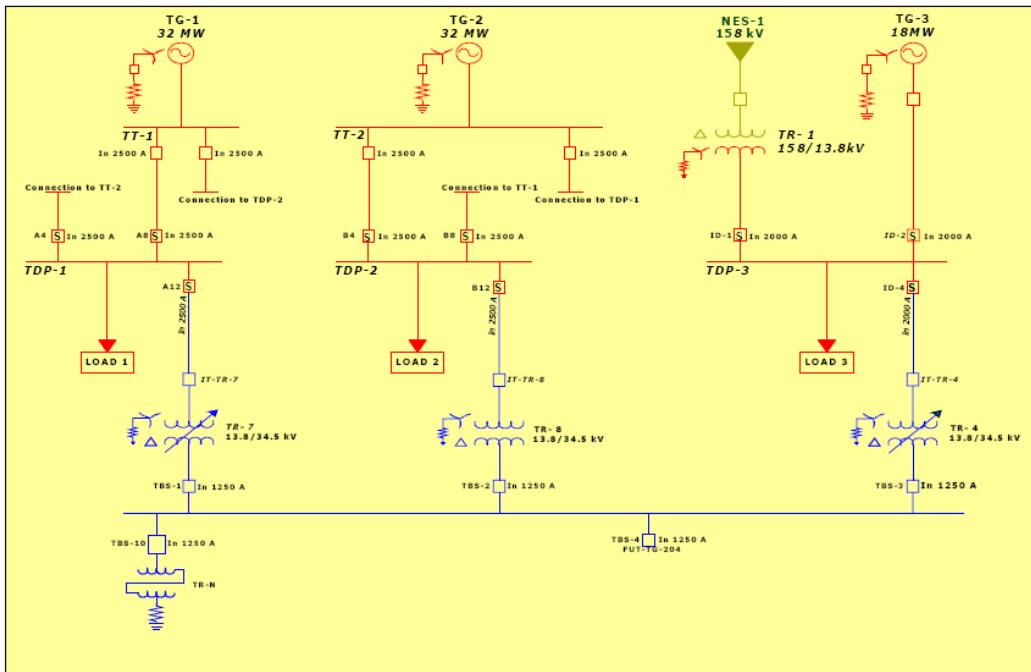


Fig. 1. One line diagram of the eregli-II electrical substation with 25 MW generation capacities

25 MW is generated with four different types of steam turbine driven generators with 5 MW, 5 MW, 5 MW and 10 MW capacities each. The existing eregli-II substation electrical generation and distribution systems are in 13.8 kV and 34.5 kV voltage levels respectively. Two sets of steam turbine driven generators are connected to TDP-1 and TDP-2 buses. Two separate generation busses (TDP-1 and TDP-2) with 13.8 kV voltage level are the main load supply centers of the eregli-II substation. Two outgoing feeders from these generation busses go out to each substation located near the process plants. Switchgears in substations are designed with a dual radial supply from 13.8 kV generation busses and automatic transfer between left and right hand separate busses. Switchgears, except last wind power plant (plant TG-1), are supplied through 13.8/0.4 kV transformers and as seen in figure 1. Wind power plant is supplied directly from the 13.8 kV

generation busses (TDP-2) due to its very big motors. Two 13.8 kV generation switchgears and national grid are synchronized in the 34.5 kV main distribution centers (TT-2) located in eregli-II electrical substation entry. This paper deals with the effects of these major modifications, extensions and revisions due to the additional electric generation and new loads on the project phases and aims to help make decisions for possible solutions.

3. DETECTION STRATEGIC EXTENSION CAPACITY OF ELECTRICAL SYSTEM

In order to meet 30 MW electrical power demand of the new plant, NES-2, and to support the existing plant's requirement in case of the failure of one or more steam turbine driven generators, one gas turbine driven generator with 40 MW generation capacity (NES-3) has been added to the existing electrical power system with the additions shown in drawing figure 2. The new gas turbine and generator with auxiliaries, heat recovery steam generator and 13.8kV switchgear have been installed close to the existing power generation plant. Until 1996, the eregli-II electrical substation was generally operated in island mode and in case of any turbine driven generator failure or any maintenance period, the eregli-II electrical substation was synchronized with the national grid for certain duration. One line diagram of the eregli-II electrical substation after extension capacities is shown in figure 2.

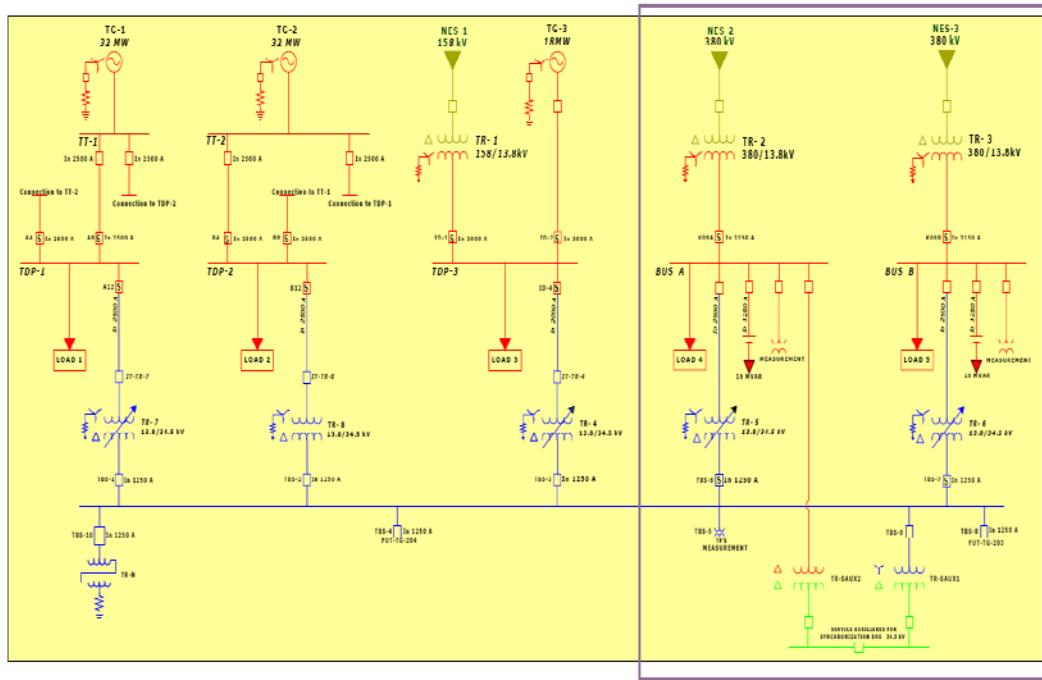


Fig. 2. One line diagram of the eregli-II electrical substation after extension capacities

The existing electrical generation capacity and load distribution on the main busses are shown in table 1 and table 2. It can be seen from these tables that generation capacity was not sufficient to supply the existing loads in case of any generator trip. Therefore the load shedding system has been implemented in the eregli-II electrical substation in order to supply selected loads and plants with remaining generators after shedding pre-selected loads and transformers. In the light of the conditions above, it, the existing eregli-II electrical power system was very weak in terms of operational flexibility and equipment maintainability. The configuration and weak generation - load ratio caused a couple of partial and general feeder outages during each generator failures. In addition to the operational risk and adverse environmental effects, economic impact of these outages was very high, in order to millions of Turkish liras. One of the missing tools of the eregli-II electrical substation was the SCADA system [13]. The existing electrical system, 13.8 kV and 34.5 kV voltage levels were monitored, operated and controlled manually through conventional control desk by the operators in power plant control room. It was obvious that there was no real time communication between the control room equipment, relays or circuit breakers. It was also impossible to evaluate the past events since there was no alarm history or variable trend. Due to the new process plant's NES-2/NES-3, electrical energy demand, studies showed the need to add new generation unit to the existing electrical generation capacity through the secondary medium voltage level and redistribute the loads between generators in order to improve energy continuity, reliability and operational flexibility.

Table I. Eregli-II substation generation, distribution and transmission line import power capacities.

Transmission, Generation and Distribution Capacities			
NES – I	35 MW	Transmission capacity	380 kV TNEG
NES – II	35 MW	Transmission capacity	380 kV TNEG
G1	5 MW	Generation Capacity	System 1
G2	5 MW	Generation Capacity	System 2
G3	5 MW	Generation Capacity	System 2
G4	10 MW	Generation Capacity	System 1
G5	20 MW	Generation Capacity	System 3 (New)
T4	50 MVA	Main Transformer	System 1
T7	50 MVA	Main Transformer	System 2
T8	100 MVA	Main Transformer	System 3 (New)

Table II. Load distribution data in main switchgears.

Eregli-II Substation Loads	Active Power (MW)	Reactive Power (MVar)
Existing Loads	TDP – 1	143.551
	TDP – 2	145.025
	TDP – 3	149.652
New Loads	NES – 2	590.087
	NES – 3	610.244
Eregli-II Electrical Substation Total Load	1638.559	146.060

In order to meet the reliable and continuous electrical power demand of the new process plants NES-2/NES-3, an extensive upgrade of the whole eregli-II electrical substation was made together with additions, revisions and modifications. The eregli-II electrical substation extension includes a new power generation unit, control, automation and SCADA systems plus redistribution of the load. The reason for the extension of the eregli-II electrical substation was as mentioned before the addition of new process plant named NES-2/NES-3. With this project, the gasoline sulphur content quantity was reduced to the European Community Standard [14] sulfur level. The upgrade of the eregli-II electrical substation was carried out through engineering, equipment ordering, installation, testing and commissioning phases and fully concluded in two and a half years.

4. POWER SYSTEM CONFIGURATION FOR STRATEGIC EXTENSION CAPACITY

Before the eregli-II electrical power substation extension, the following studies, controls and checks were developed in order to satisfy the requirements of electrical system reliability, continuity and operational flexibility that permit to minimize the potential risks of plant and equipment supply failures, abnormal voltage drops and to limit short circuit current with respect to the existing equipment endurance. The principal studies consist of four fundamental subjects such as; design criteria, short circuit current withstand capacity check, protective device coordination principles and relay characteristics and equations.

4.1. Design Criteria

One of the main design criteria of the electrical power system is the provision of the new and existing process plant loads' supply during normal operation and largest power source failures. The available eregli-II electrical substation generation and national grid capacities are compared with process plants needs and as it is seen that after the new gas turbine and new NES-2/NES-3 plant additions, eregli-II electrical power substation safety is has increased to "N - 1" level. Since, the total generation capacity plus the national grid connection capacity is only sufficient to meet the eregli-II substation plant loads in case of the failure of the largest electrical energy source. When the second largest source in addition to the first largest source is out of service, the remaining eregli-II substation electric generation capacity is not able to supply the loads, and the load shedding will start and continue until the source and load balance is achieved.

4.2. Short Circuit Current Withstand Capacity Check

The installation of the new generation system caused an increase of the short circuit currents in the remaining existing electrical power system. The only concern point is the primary distribution level 34.5 kV main substation TT-2, which increases the short circuit current level from 12.9 kA to 17.4 kA exceeding its rated value of 16 kA. For the novel electrical power system, NES-2 feeder area and NES-3 feeder area, the equipment will be sized according to these short circuit current results. In order to reduce the short circuit current at TT-2 substation, two options have been evaluated.

- Installation of 34.5 kV short current limiting reactors in series with the interconnection cables between main substation TT-2 and the primaries of the main transformers at the new TDP-3 (Co-generation plant).
- Installation of 34.5 kV short current limiting reactors in series with the overhead lines that interconnects TT-2 with TNEG substations (Utility).

The aim of both options is to limit the short circuit current at 34.5 kV level. To eliminate exceeding short circuit currents at existing substations, it is necessary to replace the existing 13.8/0.4 kV transformers with ones with higher impedance, or to replace the switchgears / motor control centers with higher short circuit current withstand capacity ones.

- Evaluation of short circuit current limiter reactors between TT-2 and new NES-3:

With reference to table 1, this option implies the usage of at least 7 ohms reactors in series with the interconnection cables between main substation TT-2 and the primaries of the 100 MVA transformers at the new NES-3. This option reduces the short circuit current at TT-2 system, from 34.8 kA to 30.4 kA, which is below the rated value. However, using this magnitude of impedance in series with cable interconnection and taking into account the maximum load current to be expected (100 MVA transformers). It will cause a large voltage drop which will need to be compensated with transformers on load tap changers. This was verified with load flow study. Additionally, potential stability problems may be expected due to the large impedance between old and new electrical power systems. This needs to be evaluated with another separate study. Due to these technical reasons, this option will not applicable.

- Evaluation of short circuit current limiter reactors between TT-2 and new NES-2:

With reference to table 1, this option implies the usage of 2 ohms reactors in series with the overhead lines that interconnected the refinery main 34.5 kV substation TT-2 with NES-2 substation. These reactors will be installed at the incoming of the transmission lines into TT-2. This option reduces the short circuit current at TT-2/NES-2 system from 17.4 kA to 13.4 kA, which is below the rated withstand current. Taking into account the maximum load current that can flow through the overhead lines (35 MW per line / 70 MW total); the preliminary load flow studies indicate that no problem should be expected. Therefore, this option is the recommended and applicable solution to limit the maximum short circuit current at eregli-II substation existing electrical power system.

4.3. Protective Device Coordination Principles

Protection against excess current was naturally the earliest protection system to evolve. From this basic principle, the graded overcurrent system, a discriminative fault protection, has been developed. This should not be confused with 'overload' protection, which normally makes use of relays that operate in a time related in some degree to the thermal capability of the plant to be protected. Overcurrent protection is directed entirely to the clearance of faults, although with the settings usually adopted some measure of overload protection may be obtained. Correct overcurrent relay application requires knowledge of the fault current that

can flow in each part of the electrical power system. Since large-scale tests are normally impracticable, system analysis must be used. The data required for a relay setting study are;

- One-line diagram of the power system involved, showing the type and rating of the protection devices and their associated current transformers,
- Impedances in ohms, per cent or per unit, of all power transformers, rotating machine and feeder circuits,
- Maximum and minimum values of short circuit currents that are expected to flow through each protection device,
- Maximum load current through protection devices,
- Starting current requirements of motors and starting and locked rotor/stalling times of induction motors,
- Power transformer inrush, thermal withstand and damage characteristics,
- Decrement curves showing the rate of decay of the fault current supplied by the generators,
- Performance curves of the current transformers.

The relay settings are first determined to give the shortest operating times at maximum fault levels and then checked to see if operation will also be satisfactory at the minimum fault current expected. It is always advisable to plot the curves of relays and other protection devices, such as fuses, that are to operate in series, on a common scale. It is usually more convenient to use a scale corresponding to the current expected at the lowest voltage base, or to use the predominant voltage base. The alternatives are a common MVA base or a separate current scale for each system voltage. The basic rules for correct relay co-ordination can generally be stated as follows:

- Whenever possible, use relays with the same operating characteristic in series with each other,
- Make sure that the relay farthest from the source has current settings equal to or less than the relays behind it, that is, that the primary current required operating the relay in front is always equal to or less than the primary current required operating the relay behind it.

4.4. Relay Characteristics and Equations

The current / time tripping characteristics of relays may need to be varied according to the tripping time required and the characteristics of other protection devices used in the electrical power system. For these purposes, IEC 60255 [15] defines a number of standard characteristics as follows;

- Standard Inverse (SI),
- Very Inverse (VI),
- Extremely Inverse (EI),
- Definite Time (DT),

IEEE C37.112-1996 (North American standard) [16] defines a number of standard characteristics as follows;

- IEEE Moderately Inverse,
- IEEE Very Inverse,
- Extremely Inverse (EI),
- US CO8 Inverse,
- US CO2 Short Time Inverse,

The relay characteristics and equations according to IEC 60255 standards are shown in table 3. In table 3; $I_r = (I/I_s)$, where I_s is relay setting current, TMS is time multiplier setting. Typical time/current relay characteristics according to IEC 60255 standard shows in figure 3.

Table III. Relay characteristics and equations according to IEC 60255 standard.

Relay Characteristic	Equation
Standard Inverse (SI)	$t = TMS \cdot \left(\frac{0.14}{I_r^{0.02} - 1} \right)$
Very Inverse (VI)	$t = TMS \cdot \left(\frac{13.5}{I_r - 1} \right)$
Extremely Inverse (EI)	$t = TMS \cdot \left(\frac{80}{I_r^2 - 1} \right)$
Definite Time (DT)	$t = TMS \cdot \left(\frac{120}{I_r - 1} \right)$

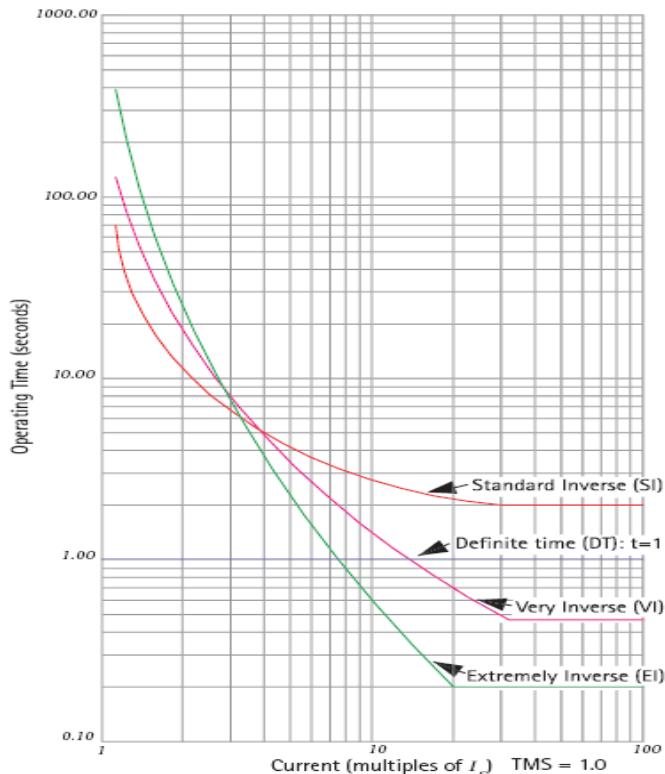


Fig. 3. Typical time / current relay characteristics according to IEC 60255 standard

The relay characteristics and equations according to IEEE C37.112-1996 standards are shown in table 4. In table 4; $I_r = (I/I_s)$, where I_s is relay setting current, TD is time dial setting. Typical time/current relay characteristics according to IEEE CS.112-1996 standard shows in figure 4.

Table IV. Relay characteristics and equations according to IEEE CS.112-1996 standard.

Relay Characteristic	Equation
IEEE Moderately Inverse	$t = \frac{TD}{7} \left\{ \left(\frac{0.0515}{I_r^{0.02} - 1} \right) + 0.114 \right\}$
IEEE Very Inverse	$t = \frac{TD}{7} \left\{ \left(\frac{19.61}{I_r^2 - 1} \right) + 0.491 \right\}$
IEEE Extremely Inverse	$t = \frac{TD}{7} \left\{ \left(\frac{28.2}{I_r^2 - 1} \right) + 0.1217 \right\}$
US CO8 Inverse	$t = \frac{TD}{7} \left\{ \left(\frac{5.95}{I_r^2 - 1} \right) + 0.18 \right\}$
US CO2 Short Time Inverse	$t = \frac{TD}{7} \left\{ \left(\frac{0.02394}{I_r^{0.02} - 1} \right) + 0.01694 \right\}$

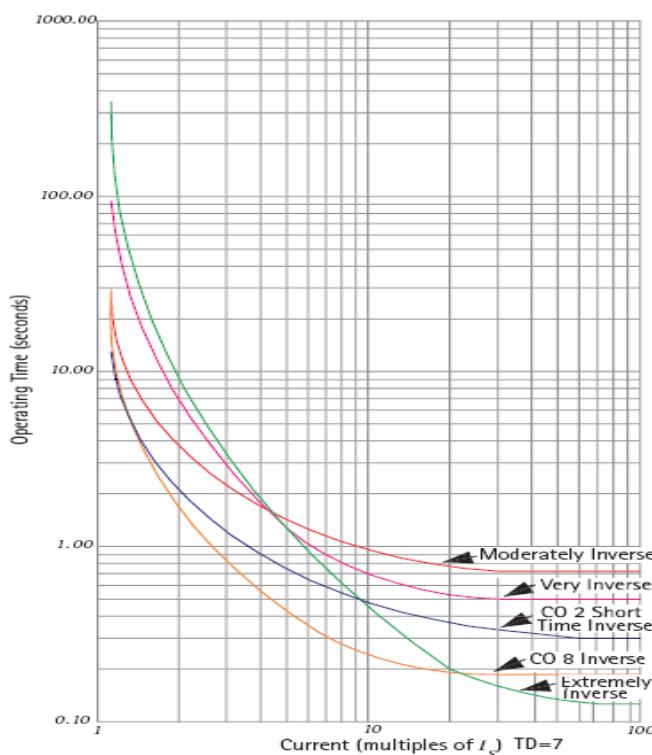


Fig. 4. Typical time / current relay characteristics according to IEEE CS.112-1996 standard

Although the curves are only shown for discrete values of TMS, continuous adjustment may be possible in an electromechanical relay. For other relay types, the setting steps may be so small as to effectively provide continuous adjustment. In addition, almost all overcurrent relays are also fitted with a high set instantaneous element. In most cases, use of the standard SI curve proves satisfactory, but if satisfactory grading cannot be achieved, use of the VI or EI curves may help to resolve the problem. When digital or numeric relays are used, other characteristics may be provided, including the possibility of user-definable curves.

5. ELECTRICAL POWER SYSTEM ANALYSIS

5.1. Relay Coordination Analysis

In this analysis, an appropriate time setting is given to each of the relays controlling the circuit breakers in a power system to ensure that the breaker nearest to the fault opens first. One line diagram of a new extension radial electrical power system in eregli-II substation is illustrated in figure 5, to exhibit the principle. In the case of discrimination by time alone, the disadvantage is due to the fact that the more severe faults are cleared in the longest operating time. On the other hand, discrimination by current can be applied only where there is appreciable impedance between the two circuit breakers concerned. It is because of the limitations imposed by the independent use of either time or current co-ordination that the inverse time overcurrent relay characteristic has evolved. With this characteristic, the time of operation is inversely proportional to the fault current level and the actual characteristic is a function of both 'time' and 'current' settings. For a large variation in fault current between the two ends of the feeder, faster operating times can be achieved by the relays nearest to the source, where the fault level is the highest. The disadvantages of grading by time or current alone are overcome.

The selection of overcurrent relay characteristics generally starts with selection of the correct characteristic to be used for each relay, followed by choice of the relay current settings. Finally the grading margins and hence time settings of the relays are determined. An iterative procedure is often required to resolve conflicts, and may involve use of non-optimal characteristics, current or time grading settings. Overcurrent protection is provided at TBS-6, TBS-7, BUS-A, BUS-B and TT-2, that is, at the indeed end of each section of the electrical power system. Each protection unit comprises a definite-time delay overcurrent relay in which the operation of the current sensitive element simply initiates the time delay element. The overcurrent relay is sometimes described as an 'independent definite-time delay relay', since its operating time is for practical purposes independent of the level of overcurrent. It is the time delay element, therefore, which provides the means of discrimination. Time/current relay characteristics protection scheme with relay coordination for a new radial electrical power system in eregli-II substation shows in figure 6.

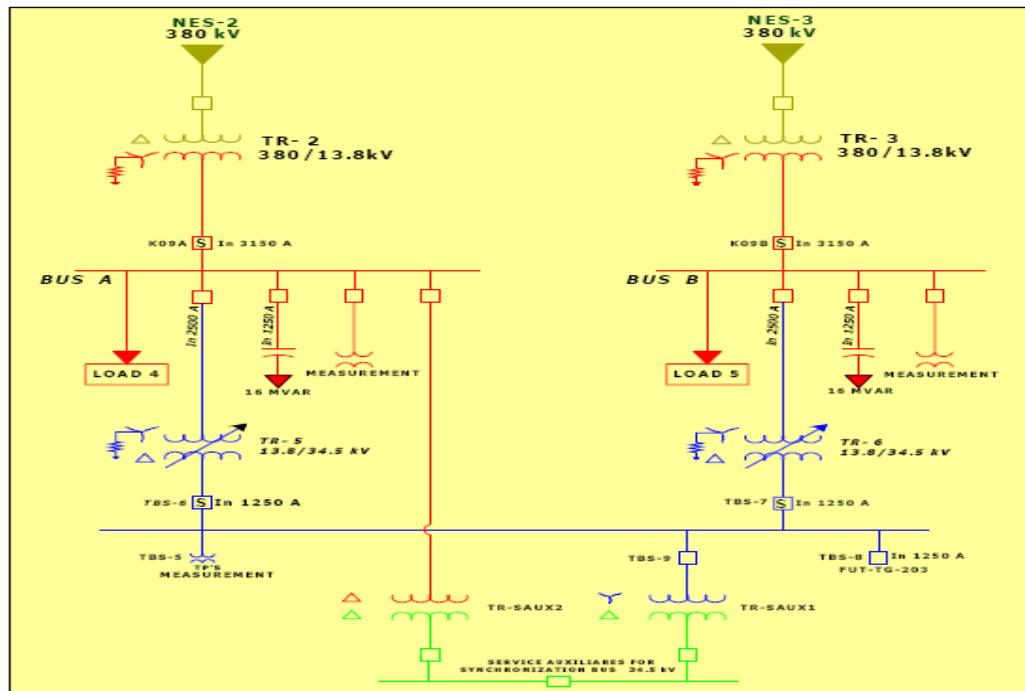


Fig. 5. One line diagram of a new extension radial electrical power system in eregli-II substation

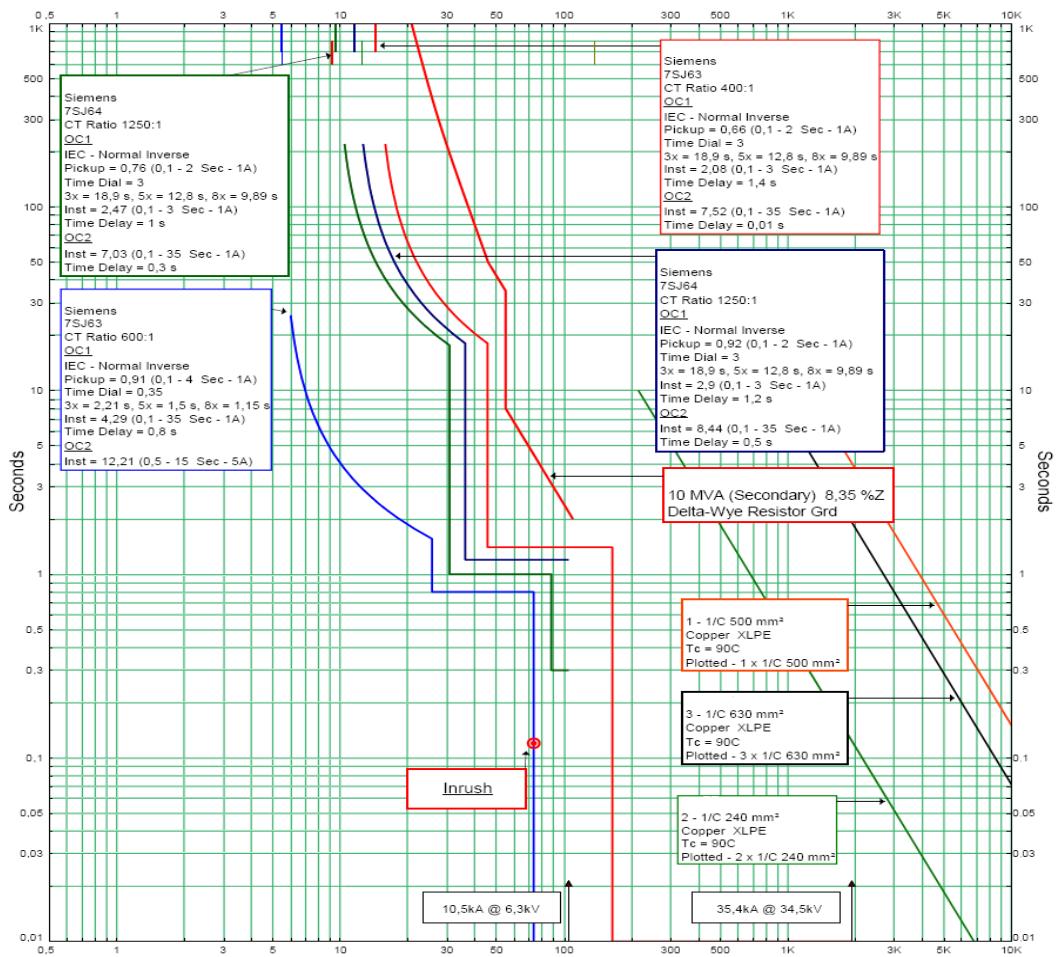


Fig. 6. Time/current relay characteristics protection scheme for a new radial electrical power system in eregli-II substation

The relay at TBS-7 is set at the shortest time delay possible to allow the fuse to blow for a fault at TBS-8 and TBS-9 on the secondary side of the transformer. After the time delay has expired, the relay output contact closes to trip the circuit breaker. The relay at BUS-B has a time delay setting equal to t1 seconds, and similarly for the relays at, BUS-A and TT-2. If a fault occurs at TBS-8 and TBS-9, the relay at K09-B will operate in t seconds and the subsequent operation of the circuit breaker at TBS-7 will clear the fault before the relays at K09-A, BUS-A and TT-2 have time to operate. The time interval t1 between each relay time setting must be long enough to ensure that the upstream relays do not operate before the circuit breaker at the fault location has tripped and cleared the fault. Protective device coordination begins at load level and continues toward the TNEG buses. The greatest load feeder at the motor control center or distribution switchgear determines the critical coordination point with the upstream protective devices.

If this NES-2/NES-3 feeder, with the highest trip range, coordinates with the devices upstream, then the other load feeders at NES-1 will also coordinate. The pairs of coordinal relays are established once the chain of required selectivity is defined for the protection of the system in study. Afterwards the faults spectrum is determined by means of a system's short circuit study and with these results selectivity and protection degree is evaluated in the range of interest. The protective devices to be coordinated are determined once the system selectivity zones are defined. Protective device time-current curves and equipment thermal limit curves allow the designer to check the protection offered to transformers, motors and other system components. In the quest of maximum selectivity and protection, the designer could face conflictive situations that would lead to sacrifice one (or more) of the objectives. For each one of these cases, engineering practical criteria prevails; however, protection prevails over selectivity.

5.2. Load Flow Analysis

The subject of this study is to show the load flow studies, which were performed to evaluate the power flows and voltage profiles on the different feeders and busses at eregli-II electrical power substation, in order to verify the design adequacy of the new generation plant, NES-2/NES-3 plant, and the impact over existing electrical power system. Due to many supply sources, five generators and two incoming lines from national

grid, there are several operational modes that need to be evaluated. But in this study, the real operative modes under which the eregli-II electrical substation can operate with complete electrical load are going to be evaluated. Operational modes extend over all probable operational conditions that can appear in the electrical power system, overlooking the relationship between generation and load or any component overload. Because of this, several cases cannot operate with normal loading and will require load reduction or load shedding.

Operative modes to be evaluated are the ones to be compared the generation and load limit capabilities of the extended electrical power system without unnecessary load shedding. This means that electrical power system can be operated with normal loading. Operative modes are the ones to be included in the cases or scenarios evaluated in load flow analysis. Remaining states will be evaluated in load shedding study or/and in the transient stability study. In order to select the no-load tap changer position, verify the transformers and feeders loading and obtain the voltage profile under different scenarios, the following permissible values are used as limits.

Voltage drop: Permissible values for voltage drop analysis are selected according to IEEE. These values are as follows:

- **Normal operation:** Busbars; 2%, motors between busbar and motor terminal; 3%, feeders and sub-feeders between busbar and final element; 1%.
- **Motor starting operation:** Busbars; 15%, motors, at motor terminals; 20%.

Loading limits: These values are as follows:

- **Transformers:** In the new substations, transformers are loaded at 75% of their rated capacity. For double-ended substations, each transformer shall also satisfy the loading above.
- **Busbars busbar ducts:** Switchgear and motor control centre busbars in the new substation are sized at 125% of the maximum load. This means loaded at 80% of their rated capacity during maximum loading condition. The loading is same for busbar ducts.
- **Feeder cables:** Feeder cables are sized at 125% of maximum loading condition.

Evaluation of electrical generation - load relationship: In order to obtain the operative cases it is necessary to perform a preliminary evolution of the electrical power generation/load relationship. This evaluation covers both the existing and the new eregli-II electrical power substation. Following is shown this preliminary evolution, which takes into account the refinery limits for generation and import from national grid, load for different sub-systems and most important generation import scenarios. Based in power sources and consumed loads shown on table 1 and table 2, the following scenarios are generated for load flow analysis. The sceneries reflect the worst cases in order to perform the equipment evaluation and also to select the transformer tap changers. Load flow analysis only deals with operative cases where generation is equal or greater than eregli-II substation electrical power consumption loads.

Applicable operative modes:

- **Scenario 1:** All five generators and two national grid connected lines are in service, eregli-II substation load 40.32 MW.
- **Scenario 2:** Eregli-II substation isolated from national grid (island mode), generator G3 in system 2 is out of service, refinery load 40.32 MW.
- **Scenario 3:** Eregli-II substation parallel with national grid through two lines, no generation in system 3 (G5 is out of service) and generators G1, G3 are out of service in system 1 and system 2, eregli-II substation load 40.32 MW.
- **Scenario 4:** Eregli-II substation parallel with national grid through one line and generators G2, G3, G4 are out of service in system 1 and system 2, eregli-II substation load 40.32 MW.
- **Scenario 5:** Eregli-II substation parallel with national grid through one line and generator G4 is out of service in system 1. System 3 is isolated, eregli-II substation load 40.32 MW.

Analysis of results: Reports of load flow analysis done for each of these scenarios above are summarized as follows:

- **Transformer taps:** No-load tap changers in transformers associated with the new and existing electrical power systems need to be set. But, 34.5/0.4 kV main transformers tap changers which are on-load type are automatically changed in order to maintain the voltage at buses at rated level.
- **Transformer loading:** To determine transformer loading, double-ended substations are evaluated under transferred load condition. That is, one transformer supplies all load.

- **Switchgear, BUS-B and bus-bars loading:** Maximum loading of any circuit breaker on 13,8 kV switchgear K09-B and 34.5 kV switchgear TR-6 will depend on generator loading in the electrical power system. For other switchgears, TBS-7 and busbars, loading is estimated in the same way with the transformer loading.
- **Voltage profile:** Voltage profiles for several buses at refinery electrical power system and applicable operative scenarios indicated above satisfy the acceptable voltage drop requirements.
- **Feeders loading:** Feeder loading in new system 3 is estimated in the same way that the transformer loading. This is, with double-ended substation. Like transformers, loading is independent of generating capacity. Therefore only one scenario (scenario 2) is evaluated and the calculation showed that feeders in the new system 3 are loaded at less than %80 of their rated capacity.

5.3. Motor Operating Condition Analysis

The aim of this study is to evaluate the impact of the direct on-line starting of large motor to be installed in NES-2/NES-3 units over the different busses at eregli-II electrical substation. Operational states cover all probable operational conditions that can appear in the electrical power system, overlooking the relationship between generation and load or any component overload. Operational modes are selected so that, during the biggest motor direct on-line starting, voltage drop will be within the permissible limits on the busses of electrical power system and motor terminals. Therefore, the direct on-line starting of three 13.8 kV compressor motors with 5300 kW rated power are analysis for the worst operation modes. This scenario represents the worst operational scenario from motor starting point of view.

Scenario a: One of the selected worst-operation modes is that 50 MVA main transformer in service and new generator G5 is out of service. The scenario has the following operational conditions.

- Switchgear BUS-B is fed through only one 50 MVA transformers and G5 is out of service.
- Both lines from national grid are in service.
- 3 generators G2, G3 and G4 are in service.
- System 1 and system 2 with both main transformers are in service.
- TG-1 is fed from only one feeder of TT-1.

Scenario b: The other selected operation mode is system 3 isolated from TNEG buses. In this scenario, new generator G5 is the only electrical source in system 3, with no interconnection with the remaining of the electrical power system. In order to obtain more conservative results, evaluation is done without considering the fast response of generator voltage regulator, which tries to maintain the rated voltage in generator terminals. That is, exciter maintained the pre-starting set point. But, in real operations, the generator voltage regulator adjusts the generator terminal voltage to the rated one in a few cycles. Therefore, voltage drop is softer. For this evaluation, the following considerations have been taken;

- In normal operation (pre-starting) two motors are in service and the third one in spare.
- Starting motor evaluation will consider the starting of the third motor.
- Generation - load relationship shall permit the pre starting + post starting operation (with three motors in service). Percentage voltage drops permissible limits during direct on-line motor starting operation are shown in table 5.

Table V. Percentage voltage drops permissible limits during direct online motor starting operation.

Buses	Rated voltage (kV)	Scenario a (V pu)	Scenario b (V pu)
TT-1	34.5	0.9586	-
TG-1	34.5	0.9433	-
TG-2	13.8	0.9589	-
TG-3	13.8	0.9646	-
TBS-1	13.8	0.8770	0.9134
TBS-2	13.8	0.8770	0.9107
TBS-3	13.8	0.8736	0.9128
BUS-A	13.8	0.8511	0.8931
BUS-B	13.8	0.8523	0.8942

Motor operating condition analysis show that;

- Voltage drops in the electrical power system are satisfactory for different operative scenarios and motors under analysis.
- All large medium voltage motors are able to start the mechanical load coupled to them for the worst operative scenarios under which they are supposed to operate.
- Before proceeding to start the largest synchronous motor (5300 kW) in new system 3, voltage in BUS-B shall be between 1.005 to 1.010 pu (11055 V to 11100 V per unit), in order to guarantee the appropriate voltage profile for the downstream substation busses during and immediately after motor starting.
- To start the third 5300 kW synchronous motor with the worst operation mode defined above is essential because of continues plant operation in case of any maintenance requirement need in one of the running motors.

6. CONCLUSIONS

The extension of eregli-II electrical power substation has been performed in accordance with the principles of reliability, operational flexibility and equipment maintainability. The short circuit current, voltage drop calculations, relay coordination analysis, load flow analysis and motor starting results in accordance with applicable operation modes show that extension of the existing electrical power system is correctly sized to fully satisfy design requirements related with withstand equipment capacities, voltage profile, thermal ratings. As a general conclusion, after the detailed evaluation of the extended eregli-II electrical power substation studies and analysis show that selected configuration, the size of generator capacity and the electrical power equipment used between sources and loads are adequately sized to maintain the extended electrical power system operation stable during normal and contingency operations.

REFERENCES

- [1] Mozina, C. J., Interconnection protection of IPP generators at commercial / industrial facilities, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 37(3), 681-688, 2001.
- [2] Fernandez, L. F., Upgrading a large oil refinery electrical power system, *36th IAS Annual Meeting Industry Applications Conference*, Chicago, USA, 30 September-04 October, p. 1165-72, 2001.
- [3] Pamuk, N., Investigation of the long term degradation of cellulosic insulating materials in high voltage power transformer, *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 16(3-4), 422-428, 2014.
- [4] Kister, T., Estimating repair and maintenance costs, Maintenance Engineering Handbook edited by In R. K. Mobley, D. J. Wikoff, L. R. Higgins, *McGraw-Hill*, Seventh Edition, 2008.

- [5] Beehler, M. E., Reliability centered maintenance for transmission system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 12(2), 1023-1028, 1997.
- [6] Itakura, S., Niioka, S., Magori, H., Iba, K., Chen, L., Shirai, G., Yokoyama, R., A strategic reliability centered maintenance for electrical in a chemical plant, *9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power System*, (KTH), Stockholm, Sweden, 11-15 June, p. 1-4, 2006.
- [7] Garcia, J. Garcia, G., Resonance in electrical power systems of petrochemical plants', Petrochemicals Book edited by V. Patel, *InTech Publisher*, 2012.
- [8] Nelson, J. P., System grounding and ground - fault protection in the petrochemical industry: A need for a better understanding, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 38(6), 1633-1640, 2002.
- [9] Pamuk, N. Uyaroglu, Y., Analysis of cascading failure scenarios in Turkey interconnected energy system, *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 29(2), 1327-1342, 2012.
- [10] Hmood, A., Kadhim, A., Abu Hassan, H., Thin films thermoelectric micro-devices for power generator applications using thermal evaporation method, *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications*, 7(1-2), 22-25, 2013.
- [11] Operational Technology Inc., Electrical Transient Analyzer Program, (ETAP version 7.5.0), 2005.
- [12] Pamuk, N., Analysis of marmara region electrical power system stability under the critical fault conditions, *International Conference on Energy Efficiency Engineering UBT Conferences*, Durrës, Albania, 6-7 November, p. 91-100, 2015.
- [13] Stouffer, K., Falco, J., Kent, K., Guide to supervisory control and data acquisition (SCADA) and industrial control systems security, Recommendations of the National Institute of Standards and Technology, *NIST Special Publication 800-82*, 2006.
- [14] Wu, X., Wang, T., Sulfur loss of ZnS nanomaterials synthesized by arc discharge, *Optoelectronics and Advanced Materials - Rapid Communications*, 8(1-2), 72-76, 2014.
- [15] IEC 60255-1 Standard, Measuring relays and protection equipment part 1: common requirements, *IEC-International Electrotechnical Commission*, 2009.
- [16] IEEE Std C37.112-1996, IEEE standard inverse-time characteristic equations for overcurrent relays, *IEEE Power and Energy Society*, 2007.



Minimization of Electrical Power System Voltage Distortion Using Fuzzy Logic Controller

N.Pamuk^{1*}

¹Department of Computer Engineering, Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey

Abstract

Voltage distortion is one thing that is not needed in the power system network both by the power supply company and the consumer. Efforts have been made by researchers to reduce occurrence of outage in any given power system to the barest minimum. This study presents another sincere contribution made in the form of minimization of electrical power system voltage distortion using the fuzzy logic controller. The different kinds of faults which take place in the research area (BEDAS electrical distribution network) were determined, the nature of outages in the research area was also determined. The research area was modeled using the "Simscape Power System" of the MATLAB/Simulink software. Then an effective monitoring system was modeled using fuzzy logic controller designed in Simulink. The effect of the fault monitoring was demonstrated using same software and results compared. Simulation results show that the fuzzy inference system effectively captured the fault condition and went into the appropriate output logic state within the normal simulated time for alarm.

Keywords: Fuzzy Logic Controller, Minimization, Power Distortion, MATLAB/Simulink Software.

1. INTRODUCTION

The purpose of an electrical power system is to generate and supply electrical energy to consumers. To ensure this, the system should be designed and managed to deliver this energy to the point of utilization with both reliability and economy. It is not possible however, to attain perfect level of continuity of service in power supply due to faults and abnormal conditions associated with the power system network. When any engineering system does not perform as required, the system has failed. Thus reliability depends on how well a system does not fail. Faults that occur in the power system are mainly human and/or natural. Wrong operation due to human error, accidents resulting from vehicles hitting electric poles or contacting live equipment, digging into underground cables etc. are all human causes that can lead to system faults [1]. However, natural events like lightning, wind, fire, physical contact by animals and contamination as well as equipment failure, corrosion wear and tear all result from natural faults. They cannot be completely avoided in any power system network but can be minimized by way of high design precision and maintenance or operational culture.

Faults are defects in electrical circuits. Faults can be caused due to imbalances in the three phases supplied which can result to excessive supply and can damage installation through which the fault current is fed [2]. Since fault currents are sometimes greater than the normal currents, the faulty and associated part get damaged thereby defeating the aim of the power network. The extent of damage is minimized by rapid fault clearing. Abnormal operating conditions of which also include: overloads, loss of synchronism, under voltage, over voltage, under frequency, reversal of direction of power flow, poor power factor, voltage swings, current swings, temperature rise, lightning, switching surges of transient duration [3]. During abnormal operating conditions such as above, electrical equipment and plant are overstressed and are likely to fail. Hence each equipment and plant is provided with protective systems.

* Corresponding author. Tel.: +90 372-291-2617.

E-mail address: nihatpamuk@beun.edu.tr (N. Pamuk).

The electric power system is a very large capital investment. To maximize the return on this outlay, the system must be loaded as much as possible and kept in full operation continuously so that it may give the best service to the consumer and earn more revenue for the supply authority. When the system is large, the chance of a fault occurring and disturbance that a fault will bring are both so great that without equipment to remove faults the system will become bad. The greatest threat to the security of a supply system is the short circuit, which imposes a sudden and sometimes violent change on system operation. The large current which always follows, accompanied by the localized release of a considerable quantity of energy, can cause fire at the fault location and mechanical damage throughout the system particularly to machines and transformer windings. Rapid isolation of the fault by the nearest switchgear will minimize the damage and disruption caused to the system. Short circuit fault occurs due to breakdown in insulation between phases or in the insulation of current carrying phase conductors relative to earth [4]. Short circuit faults in three phase alternating current power circuits occur as follows:

- Single phase to ground
- Two phases to ground
- Phase to phase and third phase to ground
- All the three phases to ground
- All the three phases short-circuited.

The installation of switchgears alone is not sufficient but discriminative protective gears designed according to the characteristics and requirements of the power system must be provided to control the switchgear. This is so because a system is not properly designed and managed if it is not adequately protected. The conventional protective devices-fuses, circuit breakers, instrument transformers, relays are normally deployed in the entire power system network to detect and clear faults in a highly organized protective scheme. They are usually located well enough to supervise fault regions for rapid fault detection and removal. This research work seeks to design a fuzzy logic controller that will assist in the isolation of faulty region and hence minimize load failure in the power system network. A lot has been done in the past with regard to electrical faults, failures in the power system network, system stability and continuity of service etc. This research, however, seeks to introduce the idea of designing and connecting the fuzzy logic controller at the feeder links to assist conventional protective installation in minimizing blackouts occasioned by power failure. This study deployed three basic methods of analysis as follows:

- Least square method of fault detection; he found that fast fault detection can be achieved based on monitoring the current magnitude. However, he observed that energy of a capacitor or a transformer were also (falsely) detected as faults.
- Fault detection with a deferential equation method. Electrical fault is possible to distinguish a fault in the 13.8 kV systems from a fault in the 0.4 kV and the 170 kV systems by measuring the voltage and current at a single location. However, also for this algorithm, capacitor and transformer energy were falsely detected as faults.
- Fault detection based on instantaneous current values. Current graph simulations showed that it was possible to select trigger levels so that fault detection was possible within 1 ms and so that faults at the 170 kV level did not produce a trip signal. Furthermore, capacitor and transformer energy were simulated. None of that energy produced a false trip.

The application of the least square method and the deferential equation method gave a result that it is possible to use them for fast fault detection at least in the simplified system [5]. However, since both capacitor and transformer energy was falsely detected as faults, the methods are severely limited. The instantaneous current method however, was able to detect a fault within 1 ms from fault inception and to discriminate a fault from capacitor and transformer energy. This study made use of Simscape Power System toolbox in MATLAB - Simulink software to simulate the faults and generate the fault waveforms. Simscape Power System was designed to provide a modern design tool that allows scientists and engineers to rapidly and easily build models that simulate power systems. Simscape Power System uses the Simulink environment, allowing you to build a model using simple click and drag procedures. Simscape Power System share a special physical modeling block and connection line interface [6]. The simplified power network model was used for the design and evaluation of neural network based fault classification algorithm. Also every time the system is updated or modified, the modeling has to be done again.

The Neural Network based fault classifier only needs to be trained with appropriate examples to learn the correct classification. Also this system is adaptive to changes in the system. The number of features and the type of features used to train the network greatly determines the efficiency with which faults are correctly classified. It was found that generally the fault type classification is more accurate if the number of features used is greater. Also it was found that line currents are sufficient to provide the Neural Network with enough

information to classify fault type. The hardware implementation of this type of fault classifier is also simple and is a very good option to consider when upgrading presently used methods for determining fault type and fault location. A MATLAB program was written to efficiently and accurately perform the many calculations for analysis of all options considered. A fault study was done for the final solution to show the system exposure to voltage and current during typical fault events.

2. VOLTAGE DISTORTION DESIGN AND IMPLEMENTATION

Fuzzy logic allows a convenient way to incorporate the knowledge of human experts into the expert systems using qualitative and natural language-like expressions. Recent advances in the field of fuzzy systems and a number of successful real-world applications in power systems show that logic can be efficiently applied to deal with imprecision, ambiguity and probabilistic information in input data. Fuzzy logic based systems with their capability to deal with incomplete information, imprecision, and incorporation of qualitative knowledge have shown great potential for application in electric system fault detection. The flowchart algorithm of this study is shown in figure 1. The three phase currents and voltages were collected by connecting the lines as fuzzy reference signals to the fuzzy machine. Data collected is adequate as it is available for analysis.

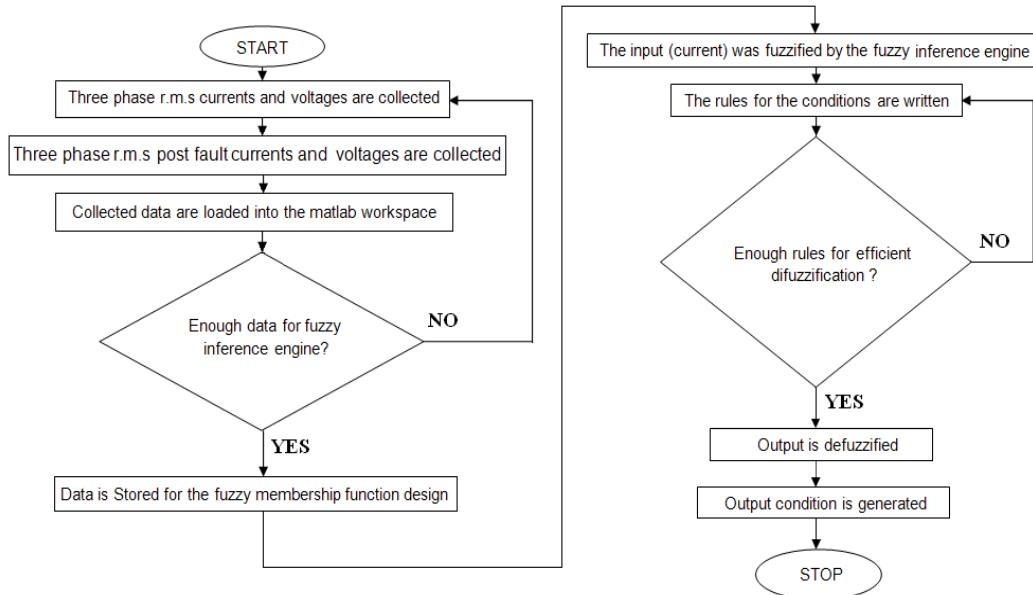


Fig. 1. Flowchart algorithm for fuzzy controller design

The ideas behind fuzzy logic have been around since 1965 when they were introduced by Lofti A. Zadeh. Fuzzy logic, however, has not been widely used since 1965; it has only gained popularity in the last 20 years, meaning that there are many new applications of fuzzy logic [7]. In a traditional bivalent logic system an object is either or not a member to the set of variables. In the fuzzy sets, the function that determines this degree of membership is called the fuzzy membership function. The idea of fuzzy sets is that the members are not restricted to true or false definitions. A member in a fuzzy set has a degree of membership to the set. For example, the set of fault condition values can be classified using a bivalent set as either No Problem (No trip) or Imminent Problem (Trip). This would require some cut-off value where the threshold of the fault current setting determines whether the system trips or not. If the cut-off point is set at 200 As (ampere seconds) for instance, then this set does not differentiate between a no-fault current of 80 As and a fault current of 190 As. They are both not faulting currents. If a fuzzy set were to be used in this situation each member of the set, or each current value, would have a degree of membership to the set of fault condition. The function that determines this degree of membership is called the fuzzy membership function. There are countless different membership function topologies that can be used; the most common are triangular, Gaussian and sigmoidal. This function is a sigmoidal function. The attributes of the membership function can be modified based on the desired input [8].

3. FUZZY INFERENCE SYSTEMS AND LOGIC CONTROLLER

Fuzzy inference is the process of formulating the mapping from a given input to an output using fuzzy logic. The mapping then provides a basis from which decisions can be made, or patterns discerned. Information flows from left to right, from two or more inputs to a single output. The parallel nature of the rules is one of the more important aspects of fuzzy logic systems. Instead of sharp switching between modes based on

breakpoints, logic flows smoothly from regions where the system's behavior is dominated by either one rule or another. There are two types of fuzzy inference systems in the toolbox such as, Mamdani and Sugeno. These two types of inference systems vary somewhat in the way outputs are determined. Mamdani's fuzzy inference method is the most commonly seen fuzzy methodology. Mamdani's method was among the first control systems built using fuzzy set theory. It was proposed in 1975 by Ebrahim Mamdani [9] as an attempt to control a steam engine and boiler combination by synthesizing a set of linguistic control rules obtained from experienced human operators. Mamdani's effort was based on a paper on fuzzy algorithms for complex systems and decision processes. Although the inference process described in the next few sections differs somewhat from the methods described in the original paper, the basic idea is much the same. Mamdani-type inference, as defined for the toolbox, expects the output membership functions to be fuzzy sets. After the aggregation process, there is a fuzzy set for each output variable that needs de-fuzzification. It is possible, and in many cases much more efficient, to use a single spike as the output membership functions rather than a distributed fuzzy set. This type of output is sometimes known as a singleton output membership function, and it can be thought of as a pre-de-fuzzified fuzzy set. It enhances the efficiency of the de-fuzzification process because it greatly simplifies the computation required by the more general Mamdani method, which finds the centroid of a two dimensional functions. Rather than integrating across the two-dimensional function to find the centroid, you use the weighted average of a few data points. Sugeno-type systems are used to model any inference system in which the output membership functions are either linear or constant [10]. Fuzzy model rules set for BEDAS fault monitoring is shown in figure 2.

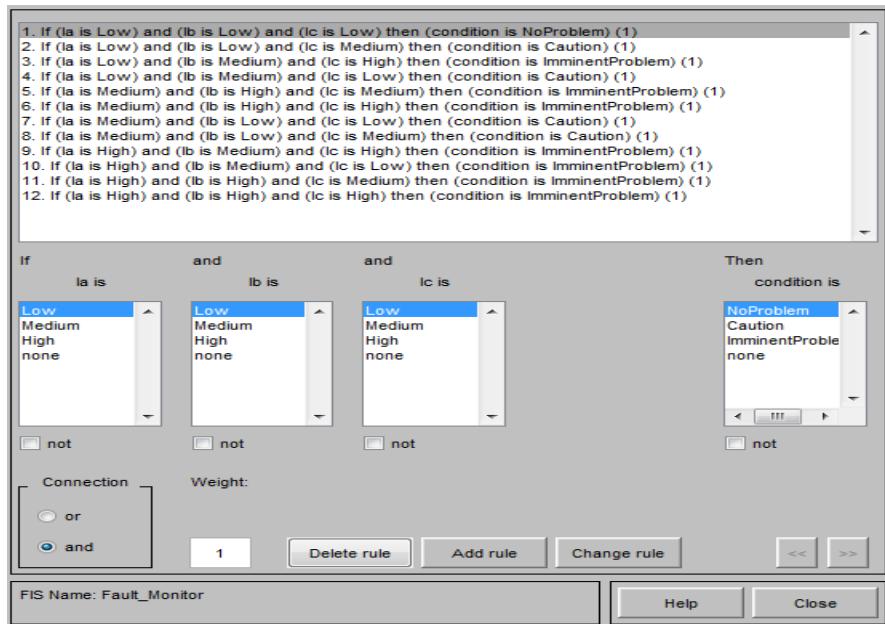


Fig. 2. Fuzzy model rules set for BEDAS

Fuzzy inference process comprises five steps [11].

- Fuzzification of the input variables
- Application of the fuzzy operator (AND or OR) in the antecedent
- Implication from the antecedent to the consequent
- Aggregation of the consequents across the rules
- Defuzzification

A fuzzy inference diagram displays all parts of the fuzzy inference process from fuzzification through defuzzification.

Step 1: Fuzzification Inputs

The first step is to take the inputs and determine the degree to which they belong to each of the appropriate fuzzy sets via membership functions. In Fuzzy Logic Toolbox software, the input is always a crisp numerical value limited to the universe of discourse of the input variable (in this case the interval between 0 and 300) and the output is a fuzzy degree of membership in the qualifying linguistic set (always the interval between 0 and 1) [12]. Fuzzification of the input amounts to either a table lookup or a function evaluation. The inference

system used for Eregli substation is built on three rules, and each of the rules depends on resolving the inputs into a number of different fuzzy linguistic sets: current is low, medium or high.

Step 2: Apply Fuzzy Operator

After the inputs are fuzzified, each part of the antecedent is satisfied for each rule. If the antecedent of a given rule has more than one part, the fuzzy operator is applied to obtain one number that represents the result of the antecedent for that rule. This number is then applied to the output function. The input to the fuzzy operator is two or more membership values from fuzzified input variables. The output is a single truth value. In the toolbox, two built-in AND methods are supported: minimum and product. Two built-in OR methods are also supported: maximum and the probabilistic OR method.

Step 3: Apply Implication Method

Before applying the implication method, I must determine the rule's weight. Every rule has a weight (a number between 0 and 1), which is applied to the number given by the antecedent. Generally, this weight is 1 and thus has no effect at all on the implication process. After proper weighting has been assigned to each rule, the implication method is implemented. A consequent is a fuzzy set represented by a membership function, which weighs appropriately the linguistic characteristics that are attributed to it. The consequent is reshaped using a function associated with the antecedent (a single number). The input for the implication process is a single number given by the antecedent, and the output is a fuzzy set. Implication is implemented for each rule. Two built-in methods are supported, and they are the same functions that are used by the AND method: minimum, which truncates the output fuzzy set, and prod (product), which scales the output fuzzy set.

Step 4: Aggregate All Outputs

Because decisions are based on the testing of all of the rules in a FIS, the rules must be combined in some manner in order to make a decision. Aggregation is the process by which the fuzzy sets that represent the outputs of each rule are combined into a single fuzzy set. Aggregation only occurs once for each output variable, just prior to the fifth and final step, defuzzification. The input of the aggregation process is the list of truncated output functions returned by the implication process for each rule. The output of the aggregation process is one fuzzy set for each output variable. As long as the aggregation method is commutative (which it always should be), then the order in which the rules are executed is unimportant. Three built-in methods are supported. These are Maximum, Probabilistic OR and Sum of each rule's output set.

Step 5: Defuzzification

The input for the defuzzification process is a fuzzy set (the aggregate output fuzzy set) and the output is a single number. As much as fuzziness helps the rule evaluation during the intermediate steps, the final desired output for each variable is generally a single number. However, the aggregate of a fuzzy set encompasses a range of output values, and so must be defuzzified in order to resolve a single output value from the set. Perhaps the most popular defuzzification method is the centroid calculation, which returns the center of area under the curve. There are five built-in methods supported: centroid, bisector, middle of maximum (the average of the maximum value of the output set), largest of maximum, and smallest of maximum. Fuzzy inference system flow process model is shown in figure 3.

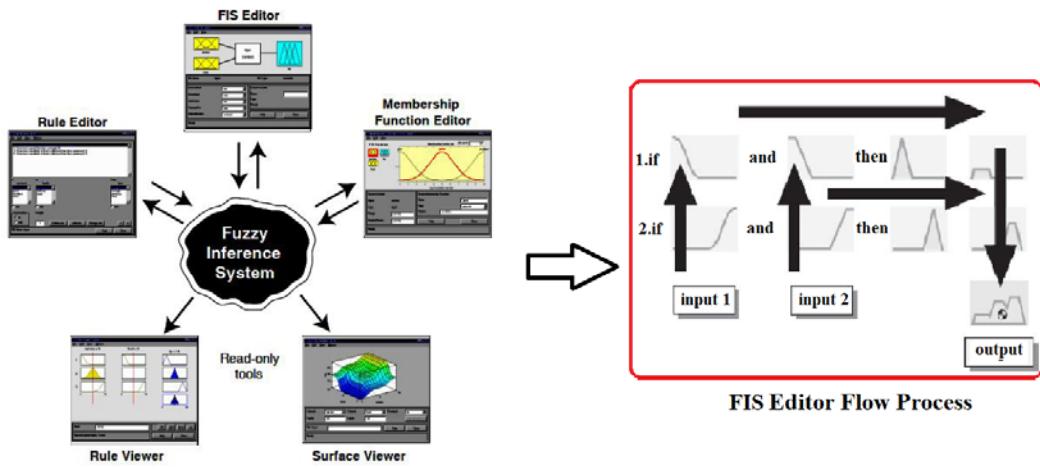


Fig. 3. Fuzzy inference system flow process model

The basic fuzzy logic control system is composed of a set of input membership functions, a rule based controller, and a defuzzification process. The fuzzy logic input uses member functions to determine the fuzzy value of the input. There can be any number of inputs to a fuzzy system and each one of these inputs can have

several membership functions. The set of membership functions for each input can be manipulated to add weight to different inputs. The output also has a set of membership functions. These membership functions define the possible responses and outputs of the system. The fuzzy inference is a rule based controller that uses if-then statements to relate the input to the desired output [13]. The fuzzy inputs are combined based on these rules and the degree of membership in each function set. The output membership functions are then manipulated based on the controller for each rule. Several different rules will usually be used since the inputs will usually be in more than one membership function. All of the output member functions are then combined into one aggregate topology. The defuzzification process then chooses the desire finite output from this aggregate fuzzy set. There are several ways to do this such as weighted averages, centroids, or bisectors [14]. This produces the desired result for the output.

4. ELECTRICAL TEST SYSTEM DESIGN AND IMPLEMENTATION

The fuzzy model for the electrical test system was implemented in MATLAB using the fuzzy logic toolbox. This toolbox allows for the creation of input membership functions, fuzzy control rules, and output membership functions [15]. To implement this system in Simulink, the system will need to have three different inputs: the fault currents of all three phases on each of the individual feeders considered in the BEDAS electrical power distribution network. These three inputs will then be processed by a fuzzy logic controller that will output a degree of condition. This degree of condition is then decoded into one of three possible outputs: No problem, Caution, and Imminent Problem. These input function ranges of fault currents can now be used in determining the fuzzy membership sets. The fuzzy system will have these three inputs and one indicating output. The fuzzy system used is the Mamdani system, and the centroid method for defuzzification. The input membership function for the fault current will have three different membership functions: low, medium, and high. The range of this function is 0 to 320 Amps for the highest fault current; these are the possible input values. The low and high membership functions continue on to infinity in either direction to include any current value out of range. Once all of the input and output membership functions have been defined the heart of the control can now be defined; the rules. The fuzzy rules are in the form of if-then statements. These statements look at both inputs and determine the desired output. In this system increasing voltage and increasing temperature will lead to an imminent problem. A low temperature with a relatively high voltage will not necessarily be an imminent problem though. The electrical test system design model is shown in figure 4.

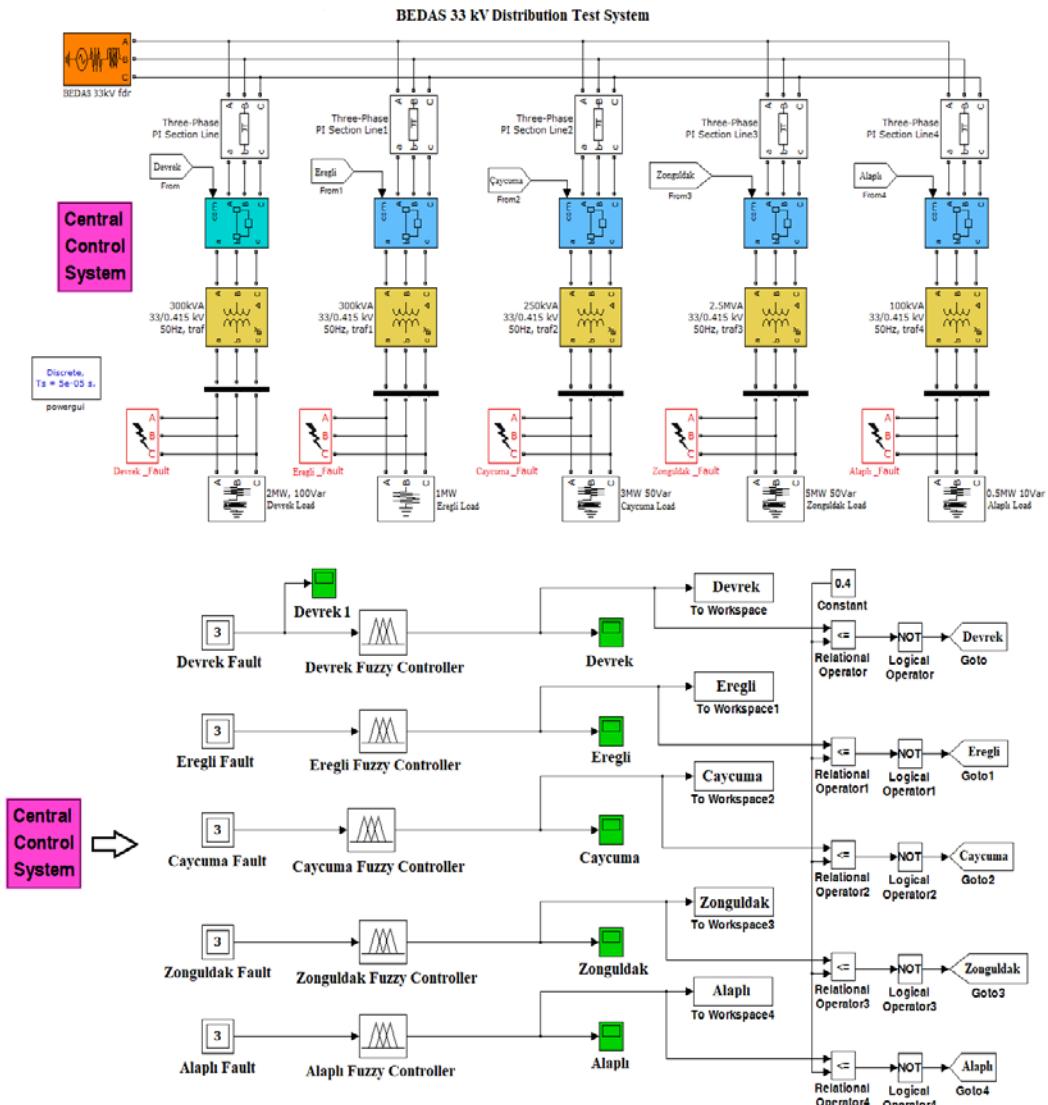


Fig. 4. The electrical test system design model in Simscape power system of Matlab-Simulink Program

The rules are the defining elements of this system. They determine the output based on the input. Now that the fuzzy control system has been entirely defined it is exported into the Simulink model. The model includes some decoding logic that will output different discrete levels for each of the possible outputs. This could serve as digital input to some other system for control or protection. From figure 4, it is noticed that each tee off to a community is controlled by a fuzzy controller, if a fault occurs in a given community, the fuzzy controller monitoring the community will analyze the fault and send signal to operate a circuit breaker connected to it so that only the community will be isolated. Thus, the outage will be restricted to the community of fault occurrence.

5. ANALYSIS OF VOLTAGE DISTORTION IN ELECTRICAL TEST SYSTEM

The inputs for this electrical test system have been shown; they are fault current conditions for all different types of faults simulated from the electrical test system using the model with data gotten from the BEDAS 33kV injection substation. The system can be simulated using this data. This electrical test system results could be then used to compute probability distribution functions and or send alarm notes to a central controller. Each outgoing feeder is built with a fuzzy logic controller that implements one of three control topologies. The analysis result is shown in table 1.

Table I. Input data for analysis in Simscape power system of Matlab-Simulink Program

Feeder Name	Feeder Length	Generation Capacity	Line Parameters	Maximum Loading	System Frequency	Fuzzy Inference
Devrek	47 km	300 kVA	0.002 Ω, 6.42 μH	426.34 A	50 Hz	Mamdani
Eregli	59 km	300 kVA	0.0083 Ω, 1.73 μH	413.75 A	50 Hz	Mamdani
Caycuma	34 km	2500 kVA	0.0071 Ω, 2.85 μH	3112.59 A	50 Hz	Mamdani
Zonguldak	4 km	100 kVA	0.0032 Ω, 3.02 μH	139.66 A	50 Hz	Mamdani
Alaplı	69 km	600 kVA	0.0221 Ω, 5.17 μH	862.13 A	50 Hz	Mamdani

The inputs for the simulation are all from fault currents modeled on each of the feeders in the test system. The outputs of the system will be one of three options, 0, 1, and 2 which represent the possible warning indicators of the condition of the individual feeders, that is, no problem, caution and imminent problem. A transient fault was initiated at 0,2 second for a double phase to ground fault lasting for 0,1 second as shown in figure 5.

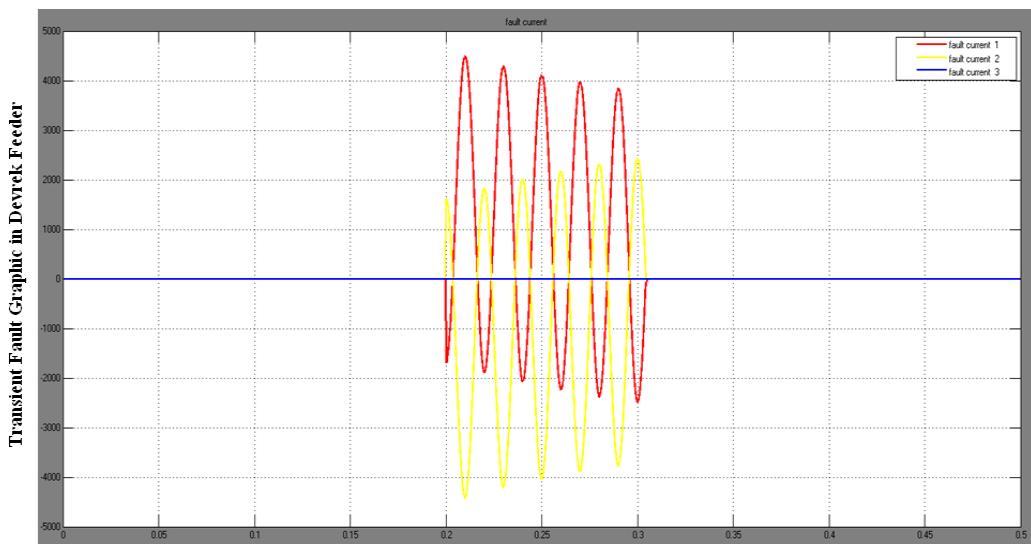


Fig. 5. Transient fault graphic in Devrek distribution feeder

The fuzzy logic controller shows a very efficient way of capturing the transient fault irrespective of the type of fault involved. At the low level state (less than 0.3); the output condition maps ‘no problem’ to its defuzzification crisp value. At the high level state (0.5 and above), the output means inception of fault. The fuzzy sets the ‘imminent problem’ to its defuzzification crisp value. The output of this fuzzy controller can be interfaced with a circuit breaker capable of isolating the fault region as a modification of the current practice. This electrical test system can also be interfaced with a protection scheme to sound an alarm and consequently trip that particular feeder which has been faulted. The inference follows through on fault till that particular fault is cleared. A closer look on figure 5 buttresses this point. The inference went into the ‘no problem state’ a few microseconds after 0,3 second; the simulated time for fault clearance. Figure 5 shows that the fault didn’t clear at exactly 0,3 second but a few microseconds later; the inference captured that contingency perfectly. Three phase ungrounded fault initiated for 0,1 second on Devrek feeder after Eregli feeder fault has been cleared. A transient three phase ungrounded fault on Eregli feeder is shown in figure 6.

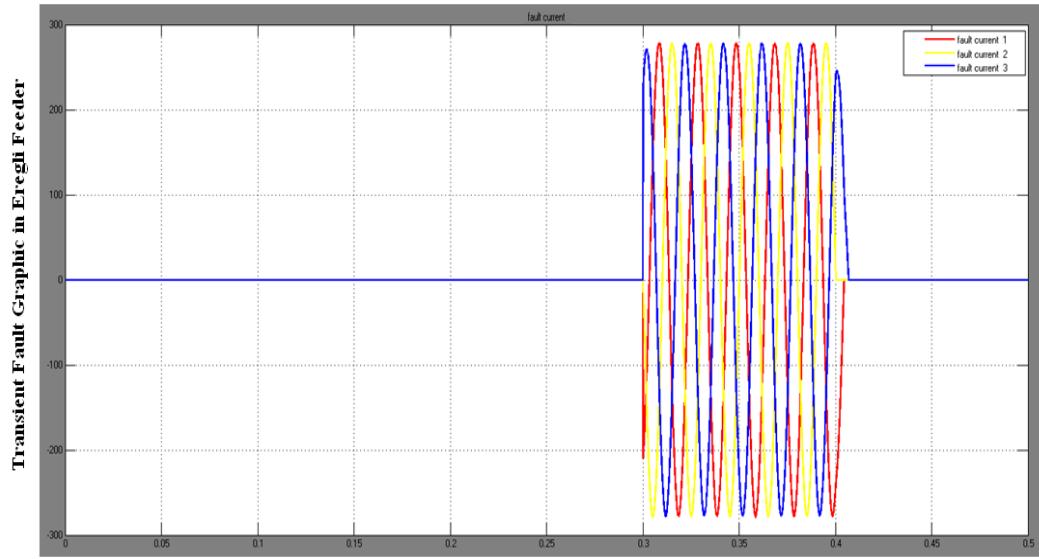


Fig. 6. Transient fault graphic in Eregli distribution feeder

Because the defuzzification process has the centroid as its aggregation method, the spikes on the three phase fault shows the magnitude of the three phases when they are above the zero crossing value. In 0,1 second, 5 cycles is experienced for a 50Hz frequency (See figure 6). The spiked signal (above 0.74) can be extracted by a computational scheme to tell the type of fault (in this case a three phase fault) for classification purposes. A transient three phase ungrounded fault on Caycuma feeder is shown in figure 7.

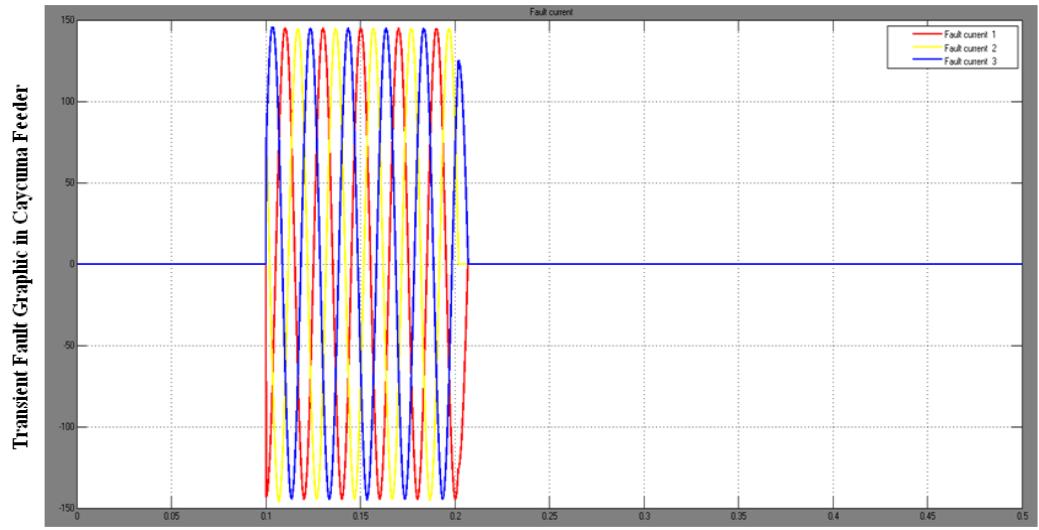


Fig. 7. Transient fault graphic in Caycuma distribution feeder

The fault was analyzed at 0,1 second lasting for another 0,1 second, before Devrek fault initiation. It is important to note that, these initiated contingencies were done in one simulation at varying fault times on the individual feeders. A transient three phase ungrounded fault on Alaplı feeder is shown in figure 8.

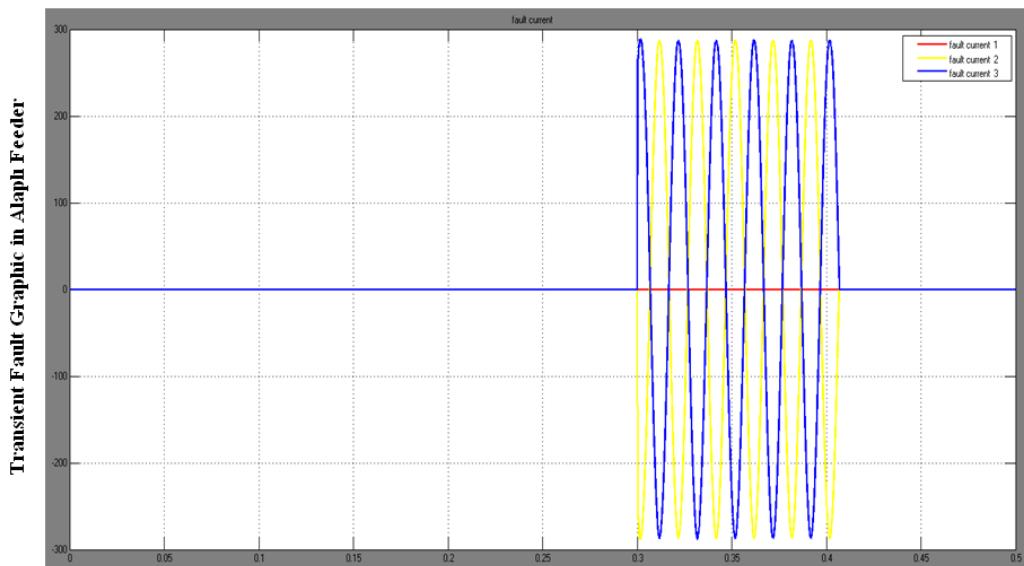


Fig. 8. Transient fault graphic in Alaphi distribution feeder

6. CONCLUSIONS

The fault analysis simulated in this research indicate the potential of using such system as a procedure in studying complex systems and performing a meaningful evaluation and/or analysis on the impact of power system fault analysis and how fuzzy systems can be used to evaluate different types of faults. The simulation result is shown that the inputs for the simulation are all from fault currents modeled on each of the feeders in the electrical test system. The outputs of the system will be one of three options, 0, 1, and 2 which represent the possible warning indicators of the condition of the individual feeders, that is, no problem, caution and imminent problem respectively. The objective of the study was achieved, since voltage distortion that should have affected a larger region of the town is now restricted to the particular locality of its occurrence.

REFERENCES

- [1] Volkanovski, A., Cepin, M., Mavko, B., Application of the fault tree analysis for assessment of power system reliability, *Reliability Engineering & System Safety*, 94(6), 1116-1127, June 2009.
- [2] Jeffrey, S., Restrepo, C., Zimmerman, R., Risk-management and risk-analysis-based decision tools for attacks on electric power, *Risk Analysis*, 27(3), 547-570, 2007.
- [3] Carreras, B. A., Lynch, V. E., Dobson, I., Newman, D. E., Critical points and transitions in an electric power transmission model for cascading failure blackouts, *Chaos*, 12(4), 985-994, 2002.
- [4] Pamuk, N., Statistical analysis of electrical and mechanical breakdown stress for insulation performance in high voltage power transformer, *Technical Gazette*, 21(3), 495-503, 2014.
- [5] Pamuk, N., Analysis of marmara region electrical power system stability under the critical fault conditions, *International Conference on Energy Efficiency Engineering UBT Conferences*, Durres, Albania, 6-7 November, p. 91-100, 2015.
- [6] Mathworks., Simscape Power Systems MATLAB & Simulink Program, (MATLAB version R2018b), 2018.
- [7] Ruspini, E., Bonissone, P., Pedrycz, W., 'Handbook of Fuzzy Computation', First Edition, *CRC Press*, p. 234-236, January 1998.
- [8] Larsen, P. M., Industrial applications of fuzzy logic control, *International Journal of Man-Machine Studies*, 12(1), 3-10, January 1980.
- [9] Arshdeep, K. Amrit, K., Comparison of fuzzy logic and neuro fuzzy algorithms for air conditioning systems, *International Journal of Soft Computing and Engineering*, 2(1), 417-420, March 2012.
- [10] Wang, C., A study of membership functions on Mamdani-type fuzzy inference system for industrial decision-making, *Master of Science Thesis*, Lehigh University, January 2015.
- [11] Passino, K. M., Yurkovich, S., 'Fuzzy Control', First Edition, *Addison Wesley*, p. 35-36, January 1998.
- [12] Ross, T. J., 'Fuzzy Logic with Engineering Applications', Second Edition, Chapter 4: Properties of membership functions, fuzzification, and defuzzification, *John Wiley & Sons. Ltd.*, p. 90-119, 2004.

- [13] Zadeh, L. A., ‘An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems’, First Edition, *Kluwer Academic Publisher*, Boston, 1992.
- [14] Kosko, B., ‘Neural Networks and Fuzzy Systems: A Dynamic Systems Approach to Machine Intelligence’, Second Edition, *Prentice Hall*, London, 1992.
- [15] Mathworks., Fuzzy Logic Toolbox MATLAB Program, (MATLAB version R2018b), 2018.



Augmentation of Heat Transfer by Novel Vortex Generators and Visualization of the Flow with PIV

M. Dogan^{1*}, A. A. Igci¹

¹Department of Mechanical Engineering, Bozok University, Yozgat, Turkey

Abstract

Heat transfer in channels placed novel vortex generators (VGs) was experimentally investigated and the flow behind VG visualized with PIV (particle image velocity measurement) system. The VGs are placed staggered manner in the flow direction. A constant heat flux thermal condition is provided by the heaters placed on the bottom surface of the channel. The effect of VG row number on the flow structure and heat transfer was investigated. Experiments for each the rows were made at Reynolds number $Re = 5000-25000$. The Nusselt number values for the smooth channel are compared to those given in the literature. The results obtained from the VGs placed channel are given in graph form by comparison with the smooth channel test results. The results showed that the rate of heat transfer in the channel with VG was significantly higher than in the smooth channel. Increasing the number of VGs in a row increases the number of longitudinal vortices (LVs), and thus increases the heat transfer. By increasing the number of VG rows, the strength of LVs is maintained substantially constant throughout the flow. Thus, higher Nusselt numbers were obtained. In addition, the flow structure was visualized by performing stereo PIV on the perpendicular plane to the flow. Visualization of the flow with PIV revealed that the VGs generated more than one LV on the same plane that caused increased heat transfer.

Keywords: Heat transfer, Vortex generator, PIV, Channel flow.

1. GİRİŞ

This Isı değiştiricileri, ısı enerjisini bir ortamdan başka bir ortama aktaran sistemlerdir. Bu sistemleri başta sanayi uygulamaları olmak üzere hemen hemen her yerde farklı şekillerde görebiliriz. Mevcut bilinen enerji kaynakları ve enerji üzerinde olan savaşlar düşünüldüğünde, ısı değiştiricilerinde enerjinin mükemmel bir şekilde en yüksek performansta aktarılması gerekmektedir. Bu konuda literatürde çok sayıda yapılmış çalışmalar vardır ve halen yoğun bir şekilde devam etmektedir. Isı transferinin artırılmasında iki yöntem vardır. Bunlar; aktif yöntemler (dişardan bir enerji girişi vardır) ve pasif yöntemler (herhangi bir enerji girişi yoktur). Genellikle tercih edilen yöntem ikincisi yani pasif yöntemlerdir. Pasif yöntemlerde ısı transferinin artırılması, test alanında akışın yapısının değiştirilmesi ile yapılır. Bunun içinde farklı şekillerde geometrik cisimler kullanılır. Genellikle yapılan çalışmalarla bükülümsüz şeritler [1-3], çubuklar [4-5], bloklar [6-8], engeller [9-10], kanat ve kanatçık [11-14] gibi farklı geometrilerde çok sayıda eleman kullanılmışlardır. Isı transferinin artırılmasında bu elemanlar, gelişen sınır tabakaları bozarak türbülans yoğunluğunu artırır (sıcak ve soğuk akışkanın karışmasını sağlar), ısı transfer yüzey alanının artmasına ve swirling ve ikincil akışların oluşmasına neden olur.

Pasif yöntemler içerisinde yer alan vorteks üreticileri, ısı transferinin artırılmasında sıkılıkla kullanılan farklı geometrik şekillere sahip cisimlerdir. Vorteks üreticiler geometrik yapısına göre akış alanında enlemesine ve uzunlamasına olmak üzere iki farklı vorteks üretilebilirler. Uzunlamasına vorteks ıslı performansının, enlemesine vorteks ıslı performansına göre daha iyi olduğu yapılan çalışmalar ile belirlenmiştir [15]. Literatürde uzunlamasına vorteks üreten vorteks üretici olarak kullanılanlar: delta kanat, dikdörtgen kanat,

* Corresponding author. Tel.: +90 354-242-1001/1681; fax: +90 354-242-1005.

E-mail address: mehmet.dogan@bozok.edu.tr (M. Dogan).

delta kanatçık çifti ve dikdörtgen kanatçık çifti olarak deneySEL çalışmalar yapılmış [16]. Yine Fiebig, 1995 yılında yaptığı çalışmada kanatçıkların kanatlara göre daha iyi olduğunu belirlemiştir [17]. Ayrıca delta kanatçık ile dikdörtgen kanatçığın benzer bir ısl performans verdiği elde etmiştir. Akım içine yerleştirilen vorteks üreticilerin geometrik şekillerinin yanında ana akım yönüne göre nasıl yerleştirildikleri yani hücum açısı ısl transferinin iyileştirilmesi açısından önemli bir parametredir. Wu ve Tao [18]'da uzunlamasına bir çift vorteks üretici ile dikdörtgen kesitli kanallarda laminer akış rejiminde ısl transferinin iyileştirilmesi noktasında hücum açısı 15° , 30° , 45° ve 60° 'nın etkisini araştırmışlar ve en yüksek Nusselt sayısını hücum açısı 60° için elde etmişlerdir. Ancak aynı zamanda da en yüksek basınç kaybını gösterdiğini ortaya koymuşlardır.

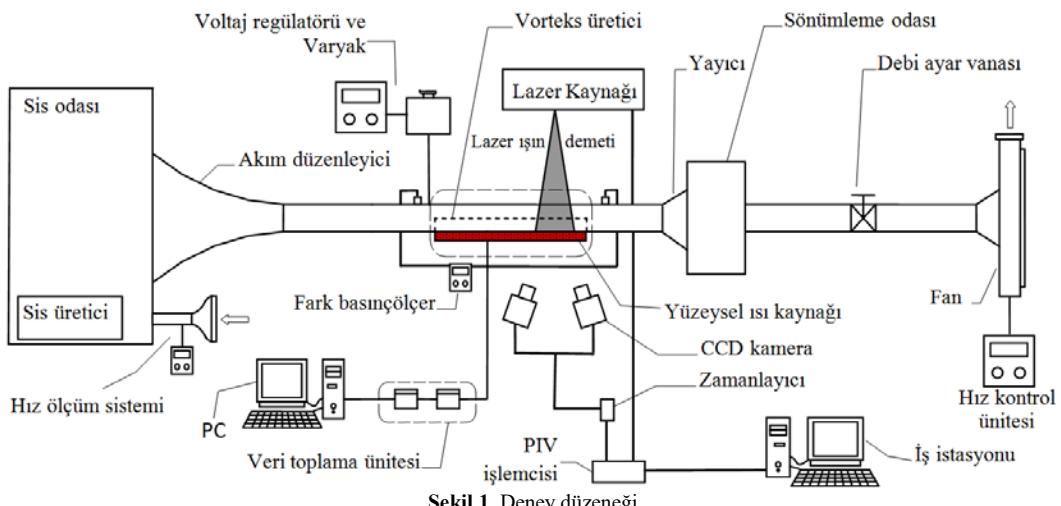
Kanal akışında ısl transferinin iyileştirilmesi noktasında literatür incelediğinde genellikle uzunlamasına vorteks üreten kanat (wing) ve kanatçık (winglet) gibi cisimler kullanılmıştır. Bu çalışmanın amacı, daha yüksek ısl performans veren yeni bir tür enlemesine vorteks üreticisi tanıtmak ve ısl transferine etkisini deneySEL olarak araştırmaktır.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma için kurulan deney düzeneğinin şematik görünüsü Şekil 1'de verilmiştir. Deney düzeneğinin başlıca elemanları sırasıyla, hız ölçüm sistemi, sis odası, akım düzenleyici, akışın geliştiği kanal ve devamında test odası, PIV sistemi, yayıcı, sönümleme odası, kısma vanası, yüksek basınçlı fan ve hız sürücüsünden oluşmaktadır.

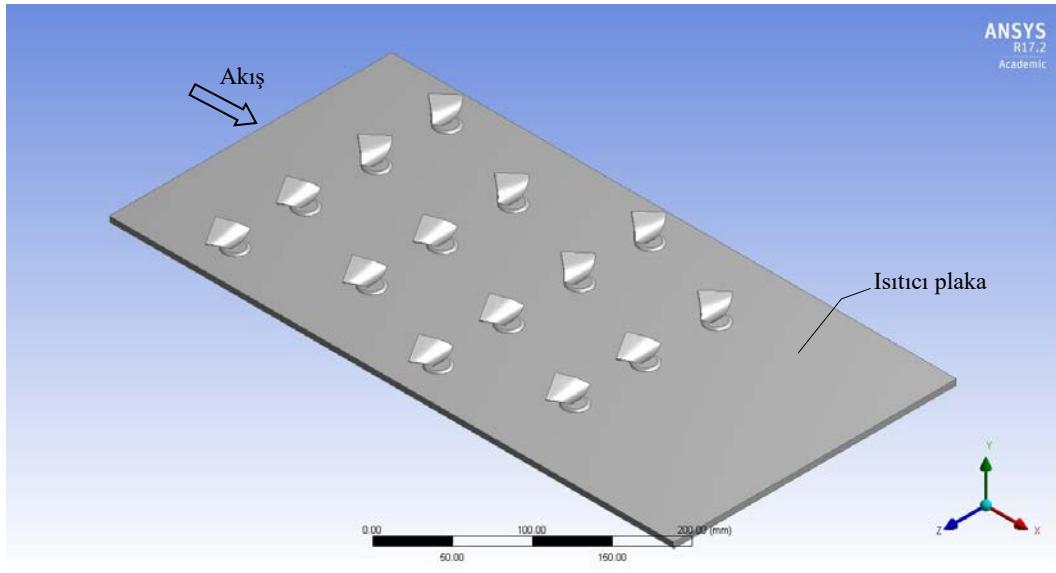
Hava, sis odasına bağlanmış ve kızgın-tel anemometresiyle hız ölçümede kullanılan bir akış düzenleyicisinden alınmaktadır. Akış düzenleyicisindeki amaç 10 cm çapındaki PVC borunun giriş en-kesiti boyunca tüniform bir hız dağılımı elde edilmesini sağlayarak bu en-kesite yerleştirilmiş kızgın-tel anemometre aracılığıyla akış hızı ölçmek ve böylece kanaldaki akış debisi ve Reynolds sayısını bulmaktadır. Hız ölçümü için, TSI'ın taşınabilir 8346 modeli kızgın tel anemometresinin probu yukarıda bahsedilen akış düzenleyicisine bağlı 10 cm çapındaki PVC borunun merkezine yerleştirilmiştir. Cihazın ortalama alma fonksiyonundan yararlanılmıştır.

Kanalın girişinde PIV ölçümlerinde homojen sis verebilmek için düz şeffaf pleksi-glass'dan imal edilmiş bir sis odası yer almaktadır. Kanala hava bu sis odasından alınmaktadır. Kanala akış ayrılması olmadan tüniform bir giriş sağlamak için bir akış alış ağızı (akım düzenleyici) yerleştirilmiştir.



Deney tesisatı temel olarak kesiti $25 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ dikdörtgen şeklinde ve uzunluğu toplamda 4 m olan bir kanaldır. Kanal 90°C sıcaklığı kadar dayanaklı olması açısından düz ve şeffaf polikarbon malzemeden imal edilmiştir. Test bölgесinin alt yüzeyine sabit ıslı vermek üzere, altında toplamda 1000 Watt elektrikli ısıtıcıların bulunduğu bakır plakadan oluşmaktadır. Bu bölümde ayrıca, bakır plakanın altına yerleştirilen ısıtıcılara verilen ıslı gücü kontrol eden bir varyak ve gelen şebeke elektrik akımını düzenleyen bir regülatör mevcuttur. Sıcaklık ölçümleri için bakır-constantan (T-tipi) ıslı-çiftler ve Elimko'nun her biri 32 kanallı 2 adet E-680 model veri-toplayıcı kullanılmıştır. Bakır plakanın sıcaklığı eşit alan ağırlıklı olacak şekilde yerleştirilmiş 32 adet ıslı çiftler ile sıcaklıklar ölçülüp bunların ortalamasından ısıtıcı yüzeyin ortalama sıcaklığı bulunmuştur. ıslı-çiftler bakır plakanın alt yüzeyinden ön yüzeyine 0.5 mm mesafe kalacak kadar açılan deliklere termal yapıştırıcı kullanarak sabitlenmiştir. Giriş hava sıcaklığı sis odasından kanala girişte en-kesiti boyunca eşit alan ağırlıklı olacak şekilde yerleştirilmiş 8 adet ıslı çiftin ölçtüüğü sıcaklıkların

ortalamasından bulunmuştur. Çıkıştaki hava sıcaklığı ise test bölgesinin çıkışına, basınç prizinden sonra kanalın en-kesiti boyunca eşit alan ağırlıklı olacak şekilde yerleştirilmiş 24 adet ıslı-çiftlerin ölçüleri sıcaklıkların ortalamasından bulunmuştur. Sıcaklıklar bilgisayarda 1 sn aralıklarla ölçülerek kaydedilmiş ve ısı transferinin sürekli rejime geldiği ise son 1 saat içerisindeki sıcaklık değişimlerinin 0.1°C mertebelerinde olduğu anda kabul edilerek son 5 dakikanın sıcaklık kayıtlarının aritmetik ortalaması alınarak bulunmuştur. Kanalın test bölgesinde akış boyunca olan basınç düşümünü belirlemek için test bölgesinden 5 cm önce ve bitiminden 5 cm sonrasında kanalın üst yüzeyinin tam ortasına 2 mm çapında statik basınç prizleri açılmış iç çapı 2 mm olan pnömatik hortumlarla fark basınçlere bağlanmıştır. Fark basınçlara olarak Furness Controls'un FCO318 modeli cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan vorteks üreticilerin ısıtıcı plaka üzerindeki dizilimleri Şekil 2'de verilmiştir. Bu vorteks üreticiler 3D baskı sistemiyle ısıya dayanıklı malzemeden üretilmiştir.



Şekil 2. Vorteks üreticiler

Fanın puls etkisini ve test odasından sonra akış ayrılması sonucu olabilecek basınç dalgalanmalarını minimuma indirmek amacıyla test odasından sonra kanal bir yayıcı ile dinlenme odasına bağlanmıştır. Güvenlik açısından fan 10 Hz'den daha düşük hızda çalıştırılmamakta ve daha düşük Reynolds sayılı kanal akışı elde etmek için dinlenme odası ile fan arasında bir kısma vanası yerleştirilmiştir.

Kanalda hava akışı deney tesisatından emme yapan ve üç-fazlı 2.2 kW gücündeki yüksek basınçlı radyal bir fan aracılığı ile sağlanmaktadır. Kanalda istenilen akış debisine ulaşmak amacıyla fanın devir sayısı Siemens'in micromaster 420 model frekans ayarlayıcısı kullanılarak değiştirilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan Dantec'in stereo PIV sistemi saniyede 15 görüntü çifti alabilmekte (15 Hz) ve her görüntü çiftinde iki çekim arasında geçen süre en az 200 ns'dır. Lazer ışık kaynağı Nd:YAG ve 532 nm'de, atım (pulse) enerjisi 135 mJ ve iki adet 4 MP çözünürlüklü CCD kamerası mevcuttur. Hız vektörlerinin hesaplanması kameradan alınan fotoğraf çiftlerinin % 50 üst üste bindirilmiş sorgulama alanlarının çözünürlüğü 8x8 pikselden başlayıp 32x32 piksel çözünürlüğe kadar 8x8 artan adımlarla otomatik olarak belirlenir. Görüntü çiftleri arasındaki zaman aralığı ve sorgulama bölgesindeki parçacıkların kat ettiği ortalama mesafe bilinmektedir. Böylece her bir sorgulama alanı için hız vektörü hesaplanarak lazer dilimi olarak aydınlatılan akış düzlemine ait bir hız alanı çıkartılmaktadır.

Kurulan deney düzeneğinde akış ve ısı transferi analizlerini yapmak için temel olarak hız, sıcaklık ve test bölgesi boyunca basınç düşüşü ölçümleri yapılmıştır.

Bu çalışmada Reynolds sayısı ve Nusselt sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D_h}{\nu} \quad (1)$$

Burada V test bölgesindeki akışkan hızı, D_h kanal hidrolik çapı ve ν akışkanın kinematik viskozitesidir.

Literatürde yapılan benzer çalışmaların çoğunda ısnımla olan ısı kaybı hiç anlmamış olmakla birlikte bazlarında ise hesaplanmış ve bu kaybin çok az olmasından dolayı (% 3–4) ihmal etmişlerdir [19–21]. Bu çalışmada da ısnımla olan ısı transfer hızı ($\dot{Q}_{\text{transfer}}$) aşağıdaki bağılıdan hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{tasinim} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (2)$$

\dot{m} kütlesel debi, c_p özgül ısı, T_o çıkış kesitindeki ortalama akışkan sıcaklık, T_i giriş kesitindeki ortalama akışkan sıcaklığıdır.

Newton'un soğuma yasası:

$$h = \frac{\dot{Q}_{tasinim}}{A(\bar{T}_s - T_b)} \quad (3)$$

A ısıtıcı yüzey alanı, T_s ısıtıcı yüzey ortalama sıcaklığı, T_b yığık akışkan sıcaklığı, h yüzey ısı taşınım katsayısıdır. Akışkan özellikleri aşağıda verilen yığık akışkan sıcaklığında belirlenir.

$$T_b = (T_i + T_o)/2 \quad (4)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k} \quad (5)$$

k ise akışkan ısı iletim katsayısıdır. Darcy ifadesinden sürtünme faktörü, f

$$f = \frac{2}{(L/D_h)} \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad (6)$$

L iki basınç prizi arasındaki mesafe, ρ akışkan yoğunluğuudur.

Aynı pompa gücünde ıslı iyileştirme faktörü (Termal Enhancement Factor – TEF) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$TEF = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) \left(\frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (7)$$

3. BULGULAR

Eşitlik (8-9)'da sırasıyla Dittus-Boelter ve Gnielinski Nu sayısı bağıntıları verilmiştir. Boş kanal için deneyler yapılarak elde edilen sonuçlar verilen eşitliklerle karşılaştırılması yapılmış ve Şekil 3'de verilmiştir. Grafikte eğrilerin oldukça iyi bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Dittus-Boelter'in Nu sayısı bağıntısı:

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (8)$$

Gnielinski'in Nu sayısı bağıntısı:

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (9)$$

$3000 < Re < 5 \times 10^6$

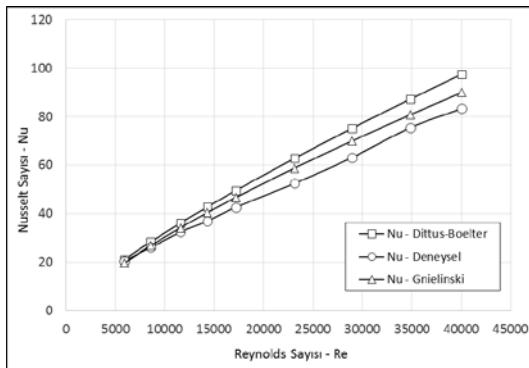
Benzer bir şekilde ısı transferi için yapılan karşılaştırma, test bölgesi boyunca olan basınç düşüşü için de yapılmıştır. Bunun için eşitlik (9) Petukhov bağıntısı ve eşitlik (10) Blasius bağıntısı kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 4'te sunulmuş ve grafik incelediğinde boş kanal için yapılan deneyel çalışmalarдан elde edilen sonuçların literatürden gelen teorik ifadenin sonuçları ile mükemmel bir uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Petukhov bağıntısı:

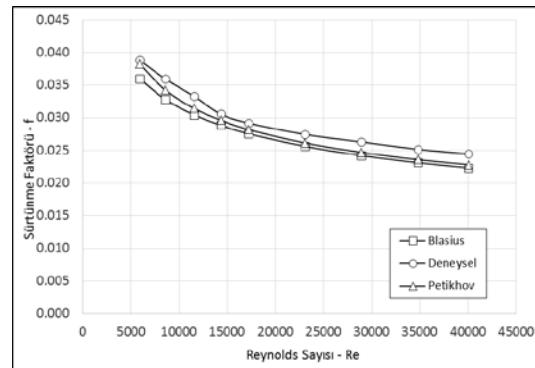
$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad 3000 \leq Re \leq 5 \times 10^6 \quad (10)$$

Blasius bağıntısı:

$$f = 0.316 Re^{0.25} \quad 3000 \leq Re \leq 20000 \quad (11)$$



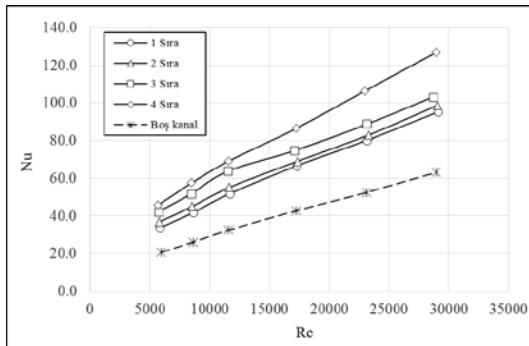
Şekil 3. Boş kanal için Nu sayısı



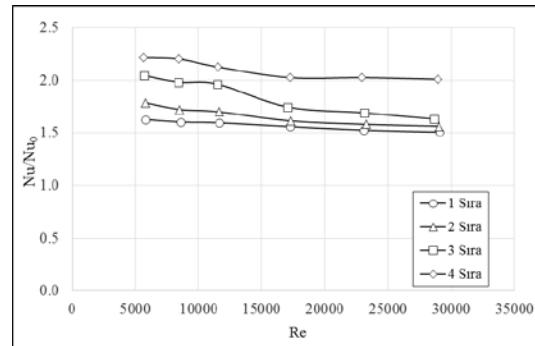
Şekil 4. Boş kanal için sürtünme faktörü f_0

Kurulan deney düzeneği için bu doğrulamalar yapıldıktan sonra şartsızlı düzende yerleştirilmiş vorteks üreticilerle deneyler yapılmıştır. Deneyler boş kanal ile şartsızlı düzende vorteks üreticiler yerleştirilmek suretiyle dört farklı sıra sayısı için yapılmıştır. Bir sıra için yapılan deneylerde yan yana dört adet vorteks üretici kullanılmıştır. İki sıra deneylerinde ise şartsızlı olarak birinci sıranın arkasına üç adet vorteks üretici yerleştirilerek yapılmıştır. Üç sıra ve dört sıra deneyleri de benzer şekilde vorteks üreticiler yerleştirilerek ayrı ayrı yapılmıştır.

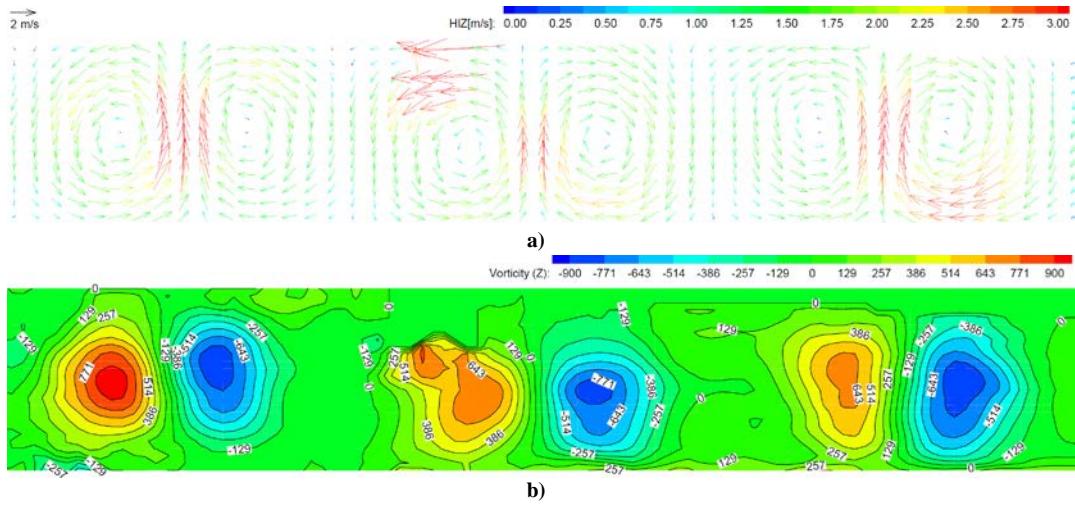
Şekil 5 ve Şekil 6'da boş kanal ile içeresine farklı sıra sayısında şartsızlı düzende vorteks üreticilerin yerleştirildiği kanal için Nu sayısı ve Nu/Nu_0 'nın Re sayısına göre dağılımları verilmiştir. Her bir sıra sayısı için Nusselt sayısı Reynolds sayısının artmasıyla birlikte atılmıştır. Kanal içeresine yerleştirilen vorteks üreticiler uzunlamasına vorteksler (longitudinal vortexes, LGVs) üreterek boş kanala gide ısı transferinin artmasını sağlamışlardır. Yapılan PIV ile bu durum Şekil 7'de verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi her bir vorteks üretici iki adet LGVs üretmektedir. Bu da is transferinin artmasını sağlamıştır. Ayrıca, Nu sayısı sıra sayısının artmasıyla da arttığı bu grafiklerde görülmektedir. Sıra sayısının artması birinci sırada üretilen vorteksesi bozmuştur. Şekil 8 ve Şekil 9'da en-kesit boyunca hız dağılımlarından da anlaşılmakta birinci sırada üretilen vorteks yapısının bozulduğu anlaşılmaktadır.



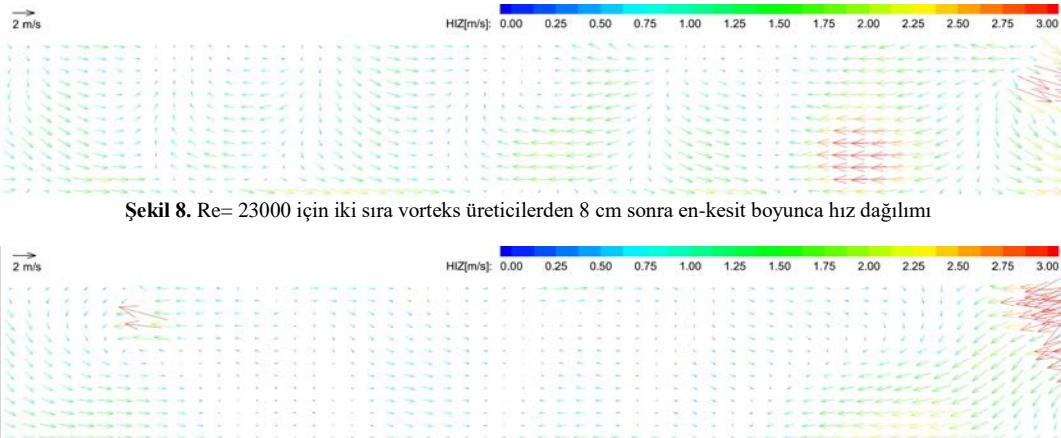
Şekil 5. Vorteks üretici sıra sayısı, Nu



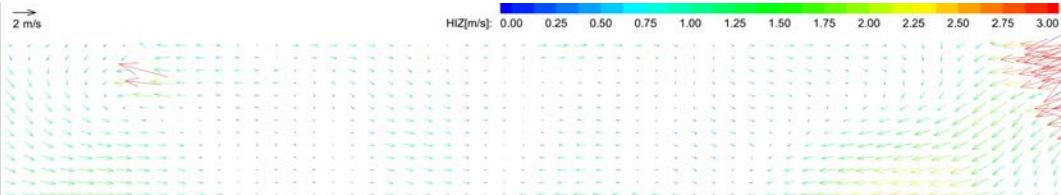
Şekil 6. Vorteks üretici sıra sayısı, Nu/Nu_0



Şekil 7. $Re = 23000$ için bir sıra vorteks üreticilerden 8 cm sonra en-kesit boyunca a) hız dağılımı, b) vorteks dağılımı.

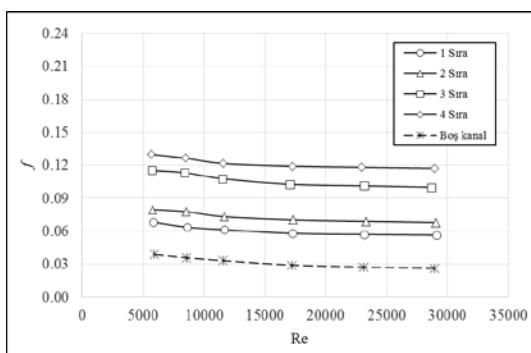


Şekil 8. $Re = 23000$ için iki sıra vorteks üreticilerden 8 cm sonra en-kesit boyunca hız dağılımı

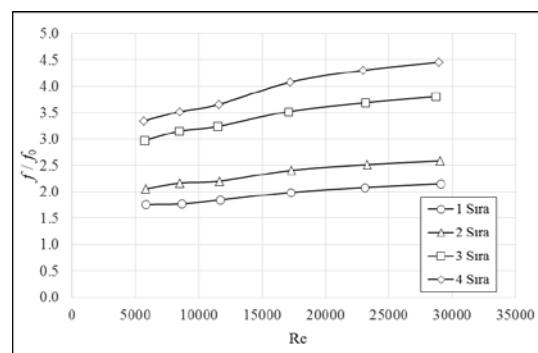


Şekil 9. $Re = 23000$ için dört sıra vorteks üreticilerden 8 cm sonra en-kesit boyunca hız dağılımı

Kanal içeresine farklı sıra sayısında vorteks üretici yerleşimi ile sürtünme faktörü f ve f/f_0 karakteristiğinin Re sayısıyla değişimini gösteren grafikler Şekil 10 ve Şekil 11'de verilmiştir. Boş kanala göre içeresine vorteks üretici yerleştirilmiş kanaldaki f' in değeri artmıştır. Bu, hareket eden akışkanın daha fazla yüzeye temas etmesi ve vorteks üreticilerin oluşturduğu farklı basınç alanlarının artması şeklinde açıklanabilir. Sıra sayısının artmasıyla da sürtünme faktörü f' in arttığı görülmektedir.

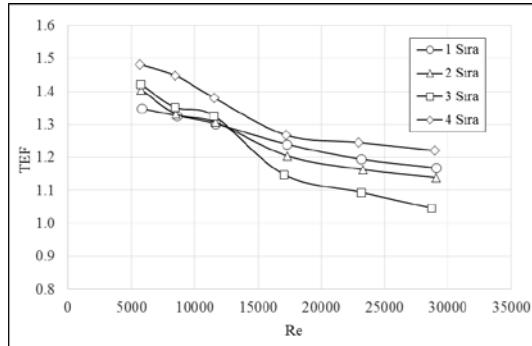


Şekil 10. Vorteks üretici sıra sayısı, f



Şekil 11. Vorteks üretici sıra sayısı, f/f_0

Yapılan deneyler için ıslı iyileştirme faktörü (TEF – Thermal Enhancement Factor) Şekil 12'de verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere TEF'in değeri bütün sıra sayıları için 1'den büyük elde edilmiştir. Bunun anlamı da bu çalışmada imal edilmiş kanal içeresine yerleştirilen vorteks üreticilerin çalışılan Reynolds sayısı aralığında ısı transferini boş kanala göre iyileştirdiğidir. Düşük Reynolds sayılarında sıra sayısındaki artış TEF'in artmasını sağlamıştır. Yüksek Reynolds sayılarında ise üç sıra sayısına kadar bu durum tam tersi olarak gerçekleşmiştir. Sıra sayısının artmasıyla ısı transferindeki artışa göre basınç düşüşünün daha fazla olması sebebiyle *TEF* tam tersi çıkmıştır. Grafikte de görüldüğü gibi dört sıra sayısı için bütün Reynolds sayılarında en yüksek *TEF* elde edilmiştir.



Şekil 12. Vorteks üretici sıra sayısı, *TEF*

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, içeresine vorteks üreticiler yerleştirilmiş dikdörtgen kesitli bir kanalda ısı transferi deneysel olarak incelenmiş ve kanal içerisindeki akışın, PIV (parçacık görüntüsü hız ölçümü) sistemi ile görüntülenmesi yapılmıştır. Kanal test bölgesinde sabit ısı akısı sınır şartı uygulanmış ve bu bölgede basınç düşüşü oldukça hassas bir fark basınç manometre ile ölçülmüştür. Bir sıra vorteks üreticiler kanal içeresine yerleştirildiğinde uzunlamasına vorteksler üretmişlerdir. Bu uzunlamasına vorteksler ıslı simir tabakayı sürekli rahatsız etmiş ve kanal içerisinde tamamen bir karışma sağlayarak ısı transferinin artmasını sağlamıştır. Şaşırıtmalı düzende sıra sayısının artırılması ısı transferinin artmasını sağlamıştır. Ancak sıra sayısının şaşırıtmalı düzende artırılarak birinci sırada üretilen vortekslerin bozulmasına neden olmuştur. Üretilen vorteksler ve vortekslerin bozulması PIV sistemiyle görselleştirilmiştir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmanın gerçekleşmesinde stereo PIV sisteminin kullanımında sağladığı olanaklıdan dolayı Bozok Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezine teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Eiamsa-ard, S., Promvonge, P., Heat transfer characteristics in a tube fitted with helical screw-tape with/without core-rod inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 34(2); 176–185, 2007.
- [2] Eiamsa-ard, S., Pethkool, S., Thianpong, C., Promvonge, P., Turbulent flow heat transfer and pressure loss in a double pipe heat exchanger with louvered strip inserts, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 35(2); 120–129, 2008.
- [3] Eiamsa-ard, S., Thianpong C., Eiamsa-ard, P., Promvonge, P., Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 36(4); 365–371, 2009.
- [4] Valencia, A., Cid, M., Turbulent unsteady flow and heat transfer in channels with periodically mounted square bars, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 45(8); 1661-1673, 2002.
- [5] Valencia, A., Sen, M., Unsteady flow and heat transfer in plane channels with spatially periodic vortex generators. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 46(17); 3189-3199, 2003.
- [6] Leu, J. S., Wu, Y.H. , Jang, J.Y., Heat transfer and fluid flow analysis in plate-fin and tube heat exchangers with a pair of block shape vortex generators, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(19-20); 4327-4338, 2004.
- [7] Ma, J., Huang, Y.P. , Huang, J. , Wang, Y.L., Wang, Q.W., Experimental investigations on single-phase heat transfer enhancement with longitudinal vortices in narrow rectangular channel, *Nuclear Engineering and Design*, 240(1); 92-102, 2010.
- [8] Hemida, H., Spehr, F., Krajnovic, S., Local heat transfer enhancement around a matrix of wall-mounted cubes using passive flow control: large-eddy simulations, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 29(5); 1258-1267, 2008.
- [9] Promvonge, P., Tamna, S., Pimsarn, M., Thianpong, C., Thermal characterization in a circular tube fitted with inclined horseshoe baffles, *Applied Thermal Engineering*, 75; 1147–1155, 2015.

- [10] Tandiroglu, A., Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 49(9); 1559–1569, 2006.
- [11] Fiebig M., Embedded Vortices in Internal Flow: Heat Transfer And Pressure Loss Enhancement, *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 16(5); 376-388, 1995.
- [12] Fiebig, M., Kallweit, P., Mitra, N., Tiggelbeck, S., Heat transfer enhancement and drag by longitudinal vortex generators in channel flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 4(1); 103-114, 1991.
- [13] Wu, J.M., Tao, W.Q., Effect of longitudinal vortex generator on heat transfer in rectangular channels, *Applied Thermal Engineering*, 5; 67-72, 2012.
- [14] Zhou, G.B., Ye, Q.L., Experimental investigations of thermal and flow characteristics of curved trapezoidal-winglet type vortex generators, *Applied Thermal Engineering*, 37; 241-248, 2012.
- [15] Fiebig M., Vortices, Generators and Heat Transfer, *Institution of Chemical Engineers Trans IChemE, Part A*, 76; 108-123, 1998.
- [16] Fiebig, M., Kallweit, P., Mitra, N.K., Tiggelbeck, S., Heat transfer enhancement and drag by longitudinal vortex generators in channel flow, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 4; 103–114, 1991.
- [17] Fiebig M., Embedded Vortices in Internal Flow: Heat Transfer And Pressure Loss Enhancement, *Int J Heat Fluid Flow*, 16; 376-88, 1995.
- [18] Wu, J.M., Tao, W.Q., Effect of longitudinal vortex generator on heat transfer in rectangular channels, *Applied Thermal Engineering*, 5; 67-72, 2012.
- [19] Sriromreun, P., Thianpong, C. Promvonge, P., Experimental and numerical study on heat transfer enhancement in a channel with Z-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 39(7); 945–952, 2012.
- [20] Zhou G., Feng Z., Experimental investigations of heat transfer enhancement by plane and curved winglet type vortex generators with punched holes, *International Journal of Thermal Sciences*, 78; 26-35, 2014.
- [21] Skullong S., Promvonge, P., Thianpong, C., Jayranaiwachira, N., Pimsarn, M., Heat transfer augmentation in a solar air heater channel with combined winglets and wavy grooves on absorber plate, *Applied Thermal Engineering*, 122; 268–284, 2017.



Comparative Experimental Investigation of Thermal Conductivities of Al_2O_3 -distilled water and TiO_2 -distilled water Nanofluids

M. Gökçek^{1*}, S. Öcal², C. Kale³

¹Department of Mechanical Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Niğde Ömer Halisdemir University, Niğde, Turkey

³Department of Energy Systems Engineering, Firat University, Elazığ, Turkey

Abstract

In recent years, nanofluids have become an important topic in the field of heat transfer improvements in thermal systems. As a result of the researches and reports that have been made, it has been revealed useful sides of that the nanofluids which we can call as the next generation fluids are in engineering applications. In this study, Al_2O_3 -distilled water and TiO_2 -distilled water nanoparticles were prepared at 0.5%, 1% and 1.5% volumetric concentrations and the thermal conductivities of the nanofluids were experimentally obtained at different temperatures. The results obtained were compared with the Maxwell, Hamilton-Crosser and Yu-Choi models that predict the thermal conductivity of the nanofluids in the literature and the factors affecting the thermal conductivity in nanofluids have been investigated.

Keywords: Al_2O_3 -distilled water nanofluid, TiO_2 -distilled water nanofluid, nanofluid, thermal conductivity, Maxwell model.

1. GİRİŞ

Her geçen gün artan enerji ihtiyacı yeni enerji kaynaklarının gereksinimini artırmaktadır. Enerjinin daha etkili ve verimli kullanılması ise büyük bir önem arz etmektedir. Bu nedenle her alanda karşımıza çıkan ısı değiştiricilerin performansının artırılmasına yönelik çalışmalar enerji verimliliği açısından önemli çalışmalarlardır. Isı değiştiricilerde kullanılan geleneksel akışkanlar (su, antifriz, motor yağı vs.) çoğu alanda ısı transferi kapasitesi açısından yeterli etkiye gösterememektedir. Isı iletkenliği artırmak amaçlı ise geleneksel akışkanlar içeresine nano boyutlarda parçacıklar eklenmektedir. Bu sayede akışkanın ısı karakteristiği iyileşmekte ve ısı transferi açısından iyi performans değerleri elde edilmektedir. Baz akışkan içeresine nano boyutlardaki katı partiküllerin süspense edilmesiyle elde edilen yeni ısı transfer akışkanına nanoakışkan denilmektedir. Nanoakışkan, nanoparçacıkların bir sıvı içeresindeki süspansiyonlarına denir [1]. Literatürde, nanoakışkan çalışmalarına bakıldığından nanoakışkan eldesi ilk Argonne National Laboratory'de 1995 yılında Choi tarafından gerçekleştiği görülmektedir. Süspansiyon hazırlanmasına yönelik çalışmalar ise 2000 yılında Xuan ve Li tarafından önerilmiştir [2]. Nanoakışkanlar, kimyasal reaksiyonlar, güneş enerji sistemleri, termal enerji depolama, medikal uygulamalar, elektronik soğutma, nükleer reaktör gibi alanlarda kullanılabilmektedirler.

Wen ve Ding [3] katı partikül için Al_2O_3 ve baz akışkan için iyonize su kullanarak elde ettikleri nanoakışkanın konvektif ısı transferi üzerine etkisini araştırdıları deneyel bir çalışma sunmuşlardır. Çalışma sonunda konvektif ısı transferinin önemli ölçüde arttığını ve nanopartikül çökelmesi nedeniyle bir sınır tabakanın ortaya çıktığını elde etmişlerdir. Wang ve Mujumdar [4] çalışmalarında karşıtları nanopartikülerin süspansiyonun ısı transferi karakteristiklerini ve taşınım özelliklerini önemli bir şekilde

* İlgili yazar. Tel.: +90 388-225-2483

E-posta adres: mgokcek@ohu.edu.tr (M. Gökçek).

etkilediğini göstermişlerdir. Saidur ve ark. [5] daha çok oksit grubu (Al_2O_3 , Fe_4O_3) nano partiküllerin kullanılmasıyla elde edilen nanoakışkanlarının ıslı iletkenliklerinin nanopartikül oranına bağlı olarak arttığını gözlemlemişlerdir. Minsta ve ark. [6] 29 nm boyutundaki Al_2O_3 nanopartiküllerini saf su baz akışkanına süspense ederek hazırladığı nanoakışkanları 20-40°C aralığında %9 hacimsel konsantrasyona kadar termal iletkenliklerini ölçmüştür. Ölçüm sonucunda termal iletkenliğin hacimsel konsantrasyonun artışı ve partikül boyutunun azalmasıyla arttığı sonucuna varmışlardır.

Das ve ark. [7] Al_2O_3 -su ve CuO -su nanoakışkanlarının termal iletkenlik değişimini 21-51°C ve %1-4 hacimsel konsantrasyon aralığında incelemiştir. Çalışmalarının sonuçları sıcaklık ve hacimsel derişim arttıkça termal iletkenliğin saf suya karşı %24,3 daha iyileştiğini göstermiştir. Lee ve ark. [8] 38,4 nm boyutundaki nanopartiküller kullanarak su bazlı ve etilen glikol bazlı iki farklı nanoakışkan hazırlamışlar ve termal iletkenliklerini ölçmüştür. Su bazlı nanoakışkan için %3-10 termal iletkenlik artışı elde ederken etilen glikol bazlı nanoakışkanlar için %3-18 termal iletkenlik artışı rapor etmişlerdir. Masuda ve ark. [9] SiO_2 ve TiO_2 nanopartikülleri ile hazırladıkları nanoakışkanlarda, 67°C'de %64 hacimsel derişime sahip TiO_2 için %10 termal iletkenlik artışı sağlanmışken, SiO_2 için %1 termal iletkenlik artışı sağlanmıştır.

Bu çalışmada, iki adım metodu ile hazır nanopartiküller saf su içerisinde süspense edilmiş ve nanoakışkanlar elde edilmiştir. %0,5, %1 ve %1,5 hacimsel derişimlerde hazırlanan nanoakışkanların termal iletkenliğini tahmin etmek için literatürde yer alan modeller ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. YÖNTEM

Çalışmada kullanılan Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartiküllerin özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo I. Nanopartikül özellikleri

Nanopartikül adı	Kimyasal gösterimi	Partikül şekli	Partikül boyutu	Isıl iletkenlik [W/mK]	Saflik
Alüminyum oksit	Al_2O_3	Küresel	46 nm	30	%99,15
Titanyum oksit	TiO_2	Küresel	69 nm	11,7	%97,5

Nanoakışkanların hacimsel derişimlerini veren formülasyon Denklem 1'de verilmiştir [10]. Denklemde w_{np} nanopartikül ağırlığı (g), ρ_{np} nanopartikül yoğunluğu (g/cm^3) ve φ nanoakışkanın hacimsel derişimidir.

$$\varphi \times 100 = \frac{\left(\frac{w_{np}}{\rho_{np}} \right)}{\left(\frac{w_{np}}{\rho_{np}} \right) + \left(\frac{w_b}{\rho_b} \right)} \quad (1)$$

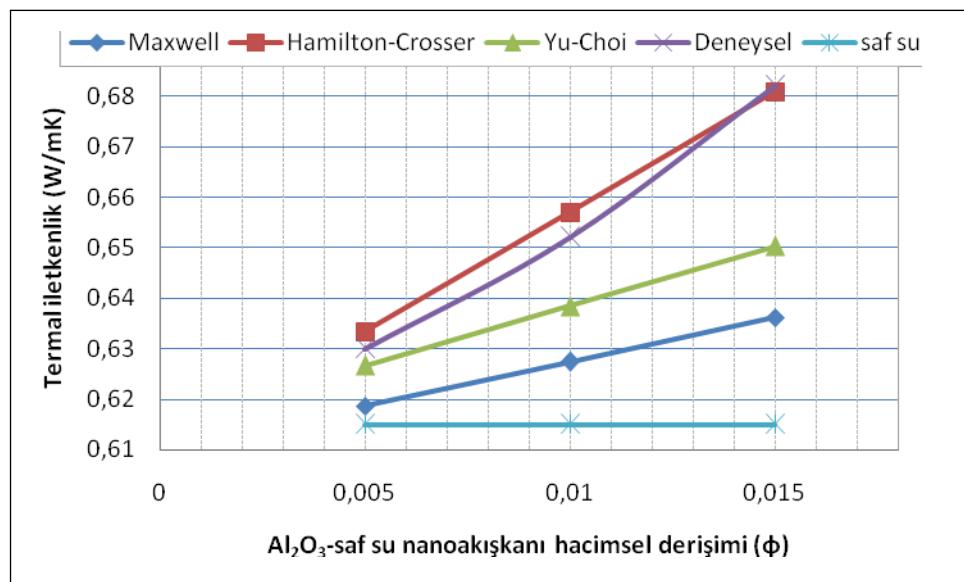
Nanoakışkan iki farklı yöntem ile elde edilmektedir. Bunlardan biri tek adım yöntemidir ve bu yöntemde nanopartiküllerin elde edilmesi ve daha sonrasında baz akışkanına katılma işlemidir. Diğer yöntem ise iki adım yöntemidir ve hazır alınan nanopartiküller baz akışkanına ilave edilir [11]. Bu çalışmada Al_2O_3 ve TiO_2 nanopartikülleri iki adım yöntemi ile baz akışkan seçilerek saf suya süspense edilmiştir. Nanoakışkanın homojen dağılımını sağlamak amacıyla belirli bir süre manyetik karıştırıcıda ve daha sonra ultrasonik homojenizatörde karıştırılmıştır. %0,5, %1 ve %1,5 hacimsel derişimlerde hazırlanan Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanları 10-35°C aralığında termal iletkenlikleri geçici sıcak tel prensibi ile çalışan KD2 Pro cihazı ile ölçülmüştür. Nanoakışkanların termal iletkenliğini tahmin etmek için birtakım teoriler önerilmiştir. Bu teoriler, parçacık konsantrasyonu, parçacık şekli ve katı-sıvı fazlar için etkili formülasyonlardır. Bu çalışmada, Maxwell, Hamilton-Crosser ve Yu-Choi modelleri ile deneyel veriler karşılaştırılmıştır. Bu üç modelin formülasyonu Tablo 2'de özetlenmiştir [12] [13]. Tablodaki modellerde k_{np} nanopartikülün termal iletkenliği, k_e efektif termal iletkenlik, k_b baz akışkanın termal iletkenliği, φ nanoakışkanın hacimsel derişimidir.

Tablo II. Nanoakışkanlar için termal iletkenlik modelleri

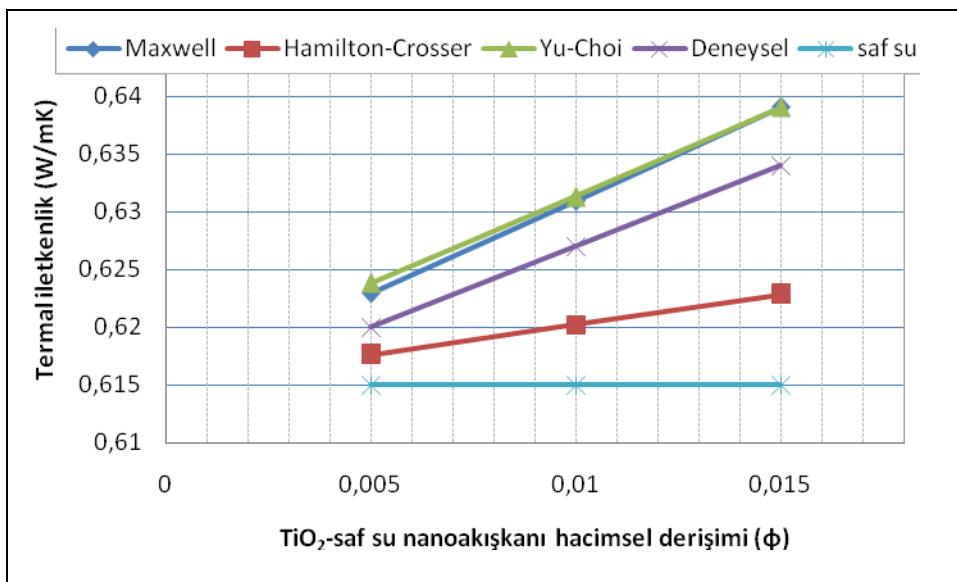
Model	Formülasyon	Açıklama
Maxwell	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + 2kb + 2\varphi(k_{np} - kb)}{k_{np} + 2kb - \varphi(k_{np} - kb)}$	Homojen dağılımlı küresel partiküller
Hamilton-Crosser	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + (n-1)kb - (n-1)\varphi(k_b - k_{np})}{k_{np} + (n-1)kb + \varphi(k_b - k_{np})}$	Küresel ve silindirik partiküller, n=3 alınır.
Yu-Choi	$\frac{k_e}{k_b} = \frac{k_{np} + 2kb + 2(k_{np} - kb)(1+\beta)^3\varphi}{k_{np} + 2kb - (k_{np} - kb)(1+\beta)^3\varphi}$	β , nanokatman kalınlığının partikül radyusuna oranıdır ve 0.1 alınır.

3. BULGULAR

Şekil 1'de %0.5, %1 ve %1.5 hacimsel derişimlere sahip Al_2O_3 -saf su nanoakışkanının 30°C 'de deneysel termal iletkenlik değerlerinin Maxwell, Hamilton-Crosser ve Yu-Choi modelleri ile karşılaştırılması verilmiştir. Şekil 2'de ise %0.5, %1 ve %1.5 hacimsel derişimlerdeki TiO_2 -saf su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri literatürde bulunan modeller ile karşılaştırılmıştır.

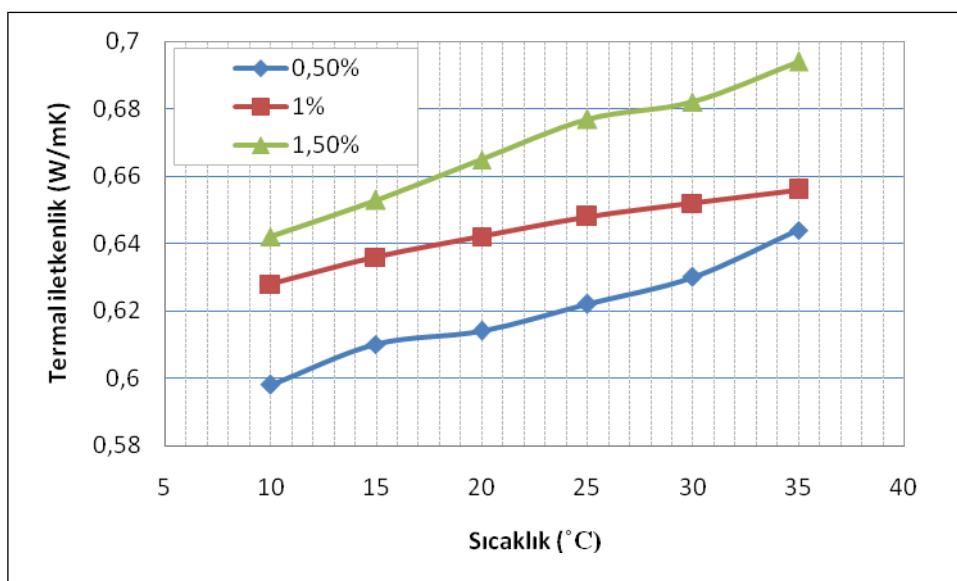


Şek. 1. Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için termal iletkenliğin modeller ile karşılaştırılması

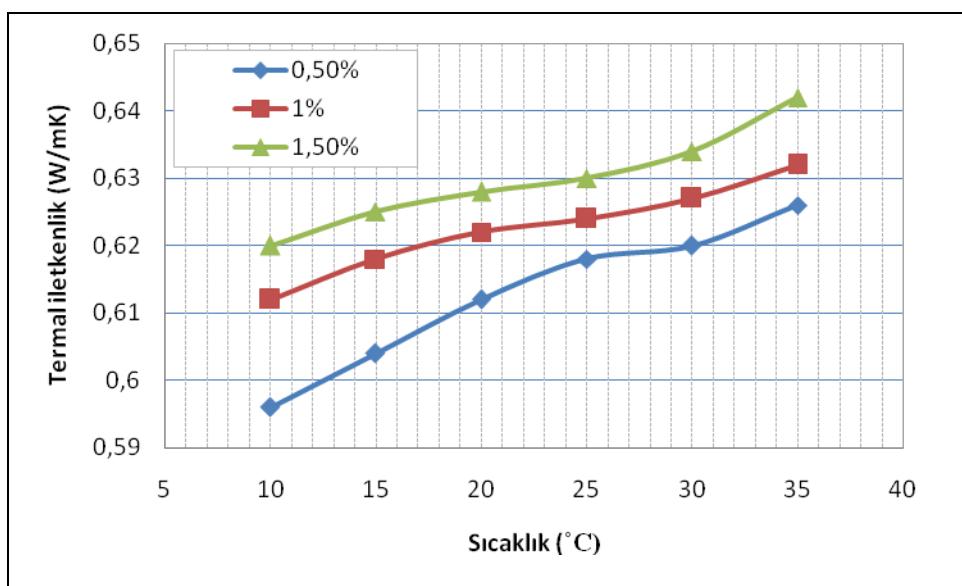


Şek. 2. TiO_2 -saf su nanoakışkanı için termal iletkenliğin modeller ile karşılaştırılması

Şekil 3 ve Şekil 4'te sırasıyla Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanlarının farklı derişimlerde deneysel termal iletkenlik değerlerinin değişimi verilmiştir. 0,005 hacimsel derişimde Al_2O_3 -saf su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri 0,63 W/mK iken, aynı derişimde TiO_2 -saf su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değeri 0,62 W/mK'dır. Ayrıca 0,01 ve 0,015 hacimsel derişimlerinde TiO_2 -saf su nanoakışkanının deneysel termal iletkenlik değerleri sırası ile 0,627 ve 0,634 W/mK'dır. Sonuç olarak hacimsel derişim değerleri arttıkça termal iletkenlikte artış görülmektedir. Nanoakışkanlar açısından ise Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı TiO_2 -saf su nanoakışkanına kıyasla ortalama %7 daha iyi termal iletkenlik sağlamaktadır.



Şek. 3. Al_2O_3 -saf su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi



Şek. 4. TiO_2 -saf su nanoakışkanının termal iletkenliğinin sıcaklık ile değişimi

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, %0.5, %1 ve %1.5 hacimsel derişimlerde hazırlanan Al_2O_3 -saf su ve TiO_2 -saf su nanoakışkanlarının termal iletkenlikleri 10-35°C aralığında ölçülmüştür. Elde edilen deneyel sonuçlar literatürde yer alan farklı modeller ile karşılaştırılmıştır. Çalışma eldeleri şu şekilde özetlenebilir:

1. Sıcaklık ve nanoakışkanın hacimsel derisi arttıkça termal iletkenlik baz akışkana kıyasla kayda değer artış göstermektedir.
2. Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı TiO_2 -saf su nanoakışkanına kıyasla yaklaşık %7 daha iyi termal iletkenlik sergilemiştir.
3. Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı için deneyel verilere en yakın modelleme Hamilton-Crosser modeli iken, TiO_2 -saf su nanoakışkanı için deneyel verilere en yakın model Maxwell modeli olmuştur.
4. Al_2O_3 -saf su nanoakışkanı saf su ile karşılaştırıldığında 30°C'de %0.5, %1 ve %1.5 hacimsel derişimlerde sırasıyla %2.38, %5.67 ve %9.82 daha iyi termal iletkenlik sergilemiştir.
5. TiO_2 -saf su nanoakışkanı saf su ile karşılaştırıldığında 30°C'de %0.5, %1 ve %1.5 hacimsel derişimlerde sırasıyla %1.2, %2.3 ve %3.1 daha iyi termal iletkenlik sergilemiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmayı FEB 2016/22-BAGEP numaralı proje ile destekleyen ve çalışmaların başarı ile yürütülmesinde her türlü desteği sağlayan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] P. K. Das, "A review based on the effect and mechanism of thermal conductivity of normal nanofluids and hybrid nanofluids," *J. Mol. Liq.*, vol. 240, pp. 420–446, 2017.
- [2] Mwesigye A, Meyer JP. Optimal thermal and thermodynamic performance of a solar parabolic trough receiver with different nanofluids and at different concentration ratios. *Appl Energy* 2017;193:393–413.
- [3] D. Wen and Y. Ding, "Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 47, no. 24, pp. 5181–5188, 2004.
- [4] Y. Gao, H. Wang, A. P. Sasmito, and A. S. Mujumdar, "International Journal of Heat and Mass Transfer Measurement and modeling of thermal conductivity of graphene nanoplatelet water and ethylene glycol base nanofluids," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol. 123, pp. 97–109, 2018.
- [5] S. S. Khaleduzzaman, M. R. Sohel, R. Saidur, and J. Selvaraj, "Stability of Al_2O_3 -water Nanofluid for Electronics Cooling System," *Procedia Eng.*, vol. 105, no. Icte 2014, pp. 406–411, 2015.
- [6] Mintsa H A, Roy G, Nguyen C T and Doucet D 2009 New temperature dependent thermal conductivity data for water-based nanofluids *International Journal of Thermal Sciences* 48 363-71.
- [7] S.K. Das, N. Putra, P. Thiesen, W. Roetzel, Temperature dependence of thermal conductivity enhancement for

- nanofluids, *Journal of Heat Transfer* 125 (2003) 567–574.
- [8] S. Lee, S.U.S. Choi, S. Li, J.A. Eastman, Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles, *Journal of Heat Transfer* 121 (1999) 280–289.
- [9] E.A. Masuda H, Teramae K, Hishinuma N, Alteration of thermal conductivity and viscosity of liquid by dispersing ultra-fine particles (dispersion of γ -Al₂O₃, SiO₂, and TiO₂ ultra-fine particles). *Netsu Bussei* 7 (1993) 227–233.
- [10] S. S. Khaleduzzaman, M. R. Sohel, R. Saidur, and J. Selvaraj, “Stability of Al₂O₃-water Nanofluid for Electronics Cooling System,” *Procedia Eng.*, vol. 105, no. Icte 2014, pp. 406–411, 2015.
- [11] R. Agarwal, K. Verma, N. K. Agrawal, and R. Singh, “Sensitivity of thermal conductivity for Al₂O₃nanofluids,” *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 80, pp. 19–26, 2017.
- [12] S. Senthilraja, K. Vijayakumar, and R. Gangadevi, “A Comparative Study On Thermal Conductivity of Al₂O₃ /Water, CuO/Water And Al₂O₃–CuO/Water Nanofluids,” *Dig. J. Nanomater. Biostructures*, vol. 10, no. 4, pp. 1449–1458, 2015.
- [13] K. A. Hamid, W. H. Azmi, M. F. Nabil, and R. Mamat, “Improved thermal conductivity of TiO₂ –SiO₂ hybrid nanofluid in ethylene glycol and water mixture,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 257, p. 012067, 2017.



Investigation of Strength Properties of Clay/Pumice Mixtures Modified with a Biopolymer

Z.N. Kurt Albayrak^{1*}, G. Gencer²

¹*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, Türkiye*

²*Ulaştırma Bölümü, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis, Türkiye*

Abstract

Clayey soils are fine-grained soils that have an important place in geotechnical engineering. Because of their low permeability properties, they are used as impermeable liner in solid waste disposal areas, as impermeability elements in road embankments, and as impermeable clay cores in dams. However, in addition to the impermeability properties of the clayey soils to be used in these areas, it is expected that they have high strength. When clayey soils interacted with water, swelling and settlement behaviors were observed in clayey soils. For these purpose, to eliminate these negative engineering properties of clayey soils, clays are improved with chemical additives or other additives.

In this study, unconfined compressive strength properties of clays with pumice additives interacted with a biopolymer are investigated. For this propose, a natural clay soil sample originated form a clay pit in Erzurum mixed with pumice obtained from Bitlis. Then, pumice/clay mixtures have been modified with a biopolymer (locust bean gum) in different percentages. The experimental results indicated that, the unconfined compressive strength values of clay/pumice mixtures are increased with increasing pumice percentage. Additionally, clay/pumice mixtures interacted with locust bean gum showed higher unconfined compressive strength values than natural clay.

Keywords: Kil, ponza, biyopolimer, serbest basınç dayanımı.

1. GİRİŞ

Kil zeminler sahip oldukları düşük geçirimsizlik özelliklerinden dolayı geoteknik mühendisliğinde toprak dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlayan kil çekirdek olarak, katı atık depolama alanlarında sızdırmazlığı sağlayan eleman olarak kullanılabilmekte olan ince taneli zeminlerdir. Killar kayaçların kimyasal ayrışmasıyla oluşmuş olup suyla karşılaşlıklarında oturma, şişme gibi hacim değişiklikleri gösterebilen, kendine has özelliklerini olan minerallerdir. Geoteknik mühendisliği alanında kullanılacak killerin geçirimsizlik özelliklerinin yanı sıra mukavemetlerinin de yüksek olması beklenmektedir. Ponza, volkanik olaylar sonucunda meydana gelmiş olan boşluklu yapıya sahip bir kayaçtır [1]. İnşaat mühendisliği alanında yaygın olarak hafif yapı malzemesi üretiminde faydalanan pponza, Türkiye'de pek çok yerde bulunmakta olup, yaygın olarak Bitlis İli'nde mevcuttur. Bitlis'te 81.500.000 ton iyi kalitede ve kısmen yıkama işlemi gerektirmeyen ponza yatakları bulunduğu bilinmektedir [2]. Bazı araştırmacılar, killerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek amacıyla kile ponza katarak, ponza kataklı kil zeminlerin mühendislik ve geoteknik özelliklerini araştırmışlardır [3-5].

Biyopolimerler, canlı organizmalardan elde edilen doğal ürünler olup, kullanımları, petrol esaslı materyallere kıyasla çevre üzerinde daha az olumsuz bir etkiye neden olmaktadır [6, 7]. Biyopolimerler bazı araştırmacılar tarafından zemin iyileştirilmesinde kullanılmıştır [8, 9]. Literatürde biyopolimer ile etkileştirilmiş zeminlerin geoteknik özelliklerinin araştırılmasına dair çalışmalar mevcuttur [10-17]. Chang ve Cho yaptıkları çalışmada, biyopolimer oranı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında, optimum su

* Corresponding author. Tel.: +90 442 231 4783.

E-mail address: znkurt@atauni.edu.tr (Z.N.Kurt Albayrak).

muhtevalarında, kıvam limitlerinde ve şişme indeksi parametrelerinde artış meydana geldiğini belirtmişlerdir [11]. Cabalar ve arkadaşları çalışmalarında, biyopolimerlerin kum zeminlerin mukavemetini artırdığını, geçirimliliğini azalttığını bulmuşlardır [13].

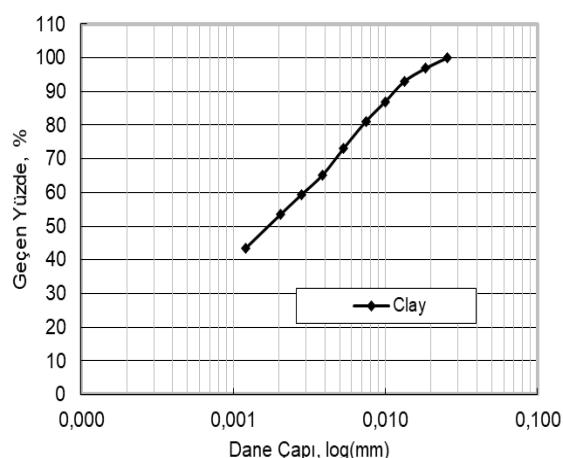
Bu çalışma kapsamında, ponza katkılı kil zeminlerin biyopolimer ile etkileştirilmesi sonucu elde edilen numunelerin mukavemet davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla Erzurum Oltu yöresine ait bir doğal kil öncelikle Bitlis-Ahlat'tan temin edilen ve öğütülen ponza tozu ile belirli yüzdelerde karıştırılmış ve ponza katkılı killer elde edilmiştir. Ardından ponza katkılı killer yine belirli yüzdelerde biyopolimer (keçiboynuzu gam) ile etkileştirilmiş ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiştir. Elde edilen numunelerin öncelikle kompaksiyon parametreleri (optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık) belirlenmiştir. Ardından optimum su muhtevasında sıkıştırılan numuneler serbest basınç deneyine tabi tutulmuş ve numunelerin serbest basınç mukavemetleri bulunmuştur. Sonuçlar, doğal kil numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Kil

Bu çalışmada, kullanılan kil numune (C) Erzurum (Oltu-Narman Havzası) çevresinden getirilmiştir. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Zemin Mekanığı Laboratuvarı'na getirilen killer etüvde (105°C) kurutulup Los Angeles aşındırma cihazında öğütülmüştür.

Hidrometre analizi ASTM D 422'ye göre yapılmış olup analiz sonuçlarında kile ait dane çapı dağılım eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'deki eğriye göre numunenin 2 mikrondan ($0,002 \text{ mm}$) küçük dane miktarı %54 olarak bulunmaktadır. Kilin Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi'ne (USCS) göre yapılan sınıflandırmasında yüksek plastisiteli (CH) kil olduğu görülmüştür [18]. Tablo 1'de kile ait bazı geoteknik özellikler verilmiştir.



Şekil 1. Deneylerde kullanılan doğal kılın granülometri eğrisi

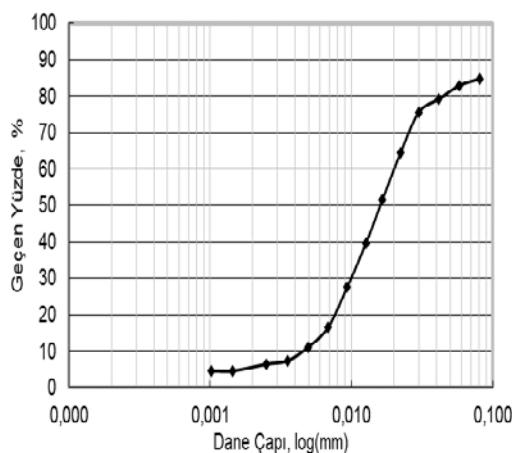
Tablo 1. Kile ait bazı geoteknik özellikler

Geoteknik Özellikler	Doğal Kil
< 0,002 mm, (%)	54
Dane birim hacim ağırlığı, (kN/m ³)	26,09
Likit limit, (%)	72
Plastik limit, (%)	33
Plastisite indis, (%)	39
Zemin Smifi, (USCS)	CH

2.2. Ponza

Ponza volkanik olaylar sonucu oluşmuş, fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli bir kayaçtır. Çalışmada kullanılan Ponza (P) Bitlis-Ahlat'tan temin edilmiş olan asidik bir ponzadır. Asidik ponza, beyaz ve kirli beyaz renkte olup Mohs skaliasına göre sertliği 5-6, yoğunluğu $0,5\text{-}1 \text{ gr/cm}^3$ 'tür [19].

Ocaktan getirilen ponza öğütüllerek ponza tozu haline getirilmiş ve deneylerde ponza tozu 40 No'lu elekten elenerek kullanılmıştır. Ponza tozuna ait dane çapı dağılım eğrisi hidrometre analizi ile elde edilmiştir. Granülometri eğrisi Şekil 2'de sunulmuştur. Ponza tozunun özgül ağırlığı $2,43 \text{ gr/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Deneylerde kullanılan ponzanın granülometri eğrisi

2.3. Biyopolimer - Keçiboynuzu Gam

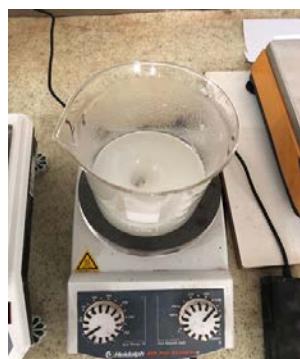
Çalışmada bir biyopolimer türü olan keçiboynuzu gamı (KBG) kullanılmıştır. Keçiboynuzu gam carob gam olarak da adlandırılmaktadır [20]. Keçiboynuzu gamı Ceratonia siliqua isimli keçiboynuzu tohumlarından elde edilen nötral bir galaktomannan polimeridir. Yalnızca soğuk suda çözünür. Keçiboynuzu gamı solüsyonları diğer hidrokolloitler gibi görünür plastiktir. Diğer gamlarla beraber kullanıldığında jellerin, jel dayanımını ve elastikiyetini artırır [21]. Keçiboynuzu gamının sahip olduğu non-iyonik yapıdan dolayı pH, tuzlardan ve ısından etkilenmediği bilinmektedir [22]. Kullanılan keçiboynuzu gamının pH'sı 5-7 arasında, vizkozitesi 2000-3500 arasındadır. Bu özellikler, üretici firmadan (Smart Kimya) temin edilen analiz sertifikasından alınmıştır [23].

2.4. Numunelerin Hazırlanması

Ponza katkılı kil numuneler, öğütülmüş ve elelenmiş doğal kile belli yüzdelerde ponzanın (%5, %15, %25) kuru halde karıştırılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 3'te kil ile ponza kuru halde karıştırılırken görülmektedir. Biyopolimer katkılı numuneler elde edilirken, keçiboynuzu gam mekanik karıştırıcıda 1000 rpm hızda çözünene kadar karıştırılmış (Şekil 4) ve deneylerde kullanılan suyun yüzdesi cinsinden (%0,5, %1, %1,5) hesaplanarak suyla birlikte doğal kil numunelerine ve ponza katkılı kil numunelere ilave edilmiştir.



Şekil 3. Kil ile ponzanın kuru halde karıştırılması



Şekil 4. Manyetik karıştırıcı; Keçiboynuzu gaminin su ile karıştırılması

2.5. Kompaksiyon Deneyleri

Doğal kil numune, ponza katkılı kil numuneler ile bunların keçiboynuzu gam ile etkileştirilmesi sonucu elde edilmiş olan biyopolimerli numunelerin kompaksiyon parametreleri (optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık), ASTM D 698'e göre yapılan Standart proktor deneyi ile belirlenmiştir [24]. Numuneler 117 mm yüksekliğinde 102 mm çapındaki metal silindir kompaksiyon kalıbında üç tabaka halinde her tabakaya 25'er vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır.

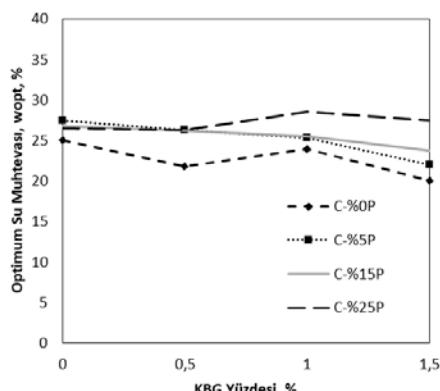
2.6. Serbest Basınç Deneyleri

Doğal kil numune, ponza katkılı kil numuneler ile bunların keçiboynuzu gam ile etkileştirilmesi sonucu elde edilmiş olan biyopolimerli numuneler üzerinde ASTM D 2166 esas alınarak serbest basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir [25]. Serbest basınç mukavemetlerini belirlemek için numuneler, kompaksiyon deneyleri sonucu elde edilmiş olan optimum su muhtevalarında sıkıştırılmıştır. Optimum su muhtevasında sıkıştırılan doğal kil numune, ponza katkılı kil numuneler ile bunların keçiboynuzu gam ile etkileştirilmesi sonucu elde edilmiş olan biyopolimerli numuneler 35 mm çapında, 70 mm yüksekliğindeki metal silindirik tüplerle alınmış, ardından silindir tüplerden manuel hidrolik numune çıkarma krikosu yardımıyla çıkarılarak serbest basınç deneylerinde kullanılmıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

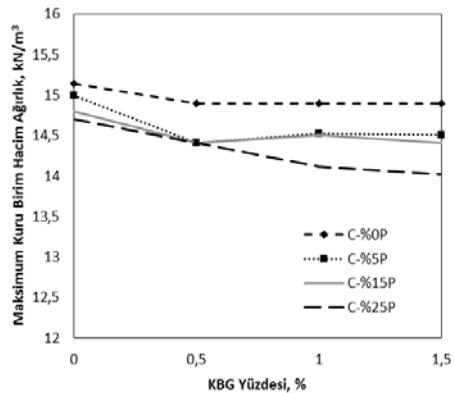
3.1. Kompaksiyon Deney Sonuçları

Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla doğal kilin ve ponza katkılı kil numunelerin optimum su muhtevası değerlerinde meydana gelen değişim Şekil 5'te görülmektedir. Şekil 5 incelendiğinde keçiboynuzu gam yüzdesinde meydana gelen artışla ponza katkılı numunelerin optimum su muhtevalarında önemli bir değişim meydana gelmediği görülmüştür. Taytak ve arkadaşları yapıkları çalışmada [26] bentonit-kum-kaolin karışımımlarına farklı yüzdelerde biyopolimer katarak gerçekleştirdikleri kompaksiyon deneyleri sonucunda, optimum su muhtevalarında biyopolimer yüzdesindeki değişimle önemli bir değişim meydana gelmediğini belirtmişlerdir.



Şekil 5. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla optimum su muhtevasında meydana gelen değişim

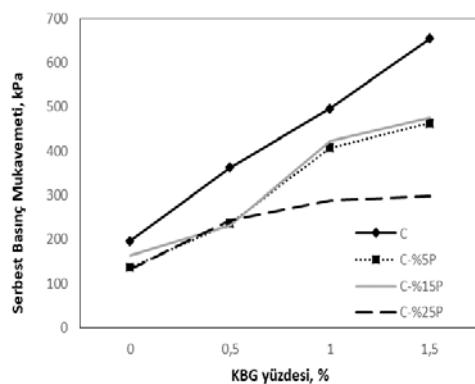
Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla katkısız ve ponza katkılı numunelerin maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında meydana gelen değişim Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 6 incelendiğinde keçiboynuzu gam oranı arttıkça maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeninin, biyopolimer solüsyonunun vizkozitesinde meydana gelen artıştan ve zemin partiküllerinin solüsyonun viskoz yapısına bağlı olarak daha dispers bir yapıya kavuşmuş olmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir [27]. Benzer şekilde Saltan ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında [28] ponza katkısındaki artışla kılın maksimum kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma meydana geldiğini ifade etmişlerdir.



Şekil 6. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla maksimum kuru birim hacim ağırlıklarda meydana gelen değişim

3.2. Serbest Basınç Deneyi Sonuçları

Numuneler üzerinde gerçekleştirilen serbest basınç mukavemeti deney sonuçları Tablo 2'de görülmektedir. Keçiboynuzu gam yüzdesinde meydana gelen artışla doğal kılın ve ponza katkılı kil numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim ise Şekil 7'de sunulmuştur.



Şekil 7. Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen değişim

Tablo 2. Numunelerin serbest basınç deneyi sonuçları

Numune adı	Serbest Basınç Mukavemeti (qu), kPa
C-%0KBG	196,5
C-%0,5KBG	363
C-%1KBG	496,5
C-%1,5KBG	654,5
C-%5P-%0KBG	137,5
C-%5P-%0,5KBG	236
C-%5P-%1KBG	408
C-%5P-%1,5KBG	463,5
C-%15P-%0KBG	163
C-%15P-%0,5KBG	231
C-%15P-%1KBG	423,5
C-%15P-%1,5KBG	475,5
C-%25P-%0KBG	132,5
C-%25P-%0,5KBG	243
C-%25P-%1KBG	289
C-%25P-%1,5KBG	297,5

Tablo 2 ve Şekil 7 incelendiğinde keçiboynuzu gam katkı yüzdesinde meydana gelen artışla ponza katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde artış meydana geldiği görülmüştür. Biyopolimerler genel olarak elektrik yükü büyük özgül yüzeylelere sahip oldukları için ince daneli zeminlerle etkili bir şekilde etkileşime girebilirler. Buna bağlı olarak yüksek mukavemetli biyopolimer-zemin matrisleri meydana gelir [29]. Katkılı numuneler de biyopolimer yüzdesinin artmasıyla serbest basınç mukavemetlerinde meydana gelen artışın biyopolimerli boşluksuyunun viskozitesinin yüksek olmasından ve biyopolimer ile kil partikülleri arasında bağ oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [30]. Chang ve Cho çalışmalarında beta-glucan kullanarak zeminlerin mukavemetinin arttığını belirtmişlerdir [31]. Chang ve arkadaşları çalışmalarında kum ve kil zeminleri zantan gam ile iyileştirmiş, her iki zemin türü için de zantan gamin mukavemeti artırıcı bir etkisi olduğunu belirtmişlerdir [32]. İlaveten ponza katkısı olmayan doğal kil de serbest basınç mukavemetinde daha fazla artış meydana geldiği görülmüştür. Bunun nedeninin biyopolimerlerin ince daneli zeminlerle daha iyi etkileşime girmesi olduğu söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında, ponza katkılı kil zeminlerin biyopolimerler ile etkileştirilmesi sonucu elde edilen numunelerin mukavemet davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla Erzurum Oltu yöresine ait doğal kil

öncelikle Bitlis-Ahlat'tan temin edilen ve öğütülen ponza tozu ile belirli yüzdelerde karıştırılmış ve ponza katkılı killer elde edilmiştir. Ardından ponza katkılı killer yine belirli yüzdelerde biyopolimer (keçiboynuzu gam) ile etkileştirilmiş ve biyopolimer katkılı kil/ponza numuneleri elde edilmiştir. Numuneler üzerinde standart proktor deneyleri ve serbest basınç mukavemeti deneyleri gerçekleştirılmıştır. Deneysel sonuçlar, katkısız kil numune sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

-Numuneler üzerinde gerçekleştirilen standart proktor deneyleri ile katkısız ve ponza katkılı kil numunelerin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri belirlenmiştir. Buna göre keçiboynuzu gam yüzdesinde meydana gelen artışla ponza katkılı killerin optimum su muhtevalarında önemli bir değişim gözlenmemiştir, maksimum kuru birim hacim ağırlıklarında ise azalma meydana geldiği görülmüştür.

-Keçiboynuzu gam yüzdesindeki artışla katkısız ve ponza katkılı numunelerin serbest basınç mukavemetlerinde artış meydana gelmiştir.

Killerin serbest basınç mukavemetlerinin iyileştirilmiş olması killerin geoteknik mühendisliği alanında kullanılabilirliği açısından önemli bir özelliktir. Ancak, killerin su ile karşılaşıklarında şişme, oturma gibi hacim değişiklikleri gösterdiği bilinmekte olup biyopolimerlerin ponza katkılı killerin geoteknik özelliklerini üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılması için ilerleyen çalışmalarda, şişme basıncı, hidrolik iletkenlik gibi bir takım özelliklerinin de belirlenmesi gereği düşünülmektedir.

REFERENCES

- [1] Gündüz, L., Rota, A., Hüseyin, A., Türkiye ve Dünyadaki Pomza Oluşumlarının Malzeme Karakteristiği Analizi, 4.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir Türkiye, 18-19 Ekim, 2001.
- [2] Bitlis İli Maden ve Enerji Kaynakları, (2017), (online), http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden_potansiyel_2010/Bitlis_Madenler.pdf
- [3] Keskin, S.N., Çimen, Ö., Killi Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesinde Pomza Kullanımının Araştırılması, I. Isparta Pomza Sempozyumu, Isparta Türkiye, p.97-101, 1997.
- [4] Çimen, Ö., Pomzanın Mühendislik Karakteristikleri ve Yüksek Plastositeli Bir Kilin Stabilizasyonunda Kullanılması Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, Isparta Türkiye, 15-17 Eylül, p.251-257, 2005.
- [5] Kalay, E., Sıkıştırılmış Yüksek Plastositeli Kil Zemin Stabilizasyonunda Pomza, Mermer Tozu ve Kireçin Kullanılması, Y. Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta Türkiye, 2010.
- [6] Van de Velde K., Kiekens P., Biopolymers: Overview of Several Properties and Consequences on Their Applications, Polym. Test 21 (4); 433–442, 2002.
- [7] Petersson, L., Oksman, K., Biopolymer Based Nanocomposites: Comparing Layered Silicates and Microcrystalline Cellulose As Nanoreinforcement, Composites Science and Technology 66; 2187-2196, 2006.
- [8] Biju, M.S., ArnpalliD.N., Biopolymer Modified Soil: Prospects of a Promising Green Technology, Indian Geotechnical Conference IGC2016, Chennai India, 15-17 Dec., 2016.
- [9] Aminpour, M., O'Kelly, B.C., APPLICATIONS OF BIOPOLYMERS IN DAM CONSTRUCTION AND OPERATION ACTIVITIES, Second International Dam World Conference, Lisbon Portugal, 14-24 Apr., p.937-946, 2015.
- [10] Ayhan, A., Biyopolimer Katkıları ile Zeminlerin Mühendislik Özelliklerinin İyileştirilmesi, Y. Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa Türkiye, 2011.
- [11] Chang, I., Cho, G-C., Geotechnical behavior of a beta-1,3/1,6-glucan biopolymer-treated residual soil, Geomechanics and Engineering 7 (6); 633-647 2014.
- [12] Taytak, B., Pulat, H.F., Yukselen-Aksoy, Y., Improvement of engineering properties of soils by biopolymer additives, 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nicosia North Cyprus, 28-30 June, p.851-856 2012.
- [13] Cabalar, A.F., Wiszniewski, M., Skutnik, Z., EFFECTS OF XANTHAN GUM BIOPOLYMER ON THE PERMEABILITY, ODOMETER, UNCONFINED COMPRESSIVE AND TRIAXIAL SHEAR BEHAVIOR OF A SAND, Soil Mechanics and Foundation Engineering 54 (5); 356-361, 2017.
- [14] Qureshi, M.U., Chang, I., Al-Sadarani, K., Strength and durability characteristics of biopolymer-treated desert sand, Geomechanics and Engineering 12 (5); 785-801, 2017.
- [15] Akbulut, N., Cabalar, A.F., Effects of Biopolymer on Some Geotechnical Properties of a Sand, New Frontiers in Geotechnical Engineering 243; 28-37, 2014.
- [16] Lee, S., Chang, I., Chung, M-K., Kim, Y., Kee, J., Geotechnical shear behavior of Xanthan Gum biopolymer treated sand from direct shear testing, Geomechanics and Engineering 12 (5); 831-847, 2017.

- [17] Kurt Z.N., Akbulut, S., THE DYNAMIC SHEAR MODULUS AND DAMPING RATIO OF CLAY NANOCOMPOSITES, *Clays and Clay Minerals* 62 (4); 313–323 2014.
- [18] Kurt Albayrak, Z.N., Gencer, G., Biyopolimer İle Etkileştirilmiş Kil/Ponza Karışımlarının Kivam Özelliklerinin Araştırılması. Investigation of consistency properties of Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis), Bitlis Türkiye, 27-29 Oct., 2017.
- [19] Varol, O.O., Bitlis ve Van İllerinde Ponza Madenciliğine Genel Bir Bakış, *Bilimsel Madencilik Dergisi* 55 (3); 27-34, 2016.
- [20] Lopes da Silva J.A., Gonçalves, M.P., Rao M.A., Influence of temperature on the dynamic and steady-shear rheology of pectin dispersions, *Carbohydrate Polymers* 23 (2); 77-87, 1994.
- [21] Maier, M., Anderson, M., Karl, C., Magnuson, K., Guar, locust bean, tara, and fenugreek gums. In: *Industrial Gums: Polysaccharides and their Derivatives* (3rd edition), New York ABD, p. 205-213, 1993.
- [22] Barak, S., Mudgil, D., Locust bean gum: Processing, properties and food applications—A review, *International Journal of Biological Macromolecules* 66 (2014); 74–80, 2014.
- [23] Kurt Albayrak, Z.N., Laboratuvara Geliştirilen Nanokil-Kompozitlerin Bazı Geoteknik Özelliklerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum Türkiye, 2014.
- [24] ASTM D 698-12, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort, ASTM West Conshohocken, PA., 2012.
- [25] ASTM D 2166-16, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, ASTM West Conshohocken, PA., 2016.
- [26] Taytak, B., Pulat, H.F., Yukselen Aksoy, Y., Improvement of engineering properties of soils by biopolymer additives, 3rd International Conference on New Developments in Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Nicosia North Cyprus, 28-30 June, 2012.
- [27] Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., Kitazume, M., Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 9 (2); 329-339, 2017.
- [28] Saltan, M., Kavlak, Y., Ertem, F.S., Utilization of Pumice Waste for Clayey Subgrade of Pavements, *J. Mater. Civ. Eng.* 23 (12); 1616-1623, 2011.
- [29] Chang, I., Im, J., Cho, G-C., 2016. Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-Friendly and Sustainable Geotechnical Engineering, *Sustainability*, 8 (3); 251, 2016.
- [30] Chen, R., Zhang, L., Budhu, M., Biopolymer Stabilization of Mine Tailings, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 139(10); 1802-1807, 2013.
- [31] Chang, I., Cho, G-C., Geotechnical behavior of a beta-1,3/1,6-glucan biopolymer-treated residual soil, *Geomechanics and Engineering* 7 (6); 633-647, 2014.
- [32] Chang, I., Im, J., Prasidhi, A.K., Cho, G-C., Effects of Xanthan gum biopolymer on soil strengthening, *Construction and Building Materials* 74 (2015); 65–72, 2015.



An Experimental Study on Humic Acid Extraction from Arguvan (Malatya) Lignite

M. Birinci^{1*}, K. Şentürk¹

¹ İnönü Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya, Türkiye

Abstract

This study deals with the extraction of humic acid (HA) from low-grade lignite of Arguvan (Malatya-Turkey). The aim of the study was to determine the ideal leaching conditions for maximizing the extract of humic acid. For this purpose, the effect of some critical operating parameters (e.g. concentration of extractant (NaOH), leaching temperature, leaching time, solution/solid ratio,) on the yield of humic acid were investigated and an ideal value for each parameter was determined. The chosen leaching parameters were (i) NaOH concentration (0.25, 0.5, 1, 2, 3 M), (ii) leaching temperature (25, 40, 60, 75 °C, (iii) solution/solid ratio (40/1, 20/1, 10/1, 5/1, 2.5/1 mL/g), (iv) leaching time (0.5, 1, 1.5, 2, 4, 6 hour), while stirring speed (600 rpm) and particle size (-212 µm) was taken as constant parameter. Leaching experiments were performed in alkaline media prepared using NaOH solution, and atmospheric pressure. The humic acid content of extracted products was determined using the California Department of Food and Agriculture (CDFA) method. The ideal conditions, in which the highest yield of humic acid was obtained, were found to be NaOH concentration 0.5 M, solution/solid ratio 20 mL/g, leaching temperature 75 °C, leaching time 4 hour.

Keywords: Humic acid, lignite, alkaline extraction, leaching conditions.

1. GİRİŞ

Türkiye'de bilinen toplam kömür rezervinin çok büyük kısmını linyitler oluşturmaktadır. Genç ve kömürleşme derecesi düşük olan bu kömürler, nem ve kül değerlerinin nispeten yüksek olması nedeniyle düşük kaliteli kömürler sınıfında incelemektedir. Bu kömürlerin büyük bir kısmı halen işinma ve elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaktadır. Bazı kömürler, fakir topraklar için karbon (C), hidrojen (H), azot (N), kükür (S), potasyum (K) ve fosfor (P) gibi önemli mikro besin öğelerini sağlar. Bununla birlikte özellikle nispeten sağlam derinliklerde oluşan ve oksitlenmiş genç kömürlerin hümik madde içeriği (humik asit, fulvik asit ve humin) dikkat çekmektedir. Bu tür kömürlerden elde edilen hümik maddeler toprak ve bitki için gereklili olan organik bileşikleri içermesi nedeniyle gübre kaynağı olarak değerlendirilmeleri mümkün olmaktadır [1-3].

Diğer taraftan tarımsal alanda toprak kalitesini iyileştirme ve ürün verimini artırma yönündeki çalışmalar günümüzde de devam etmektedir. Bu amaç doğrultusunda birtakım kimyasal gübreler geliştirilmiştir. Ancak kimyasal gübreler hem bitkiler tarafından yeterince kullanılabilirken hem de topraktan yağmur, kar ve sulama gibi etkilerle uzaklaşıp yer altı kaynak sularına, deniz ve göl sularına karışarak ekolojik sorunlara yol açtığı da artık bilinen bir gerçekktir. Bu nedenle son yıllarda organik gübrelerin önem kazandığı ve organik gübre kullanımının yaygınlaşarak arttığı görülmektedir. En önemli organik maddelerden olan hümik asidin bitki gelişimi ve ürün verimi üzerinde olumlu etkilerinin olduğu yapılan pek çok araştırmaya belirlenmiştir [4-6]. Ayrıca hümik maddeler (humik asit, fulvik asit ve humin) özellikle iyon değiştirmeye, besinleri şelatlama, ağır metalleri tutma ve antioksidan özelliklerinden dolayı daha pek çok kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım

* Corresponding author. Tel.: +90 422-377-4775; fax: +90 422-341-0046

E-mail address: mustafa.birinci@inonu.edu.tr

alanlarının başında tarım/ziraat olmak üzere, kimya, gıda, kozmetik, arıtım ve ilaç sektörleri gibi önemli endüstri kolları gelmektedir [7].

Linyitlerden hümik asit üretim yöntemleri, bazen tek bazen de iki veya daha fazla aşamalı olarak, doğal yoldan okside olmuş veya yapay yoldan belli basınç ve sıcaklıkta okside edilmiş linyitin uygun bir asit ile reaksiyona sokulması, ardından bir alkali ile bazik hale getirildikten sonra, çözünmeyen kısmın szüllererek ortamdan uzaklaştırılması, çözeltinin ise asitlendirilip hümik asit şeklinde çöktürülmesi esasına dayanmaktadır. Bununla birlikte hümik asit ekstraksiyonunda ve hümik madde analizinde uluslararası düzeyde kabul edilmiş bir standart yöntem bulunmamaktadır. Bu konuya ilgili olarak Kural [8] tarafından yapılan bir çalışmada ISO, Macar ve Kreulen yöntemleri incelenmiş ve linyitlerden humik asit elde edilmesinde en uygun yöntemin Kreulen Yöntemi [9] olduğunu bilgisi aktarılmaktadır [10].

Hümik madde analizinde standartlaşmış bir yöntem olmamakla birlikte günümüzde kullanımını bir hayli yaygın olan üç yöntemin ön planda olduğu görülmektedir. bilinmektedir. Literatürde bu yöntemlerden (i) kolorimetrik yöntem, (ii) kantitatif yöntem/gravimetrik yöntem (ki klasik yöntem olarak da bilinmektedir), (iii) yarı kantitatif yöntem/Kaliforniya Gıda ve Tarım Bakanlığı (CDFA) yöntemi olarak bahsedilmektedir. Her üç yöntem de seyreltik alkali çözeltilerinde hümik asidin çözünürlüğü temeline dayanmaktadır. Fataftah vd., [11] tarafından yapılan bir çalışmada sıvı hümik asit örneklerinde CDFA, gravimetrik yöntem olarak BaCl₂ yöntemi ve spektrofotometrik yöntem karşılaştırılmış ve en yüksek humik asit içeriğini BaCl₂ yönteminin verdiği sunucuna ulaşılmıştır. Hümik asit analiz yöntemleri Lamar ve Talbot [12] tarafından ayrıntılı olarak ele alınıp karşılaştırılmıştır. Ülkemizde ise hümik madde analizlerinin TSE 5869 No'lu "Kahverengi Kömürler ve Linyitlerde Humik Asit Tayini" yöntemi kullanılarak yapıldığı bilinmektedir.

Bu çalışmada, Malatya ili Arguvan bölgesi linyitinden CDFA yöntemiyle hümik asit üretim olanakları araştırılmıştır. CDFA yönteminin kullanıldığı ekstraksiyon deneylerinde önemli görülen bazı çalışma parametrelerinin hümik asit verimi üzerine etkisi incelenmiş ve elde edilen bulgular hakkında bilgiler verilmiştir.

2. MATERİYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılmak üzere Arguvan (Malatya) ilçesinde kapalı ocak kömür işletmeciliği yapan özel bir madencilik şirketine ait sahadaki kömür damarından yaklaşık 50 kg numune alınmıştır. En iri parça boyutu yaklaşık 10 cm olan kömür numunesi laboratuvar ortamında iki kademe kırmış işlemiyle 2 mm'nin altına indirilmiştir. Kırılmış kömür konileme-dörtleme yöntemiyle daha küçük parçalara ayrılmıştır. Bu parçalardan dördü ileriye çalışmaları için planlan ekstraksiyon deneylerinde kullanılmak üzere sırasıyla -850 µm, -425 µm, -212 µm ve -106 µm boyutlarına öğütülmüş ayrı ayrı torbalanmıştır. Bu çalışmada ekstraksiyon deneyleri için -212 µm boyutlu kömür numunesi kullanılmıştır. Öğütülmüş kömür numunesi, ekstraksiyon işlemi öncesi, 105 °C sıcaklıkta 1 saat kadar etüde kurutularak higroskopik nem uzaklaştırılmış ve deneylerin tümü kuru kömür numuneleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Kömür örneğinin kısa analiz sonuçlarına göre, kuru bazda kül oranının %22.26, uçucu madde oranının %44.60, sabit karbon oranının %28.27, üst ıslı değerinin 5463 kcal/kg olduğu tespit edilmiştir. Kül ve uçucu madde analizi ASTM D7582 ve ıslı değer analizi ASTM D5865'e göre yapılmıştır.

2.2. Yöntem

Hümik asitler alkali ortamlarda çözünürlüğü yüksek alkali tuzlara dönüştürmektedir. Deneylerde hümik asit eldesi için gereken alkali ortam kolay bulunabilir ve ucuz olması nedeniyle NaOH ile sağlanmıştır. Yapılan pek çok araştırmada linyit, turba, leonardit gibi kaynaklardan doğrudan elde edilen karışımalar (hümüt) asitlendirilerek hümik asit çöktürülmüş ve fülvik asit sıvı fazda elde edilmiştir. Deneylerde hümik asit çöktürmesi için derişik HCl (%37) kullanılmıştır.

Çalışmaya konu olan linyit numunesinden hümik asit üretiminde; NaOH derişimi, ortam sıcaklığı, ekstraksiyon süresi, çözelti-katı oranı, gibi çalışma parametrelerinin etkilerinin belirlenmesi amacıyla bir dizi deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneyel çalışmalarla sabit tutulan ve araştırılan parametreler Çizelge 1'de verilmiştir. 150 mL erlen içerisinde önceki belirlenen katı konsantrasyonunda hazırlanan çözelti-kömür karışımı, ısıticili manyetik karıştırıcı kullanılarak belirli sıcaklık ve sürelerde liq işleme tabi tutulmuştur. Çözündürme işlemi sonrasında kömür-cözelti karışımı santrifüj kullanılarak szünlümüş ve hümik asit içeren szüntü ayrılmıştır. Szüntüdeki hümik asit içeriğini tespit etmek amacıyla CDFA yöntemi tercih edilmiştir. Yöntemin uygulama prosedürü literatürde ayrıntılı olarak anlatılmaktadır [12-14]. Eşitlik 1'de verildiği üzere; CDFA yöntemiyle elde edilen kuru hümik asit miktarı, liq işlemeye giren kuru kömür numunesi ağırlığına bölünerek %hümik asit oranı tespit edilmiştir.

$$\text{Hümik asit (\%)} = \frac{m}{n} \times 100 \quad (1)$$

Bu eşitlikte m: çöktürülmüş hümik asitin kuru ağırlığı (g), n: liç işlemeye giren kuru kömür ağırlığı (g)'dır.

Çizelge 1. Alkali liç çalışma parametreleri.

Çalışılan parametreler	Değer aralığı
NaOH derisi (M)	0.25, 0.5, 1, 2, 3
Liç sıcaklığı (°C)	25, 40, 60, 75
Çözelti/katı oranı (mL/g)	40/1, 20/1, 10/1, 5/1, 2.5/1
Liç süresi (saat)	0.5, 1, 1.5, 2, 3, 4, 6
Tane boyutu (µm)	-212*
Karıştırma hızı (d/d)	600*

*Karıştırma hızı ve tane boyutu sabit tutulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

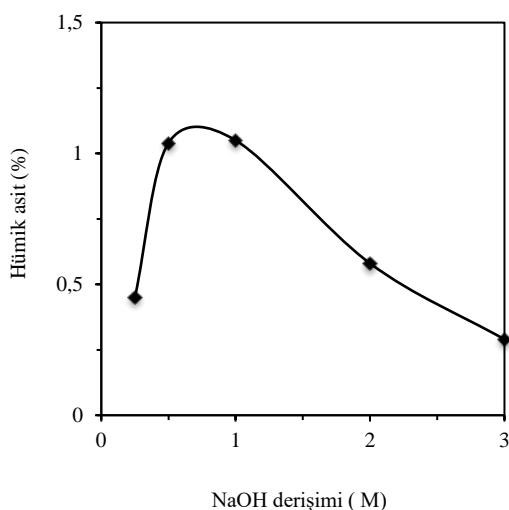
Malatya-Arguvan linyitinden hümik asit ekstraksiyon verimi üzerine NaOH derisi, liç sıcaklığı, liç süresi, çözelti:kati oranı, tane boyutu parametrelerinin etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda kısaca özetlenmiştir.

3.1. NaOH Derisinin Etkisi

Bir liç işleminde liç verimini etkileyen en önemli parametrelerden birisi çözücü derisimidir. Bu nedenle deneysel çalışmalarla ilk aşamada, NaOH derisinin hümik asit eldesi verime etkisi araştırılmıştır. Beş farklı NaOH derisiminde gerçekleştirilen liç işlemi ile elde edilen sonuçlar Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1 incelendiğinde, ortamındaki alkali konsantrasyonu artışı ile birlikte yaklaşık 1 M konsantrasyona kadar hümik asit veriminde artış belirlenmiştir. Ancak daha yüksek konsantrasyonlarda hümik asit verimi düşmektedir. 0.5 ve 1 M NaOH konsantrasyonlarında elde edilen hümik asit verim yüzdeleri (~%1) birbirlerine çok yakın olması nedeniyle ve kimyasal sarfiyatını da azaltmak amacıyla sonraki deneylerde NaOH derisi 0.5 M alınarak sabit tutulmuştur.

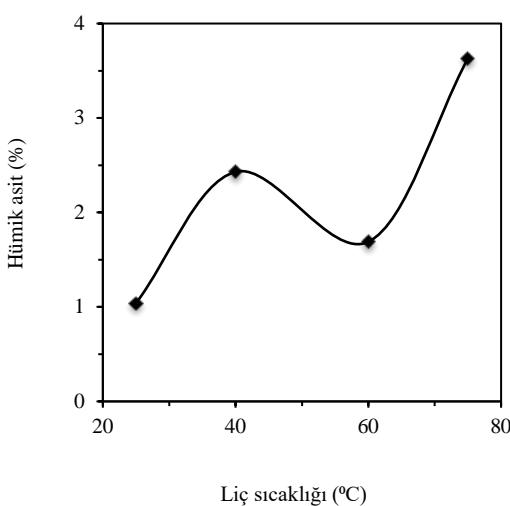
3.2. Liç Sıcaklığının Etkisi

Bu grup deneyler için sıcaklık oda sıcaklığından (~25 °C) başlanarak 40, 60 ve 75 °C sıcaklıklarda deneyler yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçların verildiği Şekil 2 incelendiğinde, genel olarak sıcaklık artışının hümik asit verimi üzerinde olumlu bir etki gösterdiği belirlenmiştir. Oda sıcaklığında gerçekleştirilen liç işlemi sonucu hümik asit verimi yaklaşık %1 iken, 75 °C sıcaklığında gerçekleştirilen liç işlemi sonucu hümik asit verimi yaklaşık dört kat artışla %4'e yaklaşmıştır. Bu artış trendinin daha yüksek sıcaklıklarda devam etmesi ve hümik asit veriminde bir miktar daha artış olabileceği düşünülmektedir. Ancak bu konuda yapılan bazı çalışmalarda bu artış miktarının çok az olduğu görülmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıklarda hümik asitlerin yapısında bazı değişimlerin olduğu bilindiğinden daha yüksek sıcaklıklara çıkmamıştır.



Şekil 1. NaOH derişiminin hümik asit verimine etkisi (Liç koşulları: Liç sıcaklığı 25 °C, liç süresi 3 saat, çözelti:katı oranı

6 mL/g, tane boyutu -212 µm, karıştırma hızı 600 d/d)



Şekil 2. Liç sıcaklığının hümik asit verimine etkisi (Liç koşulları: NaOH derişimi 0.5 M, liç süresi 3 saat, çözelti/katı oranı

6 mL/g, tane boyutu -212 µm, karıştırma hızı 600 d/d)

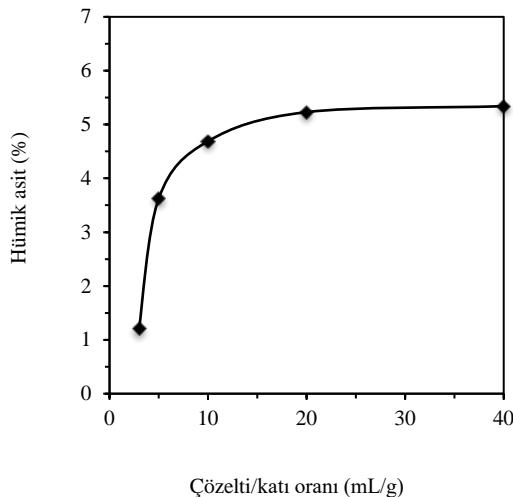
3.3. Çözelti/Katı Oranının Etkisi

Bu deney grubu için NaOH ile oluşturulan alkali çözelti miktarı (120 mL) sabit tutulmuş, buna karşılık katı miktarı (kömür numunesi) değiştirilerek çözelti/katı oranı ayarlanmıştır. Buna göre katı miktarı azaldıkça çözelti/katı oranı artmaktadır. Bir başka ifadeyle birim hacimdeki alkali çözelti başına düşen katı miktarı azalmış olmaktadır. Kimyasal çözücü maliyeti düşünüldüğünde çözelti/katı oranının mümkün olduğunca düşük olması arzu edilir. Yani çözündürülecek katı miktarının fazla, bu miktar katı en yüksek verimde çözücek çözücü miktarının az olması endüstriyel uygulamalarda istenen bir durumdur. Şekil 3'de görüldüğü gibi çözelti/katı oranı artıkça hümik asit yüzdesi de artmaktadır. Çözelti/katı oranı 3 civarlarında elde edilen hümik asit verimi hemen hemen %1 iken, bu oran 20 olduğunda (120 mL NaOH çözeltisi+6 g kömür) liç işlemi sonucu elde edilen hümik asit oranı %5'in üzerine çıkmıştır.

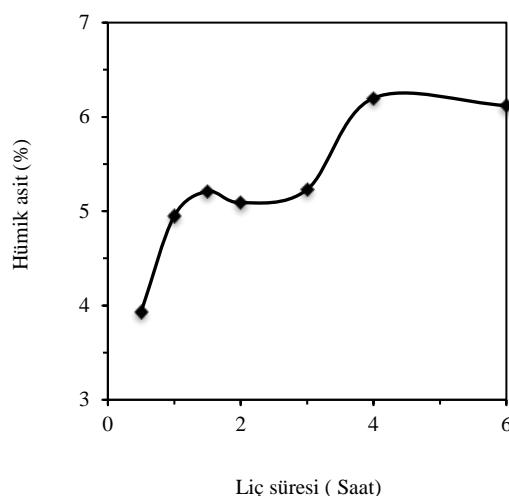
3.4. Liç Süresinin Etkisi

Liç süresinin etkisini incelemek üzere, bir önceki deneylerde belirlenen uygun koşullar sabit tutularak farklı sürelerde deneyler yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 4 incelendiğinde, liç süresinin

ekstraksiyon işleminde önemli bir parametre olduğunu ve hümik asit verimi üzerinde ciddi bir iyileşme sağladığını çok net bir şekilde göstermektedir.



Şekil 3. Çözelti/katı oranının hümik asit verimine etkisi (Liç koşulları: NaOH derişimi 0.5 M, liç sıcaklığı 75 °C, liç süresi 3 saat, tane boyutu -212 µm, karıştırma hızı 600 d/d)



Şekil 4. Liç süresinin hümik asit verimine etkisi (Liç koşulları: NaOH derişimi 0.5 M, liç sıcaklığı 75 °C, çözelti/katı oranı 20 mL/g, tane boyutu -212 µm, karıştırma hızı 600 d/d)

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Arguvan (Malatya) bölgesi düşük kaliteli linyit numunesinden hümik asit üretimi amacıyla bir dizi alkali liç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde özellikle alkali derişimi, liç sıcaklığı, çözelti/katı oranı, liç süresi parametrelerin hümik asit verimine etkisi incelenmiştir. Elde edilen bulgular, bu parametrelerin her birinin hümik asit verimini önemli oranda etkilediğini ve bu bakımdan eşit öneme sahip olduğunu göstermiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda Arguvan kömüründen alkali liç yöntemiyle hümik asit eldesinin mümkün olabileceği görülmektedir. Bununla birlikte hümik asit verimi nispeten düşük çıkmıştır. Elde edilen en yüksek hümik asit oranı %6-7 kadardır. Tane boyutu ve karıştırma hızı gibi diğer liç parametrelerinin de denenmesi durumunda, bu oranın bir miktar daha iyileştirilebileceği düşünülmektedir. Ayrıca kömür içerisindeki inorganik safsızlıkların uygun yıkama yöntemleriyle uzaklaştırılması durumunda, hümik asit veriminin daha da artırılabilceği öngörmektedir. Bu öngörü kapsamında planlanan deneylere devam edilecektir. Bu çalışmadan elde edilecek tüm bulgu ve veriler olgunlaştırılıp değerlendirildikten sonra, sonuçların ayrı bir çalışma olarak ileriki zamanlarda yayınlanması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, İnönü Üniversitesi tarafından desteklenen Bilimsel Araştırma Projesi (Proje No: FYL-2018-1397) kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar, sağladıkları destek ve katkılarından dolayı İnönü Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Tuncali, E., Çiftci, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Ayçık, H., Gencer, Z. ve Sahin, N., Türkiye Tersiyer kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri, *Maden Tektik ve Arama Yayınları*, Ankara, s.370-371, 2002.
- [2] Özkan, S., Özkan, S. G., Investigation of Humate Extraction from Lignites, *International Journal of Coal Preparation and Utilization* 37(6); 285-292, 2017.
- [3] Ay, F., Hümik Asit ve Hümik Asit Kaynaklarının Jeolojik ve Ekonomik Önemi, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi *Fen Bilimleri Dergisi (CFD)* 36(1); 28-51, 2015.
- [4] Karaca, A., Turgay O. C., Tamer N., Effect of humic deposit (gyttja) on soil chemical and microbiological properties and heavy metal availability, *Biology Fertility Soils* 42(6); 585-592, 2006.
- [5] Turgay, O. C., Tamer, N., Türkmen, C., Karaca, A., Gidya ve ham linyit materyallerinin toprağın biyolojik özelliklerine etkisini değerlendirmede toprak mikrobiyal biyokütlesi, *3. Ulusal Gübre Kongresi Bildiri Kitabı*, cilt:1, s.827-836, Tokat, 2004.
- [6] TKİ web sitesi, (2018), <http://www.tkihumas.gov.tr/humas/pdf/Bitki.pdf>.
- [7] Sönmez, Y. M., Türkarslan, M., Leonarditlerden Tip ve Kozmetikte Kullanılabilen Saflıkta Etil Fülvik Ester Üretim Prosesi, *I. Uluslararası Katılımlı Ulusal Humik Madde Kongresi*, 26-28 Ekim 2014 , Kahramanmaraş, s.11-14, 2014.
- [8] Kural, O., Türkiye Linyitlerinde Hümik Asit Dağılımının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, Maden Müh. Böl., İstanbul, s.115, 1978.
- [9] Kreulen, D. J. W., Elements of Coal Chemistry, Nijgh and Van Ditmar, N.V., *Rotterdam*, p.61, 1948.
- [10] Kalinbacak, K., Madenoğlu, S., Organik Materyallerde Bazı Humik Asit Analiz Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Uygun Yöntemlerin Seçimi, *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi* (2012-1); 499-508, 2012.
- [11] Fataftah, A.K., Walia, D.S., Grains, B., Katob, S. I., A Comparative Evaluation of known Liquid Humic Acid Analysis Methods. *Humic Substances: Structures, Models*. Arctech, Inc, *Chantilly*, VA 20151. USA, 2001.
- [12] Lamar, R. T., Talbot, K. H., Critical Comparison of Humic Acid Test Methods, *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (40); 2309-2322, 2009.
- [13] Anonymous, 1996. Humic acid method. California Department of Food and Agriculture, Agricultural Commodities & Regulatory Services Section, *Center for Analytical Chemistry*, 3292. Method Number: HA4/JC, Sacramento, 1996.
- [14] Özkan, A., Humik asit içeren toprak düzenleyicilerinin humik asit kapsamlarının uygun yöntemlerle belirlenmesi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, *Yüksek Lisans Tezi*, s.48, 2008.



Pre-beneficiation of High Silica Bauxite Ore by Attrition-Scrubbing

M. Birinci^{1*}, R. Gök¹, H. Gülaçan¹

¹ Department of Mining Engineering, İnönü University, Malatya, Turkey

Abstract

A bauxite ore can be directly fed to the Bayer process, if the mass ratio of Al_2O_3 to SiO_2 is greater than about 7 and 8. However, high SiO_2 (i.e. reactive silica) in bauxite ore causes negative effects such as excessive caustic soda ($NaOH$) consumption and alumina (Al_2O_3) losses. The most important source of reactive silica is clay impurities (e.g. kaolinite and illite) associated with bauxite minerals. Therefore, these impurities should be removed by beneficiation methods before the ore is used as feed for the Bayer process.

In this study, the high silica bauxite ore with 57.33% Al_2O_3 and 9.01% SiO_2 was subjected to attrition-scrubbing in a modified scrubber, in order to remove the silica. After scrubbing, attrited ore was wet sieved using laboratory test sieves and than Al_2O_3 and SiO_2 contents of the materials on sieve fractions were determined with XRF analysis. According to experimental results, when going from coarse size fractions to fine size fractions, it was seen that while SiO_2 grade tends to increase Al_2O_3 grade decreases significantly. The best result was obtained in the coarse size fractions, but no high grade bauxite concentrate could be obtained that could be fed directly to the Bayer process.

Keywords: Bayer process, bauxite, reactive silica, silica removal, attrition-scrubbing.

1. INTRODUCTION

Bauxite is the name of a mineral group composed primarily of gibbsite ($Al(OH)_3$), boehmite ($\gamma-AlO(OH)$) and diasporite ($\alpha-AlO(OH)$) as alumina minerals. Bauxite commonly contains silica, iron oxide, titania, aluminosilicate, and other impurities in minor or trace amounts [1]. Bauxites are typically classified according to their intended commercial application: abrasive, cement, chemical, metallurgical, refractory, etc [2]. The bulk of world bauxite production (approximately 85%) is used as feed for the manufacture of alumina via a wet chemical caustic leach method commonly known as the Bayer process [3, 4].

Bauxite is the main raw material to produce alumina, whose mineralogical characteristic and processing technology affect its general utilization directly. The alumina (Al_2O_3) to silica (SiO_2) mass ratio of bauxite ores, which is also defined as "module" or "silica module", plays a critical role in the viability and economics of the Bayer process. Because, reactive silica (i.e. tends to dissolve in the caustic solution) causes excessive caustic soda consumption and alumina losses in the Bayer process. Although the optimum module varies from plant to plant depending on bauxite type and technical-economic conditions in countries, it is assumed that the limit module is around 7-8. The module value in high grade bauxites is above 10 [5-7]. Beside, the high grade (i.e. low silica) bauxite deposits are limited and its reserves are gradually decreasing in the world. Therefore, the bauxites are upgraded by the removal of silica to increase the module rate before it is sent to the Bayer process. About silica problem, Smith [8] has reviewed various processes for the processing of high-silica bauxite. He suggested that soda losses in the Bayer process can be reduced if the source of reactive silica in the bauxite is decreased.

Attrition-scrubbing is relatively a simple method based on the wear of the grain surfaces. Attrition means to wear away a surface, typically by friction or abrasion. Attrition scrubbing is usually used when the clay or silts

* Corresponding author. Tel.: +90 422-377-4775; fax: +90 422-341-0046

E-mail address: mustafa.birinci@inonu.edu.tr

are more tightly bound to the silica particles, or when clay balls exist that are similar in size to the silica sand grains. Attrition scrubbing can also break down mineral clusters present in the deposit, but only if the clusters are not too tightly bound. Attrition-scrubbing has various applications in mineral processing, industrial processes and chemical processes where an intensive particle surface to surface action is required either to change the surface properties of the particle or to remove contaminants such as silicate minerals. In mineral separation, for example, the scrubbers help improve yield and efficiencies by preparing feed materials for downstream processes such as flotation, magnetic or electrostatic separation [9-12].

The objective of this study is to evaluate the effect of attrition-scrubbing as a separation method in removing silica (i.e. clay minerals especially kaolinite). In consideration of the difference of bauxite and gangue minerals in particle size, modified laboratory scrubber was used to pre-beneficiation and the achievement of attrition-scrubbing in removing silica was briefly discussed.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material

Bauxite ore used in the study was obtained Seydişehir Aluminum Plant (Konya, Turkey). According to X-ray diffraction and petrographic analyses results, the ore sample consists of boehmite (AlO(OH)), kaolinite ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$), hematite (Fe_2O_3) and anatase/rutile (TiO_2) as major minerals, and diaspore (AlO(OH)), gibbsite ($\text{Al}(\text{OH})_3$), quartz (SiO_2), goethite (FeO(OH)) and calcite (CaCO_3) as minor minerals. Chemical analysis indicated that the ore contains 57.33% Al_2O_3 , 9.01% SiO_2 , 17.25% Fe_2O_3 , 2.59 TiO_2 , and has 13.19% loss on ignition. In addition, the module rate was determined using equation (1), and is found to be 6.36.

2.2. Method

Before the attrition-scrubbing tests, about 50 kg of bauxite sample (average particle size: ~100 mm) was crushed to minus 2.36 mm in a laboratory jaw crusher, and then was divided into small lots (about 350 grams) by rotary sample divider to obtain feed material for the attrition-scrubbing operation.

Attrition-scrubbing tests were performed in a 2 L glass cell with octagonal cross section, equipped with a mechanical stirrer and a propeller attached to it. Pulp density in the attrition-scrubbing tests was adjusted 70% of solids by weight. The mixing speed was set to 400 rpm, and the scrubbing time was 60 and 120 min, respectively. After the scrubbing, the pulp/slurry was classified by wet-sieving using ASTM E-11 type test sieves to separate each size fraction, especially the finest size fraction containing particles finer than 45 μm . After the sieving, all size fractions containing coarse and fine particles were dried at 105 °C. The dried material was then weighed, and the results were evaluated via plots of the particle size distribution (PSD) curves. The chemical analysis of sieve size fractions were determined by XRF. Wet sieving was also conducted on an un-scrubbed sample to observe the effect of scrubbing.

$$\text{Module rate} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3\%}{\text{SiO}_2\%} \quad (1)$$

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

3.1. PSD Curves

Un-scrubbed bauxite ore (i.e. raw bauxite) and scrubbed ore (for at 60 and 120 min.) were wet-sieved using a laboratory test sieve to determine its size distribution. Cumulative PSD curves were constructed, as shown in Figure 1. According to the results given in Fig. 1, the PSD curves of scrubbed bauxite samples were shifted over the curve of un-scrubbed bauxite sample. It is seen that there is a significant increase in weight of the fine sizes, especially in the finest size (-45 μm). However, there has been no significant change in the amount of coarse size fraction. For instance, while the percentage of materials finer than 75 micron in the un-scrubbed sample is about 2%, after 60 and 120 min of scrubbing, the percentage of material in the same size is about 7% and 8% respectively. However, PSD curves obtained by scrubbing are very close to each other and there is no significant difference between the test results.

Fractional results are also shown in the form of a bar chart in Figure 2. These results showed that there is a decrease in all particle size fraction, except for the finest material below 75 micron. These results indicate that there is partial attrition on the coarse size fractions during scrubbing. As a result of 120 min of scrubbing, weight of materials below 75 microns increased from 2% to 8%. However, there is no economically acceptable amount of attrition material with scrubbing, compared to results obtained from the un-scrubbed bauxite ore.

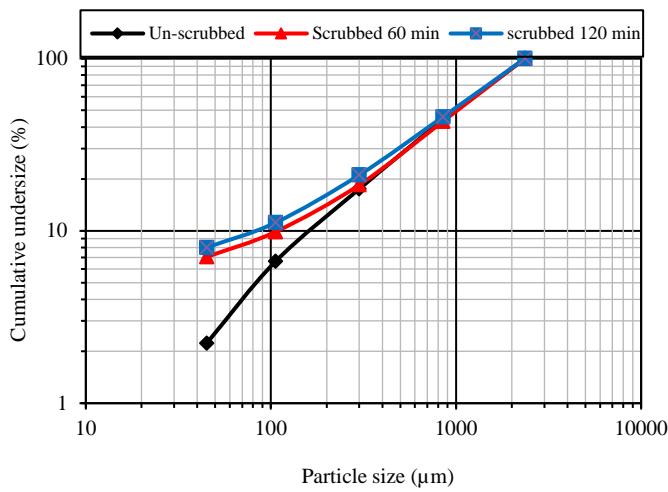


Fig. 1. PSD curves of the bauxite ore samples (un-scrubbed and scrubbed ore for 30 min and 60 min)

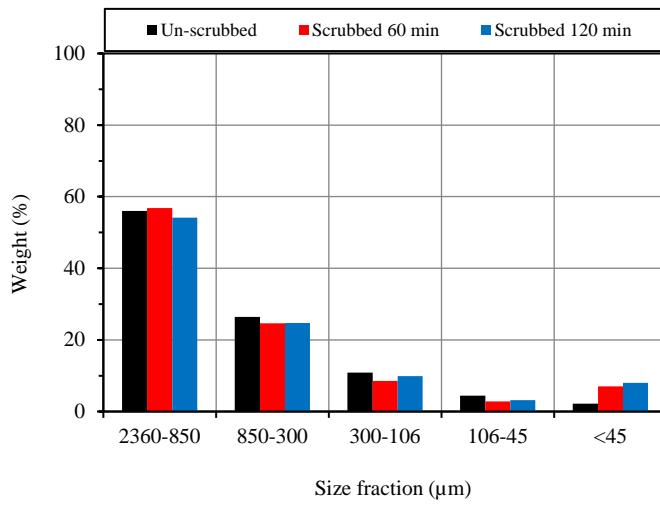


Fig. 2. Weight distribution of materials in the size fractions obtained from wet-sieving

3.2. Chemical Analysis Results of Size Fractions

Table 1 presents chemical analysis results of size fractions obtained from wet-sieving of un-scrubbed ore sample (i.e. the raw bauxite). If the data given in Table 1 are followed in the order from coarse size fractions to fine size fractions, it is seen that while SiO_2 grade tends to increase, whereas Al_2O_3 grade conversely decreases. For instance, in the coarse size fraction of -2360+850 μm , Al_2O_3 and SiO_2 grade is 57.89% and 8.96%, respectively. If the finest size fraction (-45 μm) is taken into account, it will be seen that Al_2O_3 and SiO_2 grade is 54.01% and 10.67%, respectively. A similar trend is also observed in the module value. The module value is also decreasing from coarse size to fine size. However, there is no significant change in the size fractions when compared to module value (6.30) of the original ore.

Chemical analysis results of scrubbed bauxite samples were also given Table 2 and Table 3. It is clearly seen that attrition-scrubbing gave a slight improvement in Al_2O_3 grade and module value of the coarse size fractions. The highest Al_2O_3 grade of 58.36% was achieved in the size fraction of -2360+850 μm obtained from scrubbed bauxite for 60 min, whereas Al_2O_3 grade of the raw bauxite was 57.52%. A significant correlation observed between Al_2O_3 and SiO_2 grades is another characteristic result of attrition-scrubbing. When fine size fractions are considered, while Al_2O_3 grade decreases, SiO_2 grade increases. Besides, it was observed that module rate decreases in the fine particle size fractions due to its silica content increases. For instance, module rate could be reduced to 4.20 in the finest particle size (-45 μm). However, there are no significant differences among other particle size fractions.

Table 1. Chemical analysis results of size fractions for un-scrubbed bauxite sample.

Size fraction (μm)	Weight (%)	Basic oxide compounds (%)					Module
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	
-2360+850	56.06	57.89	8.96	17.41	2.59	0.26	6.46
-850 +300	26.45	57.79	9.17	17.46	2.56	0.35	6.30
-300 +106	10.84	57.19	9.41	17.57	2.54	0.44	6.08
-106 +45	4.42	56.27	9.86	17.74	2.49	0.62	5.71
-45	2.23	54.01	10.67	18.76	2.43	1.05	5.06
Feed	100.00	57.63	9.14	17.48	2.57	0.34	6.30

Table 2. Chemical analysis results of size fractions for scrubbed bauxite sample (scrubbing time 60 min).

Size fraction (μm)	Weight (%)	Basic oxide compounds (%)					Module
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	
-2360+850	56.87	58.36	8.85	17.41	2.60	0.29	6.59
-850 +300	24.68	57.83	8.92	17.41	2.57	0.31	6.49
-300 +106	8.58	57.21	8.83	17.31	2.54	0.35	6.48
-106 +45	2.82	53.02	8.17	16.35	2.31	0.43	6.49
-45	7.06	51.83	12.35	17.94	2.32	1.28	4.20
Feed	100.00	57.52	9.09	17.41	2.56	0.37	6.33

Table 3. Chemical analysis results of size fractions for scrubbed bauxite sample (scrubbing time 120 min).

Size fraction (μm)	Weight (%)	Basic oxide compounds (%)					Module
		Al_2O_3	SiO_2	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	
-2360+850	54.16	57.75	8.84	17.25	2.57	0.31	6.53
-850 +300	24.77	57.61	8.85	17.32	2.56	0.30	6.51
-300 +106	9.91	57.67	8.83	17.42	2.56	0.36	6.53
-106 +45	3.16	55.36	8.42	16.99	2.42	0.43	6.57
-45	8.00	52.58	12.31	18.26	2.38	1.07	4.27
Feed	100.00	57.22	9.10	17.36	2.55	0.38	6.29

The high values of SiO₂ grades in the finest size suggest that silicate silicate impurities or clay minerals such as kaolinite is much more present in the fine fractions, behaving to scrub, in other words, clay minerals on the particle disintegrated to fine particle sizes during the scrubbing. This result indicates that clay minerals are accumulated more than bauxite minerals in the fine size fractions. However, clay minerals were not sufficiently removed from the bauxite ore using only scrubbing. These results are in a good agreement with several studies [13-15].

4. CONCLUSIONS

In this study, attrition-scrubbing as a washing method was applied in the removing silica from bauxite ore using scrubber. The general results obtained from this study are given below:

Reactive silica in bauxite ores causes to serious technical and economic problems in the Bayer process and leads to excessive caustic consumption. Therefore, the bauxite ores are enriched by the removal of silica to increase the module rate before it is sent to the Bayer process.

The results obtained from attrition-scrubbing experiments show an interesting trend with respect to the grade of alumina and silica. It is indicated that the grade of silica increases toward lower-sized fractions, whereas the alumina grade decreases toward lower-sized fractions.

In the case of high silica bauxite ores, scrubbing and desliming may be beneficial as a technique for removing fine clayey impurities. Clay particle are more soft and fragile than bauxite particle, which means they have a greater tendency to scrub and produce significant amounts of fine particles.

ACKNOWLEDGMENT

This work is financially supported by the İnönü University Scientific Research Projects Coordination Unit (Project Number: 2016/97).

REFERENCES

- [1] Lozej, K. P., Gow, N. N., Bauxite, *Geoscience Canada* 20(1); 9-16, 1993.
- [2] Hill, V. G., Sehnke, E. D., Bauxite, Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets, and Uses (Edited by Kogel, J. E.). In: Published by SME, Colorado, USA, p.227-261, 2006.
- [3] Anonymous (2017), (online), Available: <http://www.worldstdindex.com/soft4/3944269.htm>
- [4] Habashi, F. A., Textbook of Hydrometallurgy. Metallurgie Extrative Quebec, Canada, p.740, 1999.
- [5] Jiang, Y., Li, W., Feng, R., Preparation and performance of 4-alkyl-4,4-bis(hydroxycarbamoyl) carboxylic acid for flotation separation of diaspore against aluminosilicates, *Minerals Engineering* 24; 1571-1579, 2011.
- [6] Gibson, B., Wonyen, D. G., Chelgani, S. C., A Review of pretreatment of diasporic bauxite ores by flotation separation. *Minerals Engineering* 114; 64-73, 2017.
- [7] Ahmad, I., Hartge, E. U., Werther, J., Wischnewski, R., Bauxite washing for the removal of clay, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 21(11); 1045-1051, 2014.
- [8] Smith, P., The processing of high silica bauxites-Review of existing and potential processes, *Hydrometallurgy* 98; 162-176, 2009.
- [9] Sekulic, Z., Came, N., Bartulovic, Z., Ignjatovic, M., Concentration Procedure and Mineralogical and Chemical Composition of Raw Quartz Sand. In: Proceedings of 19th International Mining Congress and Fair of Turkey (IMCET 2005), Izmir/Turkey, p.187-194, 2005.
- [10] Jobin, P., Mercier, G., Blais, J.F., Taillard, V., Understanding the Effect of Attrition Scrubbing on the Efficiency of Gravity Separation of Six Inorganic Contaminants, *Water, Air, & Soil Pollution* 226(5); 162, 2015.
- [11] Jiang, X. M., Zhou, L. S., Liu, J.G., Han, X. X., A model on attrition of quartzite particles as a bed material in fluidized beds, *Powder Technology* 195(1); 44-49, 2009.
- [12] Marino, M. A., Brica, R. M., Neale, C. N., Heavy metal soil remediation: the effects of attrition scrubbing on a wet gravity concentration process. *Environmental Progress* 16(3); 208-214, 1997.
- [13] Ahmad, I., Hartge, E. U., Werther, J., Wischnewski, R., Bauxite Washing For the Removal of Clay, *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 21(11); 1045-1051, 2014.
- [14] Amer, A. M., Abdel-Aal, E. A., Mineralogical Studies And Hydrometallurgical Processing of Egyptian Bauxite, *Transactions of the Indian Institute of Metals* 49(1-2); 25-28, 1996.
- [15] Rousseaux, J. M., Verschuur, H., Flores, P., Buntenbach, S., Donhauser, F., 2006. Beneficiation of High Quartz Content Bauxite From Los Pijiguao. In: *Proceedings of TMS Light Metals*, pp.47-52, 2006.



Investigation of Energy Quality on MGs Under High Penetration of PV Generation

D.B. Unsal Celimli^{1,*}, A.A. Kulaksiz², A. Onen³

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

²Department of Electrical and Electronics Engineering, Selçuk University, Konya, Turkey

³Department of Electrical and Electronics Engineering, Abdullah Gül University, Kayseri, Turkey

Abstract

Nowadays, the use of renewable energy sources becomes compulsory in order to meet the increasing energy demand. However, the forms of connection of renewable energy sources and how to distribute them to the grid have not been sufficiently clarified. For the countries that have not yet switched to the smart grid system today, the efficiency of the renewable energy resources has significant role to achieve better quality of energy. In this study, a real-time studied smart grid system was designed and selected for simulated in Austin, Texas district with Matlab. Distributed energy resources are transmitted in accordance with IEEE standards and verified by its limits of efficiency analyzes. Accordingly, by analyzing the results about grid effects of PVs through different connection types, it can be proposed study to RES to be used in micro grid (MG)s. After the distributed of different capacities of PVs on different buses on the IEEE 13 bus system, power quality results were compared. According to the obtained results, the state of each bar on the system was examined one by one, and the current and voltage change indices of each bus were calculated with simulated annealing algorithm. So, the effects of PVs different connection forms on voltage stability had been investigated and interpreted.

Keywords: Energy, distribution, renewable, micro grid, quality.

1. INTRODUCTION

Energy is the most important requirement for the raw materials in our homes and industrial consumption. It plays a key role on the fulfillment of basic needs so has an important position in the consumption of these properties.

However, the energy which is delivered to the consumers, unfortunately, is not always good quality and low cost. The major factor affecting its quality and cost is resources, which are used in energy production. To achieve effective transmission and distribution with low cost, a true communication method and true energy resources must be used on Smart Grid and it's all parameters must work in harmony.

The fact that there is no common terminology on the term of renewable energy that exists forever on earth but their resources are not utilized sufficiently. In order to accept this energy as "renewable" it needs to be having some elements. According to these elements;

- The source must be sustainable in natural environment or must be reproducible
- The source, unit of the energy produced in per unit of time, must be equal to the energy drawn from the source,
- Source of energy must be the sun [1]

* Corresponding author. Tel.: +90-424-2191010/2460; fax: +90-424-236 7064.

E-mail address: dbunsal@cumhuriyet.edu.tr (D.B.Unsal Celimli).

In this regard, the majority of the renewable energy receives energy from the sun directly or indirectly, so that these resources are not being exhausted, but continuously refreshed. In recent years, energy resources which are utilized with technological developments are called potentially "new"; and inexhaustible, non-reducing resources are called as "renewable" energy sources [2].

Terms of renewable energy can be defined as the energy has same feeding rate as using rate, or the energy is derived from continuously and repeatedly resulting current in the natural environment. [3].

So, it can be said that "Using DER will be the backbone of the future electrical energy system. [4]"

In the lighting with the use of DERs and the general information of EV connections, which have been examined in detail in the previous sections, it is the task of studying a system model capable of high-energy transmission and distribution in accordance with IEEE standards. For this purpose, PVs were selected as a renewable energy source and the results were obtained by applying the PLC communication method operated synchronously with the network elements in order to analyze the energy quality degradation effects in the electrical grid.

According to these targets, firstly the PV model was designed and then the EVs which are the same with Pecan Street database were simulated in Matlab. Then the houses were designed with real time data available in the project of pecan street database and taken from the system in certain time periods, the results are compared and checked with the pecan street database, and finally design process of the MG system started. The use of MG structures provides to use DERs such as solar sources and allows tolerating the quality distortion of power which produced from them.

When MG uses with electrical grid, it can be allow to control of the changing loads and power quality which cause of customers. While providing the ability to control the efficiency of the system power, it is delivered to the customer by dividing the electrical grid into smaller parts with using MG with DER. But usage of large amount of DERs causes other challenges in the distribution system (DS) like harmonics and power quality distortions. To solve it, DERs should be located closer to non-linear loads in system or on the customer side of meter [5]. So, thanks to its behavior, DERs have spectacular potential to improve power quality of the distribution grid (DG).

Challenge of power quality could be solved by maintained rising penetration levels of DERs and interconnecting the MG systems with DG on LV [6]. For this reason, different cases of PV connection on MG results and calculation results of power quality also improvement researches are the purpose of this study.

2. MICROGRID DESIGN AND POWER QUALITY EQUATIONS

In this section, designing of MG which contains DERs and real customers is examined. And the effects of the usage of DERs on power quality are discussed. When started to design a MG, it should be considered is how to respond to the real-time usage data of the design that runs untroubled in the simulation. For this purpose, attention effect is searched that elements in the MG are designed to compatible with the IEEE and IEC specifications. Linear and non-linear elements are checked about in accordance with IEEE 519 [7] and IEC 61850 Standards [8], [9]. The designed system general infrastructure is shown in Figure 1 [10].

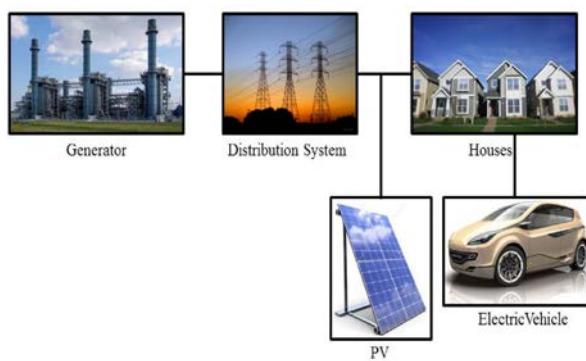


Fig. 1. Designed System General Infrastructure.

This MG system is designed to reach having best power quality on transmission and distribution. Hence, the IEEE and IEC standards are used in each part of the system. The IEEE standard requires that distributed generation sources have not taken an active role in voltage regulation [7]. So, synchronous generators with power controlling are used in the system. In distribution part, IEEE 13 bus system has been modified to work with MGs which shown in Figure 2 [10].

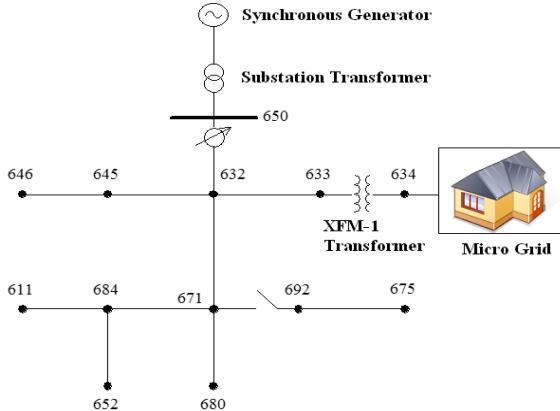


Fig. 2. Modified IEEE 13 Bus Distribution System

The MG is designed in our system defined as a harmonic load and connected to the DG. DERs are integrated to the system as PVs in different cases. THD voltage and current changes are calculated with following equations.

Total Harmonic Distortion (THD) (Voltage);

$$THD_V = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}{V_1} \quad (1)$$

Total Harmonic Distortion (THD) (Current);

$$THD_I = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}{I_1} \quad (2)$$

THD Index in Load Bus;

W_n : Weight Factor at n.th Bus

K : Number of Load Bus

THD_n : THD Index at n.th Bus

$$THDS = \frac{\sum_{n=1}^K (W_n THD_n)}{\sum_{n=1}^K (W_n)} \quad (3)$$

The indices of the buses in the system are computed one by one. Then effect of DER could be found with these indices;

$$THDS_V = \frac{THDS_{NO_DER} - THDS_{DER}}{THDS_{DER}} . 100 \quad (4)$$

Voltage Change Index;

VAD_{NO_DER} : Voltage amplitude of the bus before the DER.

VAD_{DER} : Voltage amplitude of the bus after DERs are integrated.

$$VAD_V = \frac{VAD_{NO_DER} - VAD_{DER}}{VAD_{DER}} . 100 \quad (5)$$

This study deals with micro grids in different groups to analyze the harmonic effects of using electric vehicles and houses together. All the houses' consumption data are analyzed from the pecan street database and founded applicable houses which have exactly the same characteristics, same total square foot and same home appliances and sited on the same region. 10 houses were selected, which use only refrigerator, oven and air conditioner as home appliances, so that the effects of vehicle consumptions in the houses can be fixed. The reason for choosing refrigerator and oven as home appliances is that there is no house without

refrigerator and oven in the region. Also the reason for choosing an air conditioner is about the subject on "electric grids are already stressed by air conditioning loads" in the Pecan Street 2013 report. The system is operated with electric vehicles and air conditioner at the same time intervals in the report [10-16].

In the designed MG system, 10 real houses are integrated that provide real time measured data which taken in Pecan Street database. It is mentioned that all the houses have same behaviors and the use of same model electric vehicles (EV).

This study is aimed to achieve power quality effects of DER with EV consumption. So, pecan street measured data is used for the computations in power quality. Mathematical modeling is an important step for running the data collected from the database in the Matlab. The mathematical models of the designed houses are shown in Figures 3 and 4.

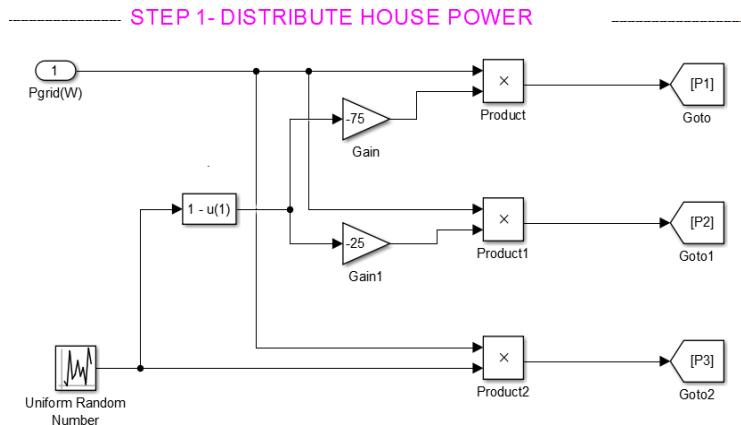


Fig. 3. Mathematical modelling of house power distribution.

The data shown as P_{grid} is the consumption data from Pecan Street and this is transferred to the grid by separating it into the current and voltage values together with the parameters taken from the same database.

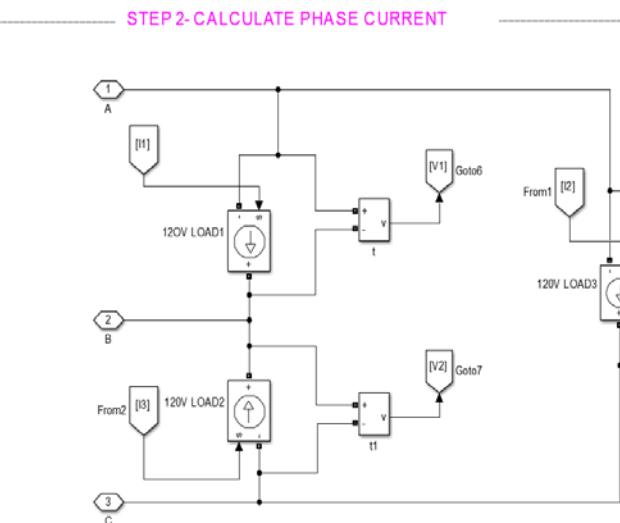


Fig. 4. Calculating a phase current for each house.

The accuracy of the designed system was tested with the results from the measurement elements on the Matlab diagram which is shown below. Distributed power is decomposed into current and voltage parameters, and the accuracy of the results is tested by turning it back to power value before it is transmitted to the grid . Figure 5 shows the measurement elements of a house in the system.

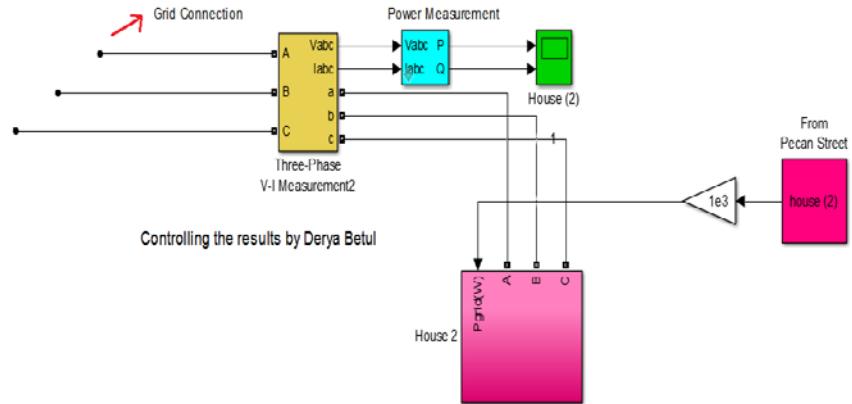


Fig. 5. Controlling the output scheme for a house.

Harmonics must be limited with the standards. Table I shows the THD limits in IEEE 519 standards [7]. It is necessary to limit the THDs with the standards to decreasing of the losses in the system [11].

Table I. Voltage Distortion Limits For Harmonics [11].

Bus Voltage	Individual V_b (%)	THDV(%)
$V < 69\text{kV}$	3.0	5.0
$69 \leq V \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$V \geq 161\text{kV}$	1.0	1.5

Firstly, it was reviewed monthly the data to find the highest load demand at the end of the transmission To found errors which are occurred in real time.

Electrical daily demands real measured data from the huge Electrical Reliability Council of Texas (ERCOT) in Pecan Street Project database.

Figure 5 shows 10 houses measured data which collected from single family households located in north Texas. Time period is during a year between May 2016 and May 2017.

If there is trying to examine the daily data for one year, memory deficiency problem is occurred in Matlab. There is needed a big data to process the hourly data per year. Because of that, data was separated to months and a time period of 10 days was selected in the month of September, it has the most EV usage. Figure 6 shows the EV usage graphical illustrated chart of 10 houses in a month.

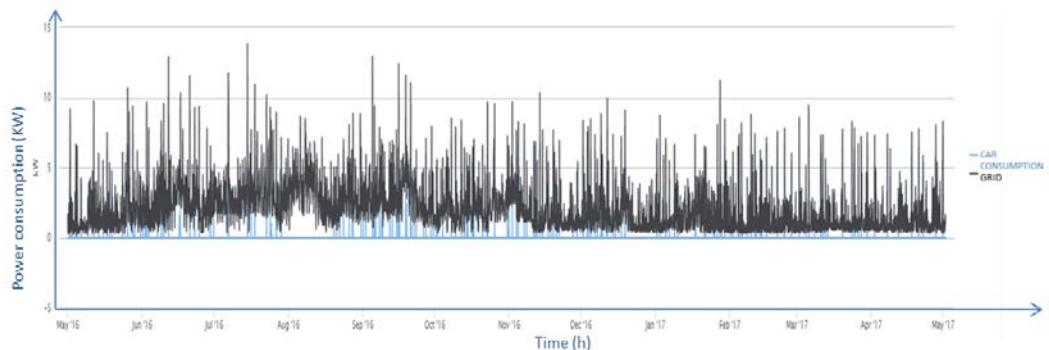


Fig. 6. Measured data of power consumption with 10 houses for a year [10]



Fig. 7. Measured data of power consumption data for September 2016 [10]

Load and transmission line data are given in [14] which used in the system. The MG system is interconnected with the IEEE 13 bus system and it is limited with the standards. Power quality equations are computed for each bus in the Matlab. Then the results were analyzed for all cases to understand the effects on PV connection and results are done for three different cases.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, three different cases were considered and the situation of the system was examined under these conditions.

Base

There is no PV connected to the house.

Case 1

One synchronous generator and number of 10 PV (which has total 250kW power) units are used in the system and connected with the houses.

The short distances which are between the houses were neglected. In this case, it is assumed that 2.5 MW PV power connected to the 634 bus. Simulations are run for 24 hours because the usage data of the consumers in the houses are real-time.

Case 2

One synchronous generator and 5 pieces of PV that each one has 0.5 MW power (which has total 250kW power) units are used in the system and connected with the houses. The PV distributed from 634, 645, 675, 680, 684 buses. Simulations are run for 24 hours because the usage data of the consumers in the houses are real-time.

Case 3

One synchronous generator and a PV which has 3 MW power is connected to a 675 bus which is farther from the entrance bus of the house.

DERs are assumed generally to be around 30 percent of the system load. Because of our system has 10552 MW of active power, the distributed energy required to be connected is selected as 2.5-3 MW.

The values of the effect of THD and voltage profile on the work done for different cases are shown in Table IV and these values are calculated using Equation (1).

It has been shown that with the simulation results. The best quality of energy performance is obtained by placing the DERs next to non-linear load bus. In addition, when the power of distributed production is increased, system's voltage and power quality indices are improved.

When the DERs are placed near the non-linear load in the system, the maximum decrease is achieved. But, when the same power distributed by dividing and separated into 5 different buses, the harmonic voltage distortions values also decrease.

But, when increasing the power of singular DER and it is connected closer to the houses, harmonic reductions have been observed in the system, but in this case our values cannot reach the desired standard range.

For three cases voltage profiles results are shown graphically in Figure 8.

Table IV. THD for the each bus for different situations and voltage profile results.

Bus	Voltage Profile				Voltage Fluc. Prof. Index(%)			THD (%) (Voltage)			
	Base	Case1	Case2	Case3	Case1	Case2	Case3	Base	Case1	Case2	Case3
B650	1	1	1	1	0	0	0	2,49	1,48	1,86	1,88
B632	0,9972	0,9991	0,9994	0,999	-0,19	-0,22	-0,27	2,45	1,46	1,83	1,85
B633	0,9986	0,9993	0,9997	0,9996	-0,07	-0,21	-0,1	2,42	1,49	1,85	1,91
B634	1,0031	1,0172	1,0181	1,0178	-0,4	-0,5	-0,47	7,79	4,51	6,49	7,31
B645	0,999	1,0021	1,0058	1,0024	-0,31	-0,59	-0,25	0,26	0,19	0,22	0,23
B646	0,9954	0,9965	0,9978	0,9968	-0,09	-0,24	-0,14	2,42	1,49	1,85	1,9
B671	0,9957	0,9969	0,9974	0,9971	-0,12	-0,22	-0,24	0,28	0,25	0,26	0,13
B680	0,9951	0,9963	0,9972	0,9965	-0,12	-0,21	-0,24	2,42	1,43	1,74	1,92
B684	0,9855	0,9874	0,9912	0,9899	-0,22	-0,67	-0,44	2,42	1,49	1,85	1,89
B611	0,9951	0,9968	0,9979	0,9971	-0,17	-0,27	-0,2	2,45	1,45	1,65	1,88
B652	0,9817	0,9872	0,9891	0,9878	-0,55	-0,74	-0,61	2,42	1,47	1,83	1,92
B692	0,9971	0,9985	1,0023	0,999	-0,14	-0,32	-0,88	2,47	1,46	1,88	1,9
B675	1,0052	1,0078	1,0092	1,0081	-0,26	-0,4	-0,29	2,42	1,43	1,83	1,78

* Values which shown in red are outside the IEEE limits.

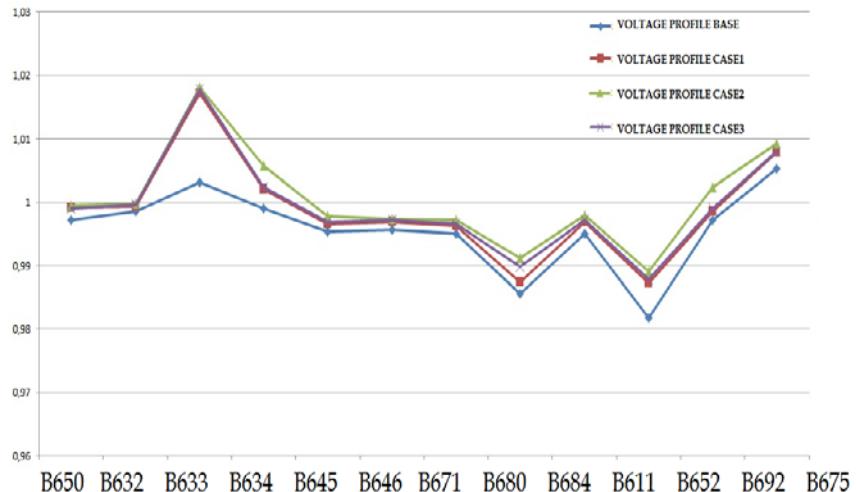


Fig. 8. Voltage profiles changes for three cases.

4. CONCLUSION

In this study, the effects of the PVs on the total harmonic distortions of voltage and current are calculated with power quality indices of MG system also usage with EVs. System parameters are changed such as PV power capacity, system position, and singularity or spreading and it is investigated. Also reducing the harmonics' on LV networks is aimed. The study was conducted on an distribution of IEEE 13 bus system. As it can be resulted from analyzes; A general improvement in the tension profile was observed with the interconnection of DER but, if PVs are connected to non-linear load buses, the harmonic reduction rate is going to be higher. But, the presence of PV reduces the harmonics in the bar voltages and increases the voltage harmonics of the lines close the MG. In this case, it is more advantageous to use a singular PV system in the MG system. The power of the PVs increase will further reduce the bus voltage harmonics.

ACKNOWLEDGMENT

The author D. B. UNSAL wish to thank The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for supporting her study. And would like to thank to Pecan Street, Inc. (<http://www.pecanstreet.org/>) for allowing us access to electrical usage database.

REFERENCES

- [1] Onbasıoglu, S., "Neden Yenilenebilir Enerji?", Termodinamik, Year: 2014, Sayı: 128, Sep. 2005.s. 60
- [2] Enis, A. "Enerji Politikaları; Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları", TMMOB 5.Energy Symposium (21-23.12.2005, Ankara), TMMOB Publishing, Ankara, 2005, s. 177.
- [3] Sen, Z., *Temiz Enerji ve Kaynakları*, Su Vakfı Publishing, İstanbul, 2002.
- [4] Bhuvaneswari Ramachandran., Sanjeev K.Srivastava., David A.Cartes. , Intelligent power management in micro grids with EV penetration, *Expert Systems with Applications* (40); 6631-6640, 2013.
- [5] El-Khattam ., W, Salama MMA., Distributed generation technologies, definitons and benefits., *Electric Power System Res.*(71); 119-128, 2004
- [6] Barker PP, De Mello RW, Determining the impact of distributed generation on power systems. radial distribution systems, *IEEE power engineering society meeting, Seattle WA*;2000
- [7] IEEE Std. 519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems
- [8] IEC Smart Grid Standardization Roadmap, Prepared by SMB Smart Grid Strategic Group (SG3) June 2010; Edition1
- [9] S.Roostaee., R.Hooshmand., Mohammad Ataei., Substation Automation System Using IEC 61850, *The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2011), Shah Alam, Selangor, Malaysia* : 2011
- [10] Unsal Celimli D.B, Kulaksız A, Onen A. Investigation of LV Networks with EVs under High Penetration of PV Generation, IATS 2017, Oct 2017.
- [11] D. Henderson et al. The Theory and Practice of Simulated Annealing (*International Series in Operations Research & Management Science Book Series*) Ch.10, Springer, Vol.255
- [12] Unsal, D.B., Koc, A.H., et al.: 'Medium voltage and low voltage applications of new power line communication model for smart grids'. *IEEE Int. Energy Conf. (ENERGYCON)*, April 2016, pp. 116–120
- [13] D. B. Unsal, T. Yalcinoz, Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grids, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol.7 No.3 (2015)
- [14] Farshad Rassaei., et al. Demand Response for Residential Electric Vehicles with Random Usage Patterns in Smart Grids, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 6, no. 4, (2015)
- [15] IEEE PES Distribution System Analysis Subcommittee's Distribution Test Feeder Working Group (online), Available: <https://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/>
- [16] Pecan Street climate report 2010 (Online) <https://pecanstreetinc.app.box.com/s/915krszt4vpcyt9ty8k2ox438mz3cf7w> [Access: 12.02.2016].



Controlling The Distributed Energy Resources Using Smart Grid Standards

D.B. Unsal Celimli^{1*}, H. Dogan¹, Y. Torun¹, S. Kockanat¹

¹Department of Electrical and Electronics Engineering, Cumhuriyet University, Sivas, Turkey

Abstract

In recent years, population and the rising of energy demand are both increased on over the world. It is caused requirements of changing the traditional grid system and using the distributed energy sources (DERs) to meet with. However, the issue is which standards should be used in conjunction with DERs parameters and studies on the effects to the grid. There is not providing enough resources for countries specifically not switched to the smart grid (SG) system yet. In order to increase the number of these resources, in this study; the standards that can be used in SG connection of DERs are examined and PV parameters effects of the system is contributed. With IEEE, IEC and ANSI standards, it is especially aimed at facilitating the integration of DERs into the grid and the process of transition to SGs. In addition, the study is aimed to be an example of the PVs, which are using as DER application in the SG, mentioned in the materials and parameters of the contents of it and the benefits of PVs are provided in controlling the energy demand side management in SG structure. Finally, a real time micro grid (MG) system was designed to understanding the behaviors of its transmission and distribution system. Then, PV applications with different materials were made with. In order to provide control with DER standards, simulated annealing algorithm is used and the effects of PV infrastructure differences on energy distribution were evaluated to provide an assessment of future smart grid usage.

Keywords: Smart Grid, Photovoltaics.

1. INTRODUCTION

In recent years, transmission and distribution of electricity with the traditional power grid is becoming insufficient in responding to consumer needs. This is why the need for electricity has emerged a new grid structure enabling a more efficient transmission. Especially in countries where PV plant installations have not yet reached high levels, such as our country, it is important to make detailed analyzes in advance of PVs should be more preferred. In addition to taking into consideration such factors as the effectiveness of DER plants in the distributed structure, the effects of the power quality in the network are also important, especially before the problems occur on the grid. The study is of great importance in this respect.

The SG is an idea of achieving a more effective system with improved demand-side management on effective communication technology and efficiency. This idea targets transmitting electricity with high efficiency and has a very large field of interest such as communications, control systems, and semiconductor technology [1].

In this study, the standards that can be used in conjunction with the distributed energy resources in SGs are examined and the effects of PV parameters are discussed when energy is transmitted with as DERs on a new micro grid system which is designed in accordance with these standards.

Pvlerin içerisindeki dijotların ideal kabul edildiği noktasından hareketle, gerçeğe daha yakın enerji üretimi ve iletimi yapabilmek için PV üretiminde kullanılan dijotların da standartlara uygun parametreler ile üretilmesi gerekliliği noktası vurgulanmıştır. Ideal dijotla yapılan enerji iletimleri, daha önceki çalışmalarımızda

* Corresponding author. Tel.: +90 346-219-1010/2460; fax: +90 346-219-1153.

E-mail address: dbunsal@cumhuriyet.edu.tr (D. Betul UNSAL CELIMLI).

ürettiğimiz parametreler ile çalıştırılarak, akım ve gerilime ait harmonik etkileri hesaplanmış ve sonuçları yorumlanmıştır.

From the point where the diodes within the PVs are considered ideal, it is necessary to produce the diodes used in PVs with the parameters limited to the standards in order to be able to reach closer transmission to the real. The energy transmissions made with the ideal diode have been worked with the parameters we produce in our previous studies, and the harmonic effects of current and voltage are calculated and the results are interpreted [2]. The effect of PV component behavior is contributed in this study.

For this purpose, firstly, the standards used for distributed energy resources in smart grids are examined.

2. SMART GRID STANDARDS FOR DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES

Standardization is able to lead to developments in product and systems, guaranteeing that systems work in harmony. Commercial operation of the MG framework is shaped by promulgated by international standards which were established by the United Nations standardization organization under the umbrella of the Department of Commerce NIST (National Institute of Standards and Technology) [3]. SG technologies and their applications have been standardized largely by NIST and IEEE. When creating the NIST standards, the IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) and IEC (International Electrical Commission) is assessing the opinions and recommendations.

2.1. IEEE

IEEE determines standards for devices and systems to contribute developments in the electrical sector. These standards procedures and parameters would be needed for an MG and all the units (generators, distribution systems, and consumers) in definitions. And IEEE 1547 and 519 standards are used in this study [4-6].

- **IEEE 1547** Standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces. This standard includes voltage, current and frequency characteristics, possible problems of DER integration, and harmonic limits, also system requirements.
- **IEEE 519** Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems, it is recommended requirements for harmonic control in power engineering and gives limits for individual customers about harmonic injection and unacceptable voltage distortion.

2.2. IEC

International Electrotechnical Commission (IEC) provides standards with advantages in different parts of power engineering in smart grid applications. IEC 61850-7 and IEC 61215 (Ed.2) are used in this study [7].

- **IEC 61850** Standard is a set of open protocols based on communications generally used in electrical utilities. Control systems are able to use this standard to communicate between SG components. Real-time data are able to be programmed like outstation devices with advanced functionality such as power quality monitoring, phasor measurement, and other SG analysis. Furthermore, this standard has been extended with IEC 61850-7-420 for the modeling of DER based generators. Also IEEE standards for distributed energy resources parameters are used [4-7].
- **IEC 61215** provides the commercial success of PV is based on long term reliability of the PV modules. Today's modules are typically certified to IEC 61215 for Crystalline Silicon Modules, IEC 61646 for Thin Film Modules and IEC 62108 for CPV Modules and these qualification tests do an excellent job of identifying design, materials and process flaws that could lead to premature field failures [8].

2.3. ANSI

ANSI standards known as LonWorks is operated 115 – 132 Mhz bandwidth and can accommodate up to 32,000 endpoints. Although data rate is only 1.5 Mbps, it is suitable for smart energy management applications [9].

- **ANSI C12.19/MC1219** Revenue metering end device tables for smart grid applications.
- **ANSI/CEA 709 and CEA 852.1 LON Protocol Suite** is a general purpose local area networking protocol in use for various applications including electric meters, street lighting, and home automation and building automation.

3. MICRO GRID DESIGN

Using the standards and parameters described in the previous section, it was described the design details in our previous studies with a MG system using with Matlab [10, 11]. The most important feature of the system is that can make energy transmission by using the actual data in accordance with the standards. It is provided 10 real-time home-based data and instant transmission at the desired time intervals.. This system is intended to be a source for regions that have not yet passed the SG.

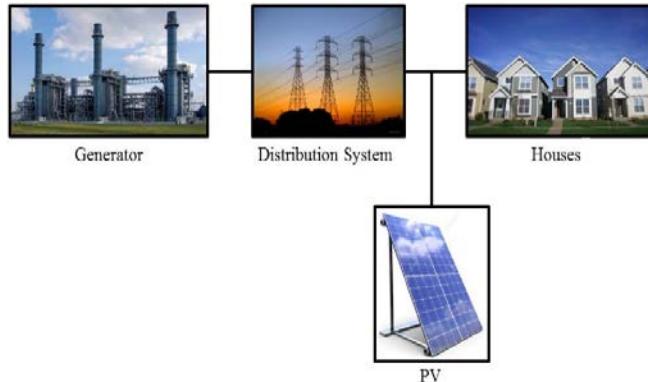


Fig. 1. Designed Micro Grid System General Infrastructure

The generator block represents the utility grid and substation transformers used in design. Distribution system block represents 13 bus IEEE distribution system. Houses and PVs blocks design details and parameters are and examined in [2, 10, 11]. Also during the designing process all steps were taken to ensure that all other parameters met the standards.

According to the general system infrastructure, MG model is designed and connected with IEEE 13 bus distribution system, and then PVs are added with different diode parameters to reach best quality of energy to understand the aim of this study. Texas Austin University and Pecan Street project data are used for the simulation and the design is performed in regard to IEC and IEEE Standard parameters to simulate with Matlab. Figure 2 shows the measurement elements of a house in the system.

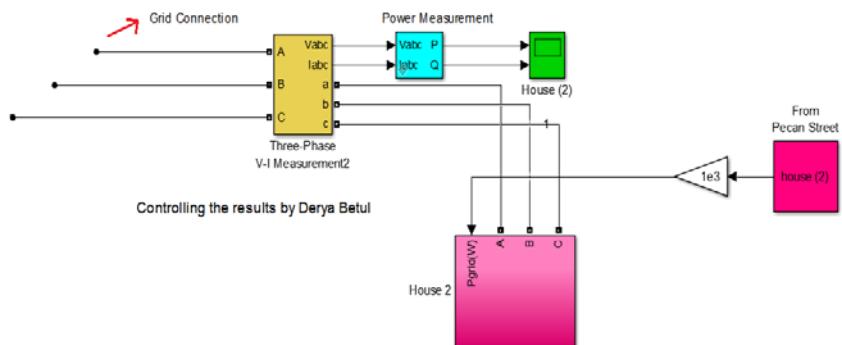


Fig. 2. Measurement controlling the output scheme for a house

MG model is designed to collect real time house data with distribution and transmission parameters which are based on standards. Three phase PI section line is used to distribute power and energy from three phase source to neighborhood. All steps of transmission and distribution are measured with three phase measurement devices to make break controlling possible. Rest of the system is designed for overload status when it needs. The neighborhood is designed for 10 houses but the number of it can be changed in other studies. DERs have potential to reduce the harmonics on the transmission lines, improve the power quality, make the electric network more stable [2]. Each computation was repeated for each bus by using the simulated annealing algorithm with the Matlab [12]. In the examination of power quality, the effect of harmonics is one of the most important points. The harmonic distortion (HD) in the distribution and transmission system is occurred with the cause of harmonic components, especially increased by used of non-ideal power electronic elements. The MG is designed in our system defined as a harmonic load and connected

to the grid. DERs are integrated to the system in different cases and harmonic effects, THD for voltage and current changes are calculated.

Total Harmonic Distortion (THD) (Voltage);

$$THD_V = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (V_n)^2}{V_1} \quad (1)$$

Total Harmonic Distortion (THD) (Current);

$$THD_I = \frac{\sum_{n=2}^{\infty} (I_n)^2}{I_1} \quad (2)$$

THD Index in Load Bus;

W_n : Weight Factor at n.th Bus

K : Number of Load Bus

THD_n : THD Index at n.th Bus

3.1. PV System and Parameters

PV energy has the cleanest, environmentally friendly structure among all the renewable energy sources [13]. Since the first day of photovoltaic in the market until now, lasting approximately 40 years, important developments in technological studies have been recorded [14]. Several major commercially available photovoltaic device types produced in this period and penetrated into the finding area are; single crystal, which is a polycrystalline or amorphous; Si (Silicon), GaAs (Gallium Arsenide), CIS (Copper Indium Diselenide) and CdTe (Cadmium Telluride). The average efficiency rate in this system is between 5% and 30% [15]. The general structure of a PV system is given in Figure 3.

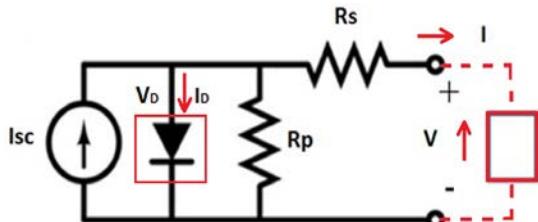


Fig. 3. The structure of PV System

During the production of photovoltaic batteries, an internal electrostatic zone is created near the front surface of the battery, allowing the electrons to become free. Other elements are placed into the crystal. The presence of these elements in the crystal prevents the crystalline from being electrically balanced. In the light-faced material, these atoms distort the balance and sweep the free electrons towards the surface of the battery to go to the other battery or load. As millions of photons flow into the battery, they gain energy and take it to the next level, and electrons flow into the electro-static area inside the battery and from there to the battery. This is the current flow of electricity [16].

In this study we use PV as a distributed energy source; the desired point is to be considered ideal during the design of PV parameters. In the MG system where we perform NREL's PV model [8], all data is taken from real homes in the Electrical Reliability Council of Texas (ERCOT) database. However, in real life, it is aimed that these parameters, which are considered ideal by the fact that no parameters are actually ideal, are expected to be approximated and chosen according to standards.

The SBDs are used in conjunction with PV systems have become indispensable elements of semiconductor-based electronic technology today. The most common areas of these devices are microwave diodes, field effect transistors (FET's), solar cells, photodetectors and PVs. Although the studies have been made in this area for nearly half a century, there are still many questions about the operation mechanism and electronic nature of diodes. The importance of Schottky diodes continues to increase every day because it is easy to create and know its characteristics. Metal-Semiconductor Schottky contacts; Technology has an important place in industry and electronic circuit elements industry.

According to the principles of operation of PV, luminous, light, temperature... etc. while characterized by, there is not much work on the effects of the changes in the structure of diodes within the PVs to the production of energy [8].

However, with the ideal acceptance of the diodes within the PV, it is further away from the fact that a closer transmission is made. As displayed in Figure 4, the use of the ideal Si diodes which are quite high in the opposite direction prevents the receiving of real-time results in electrical conduction [3, 8].

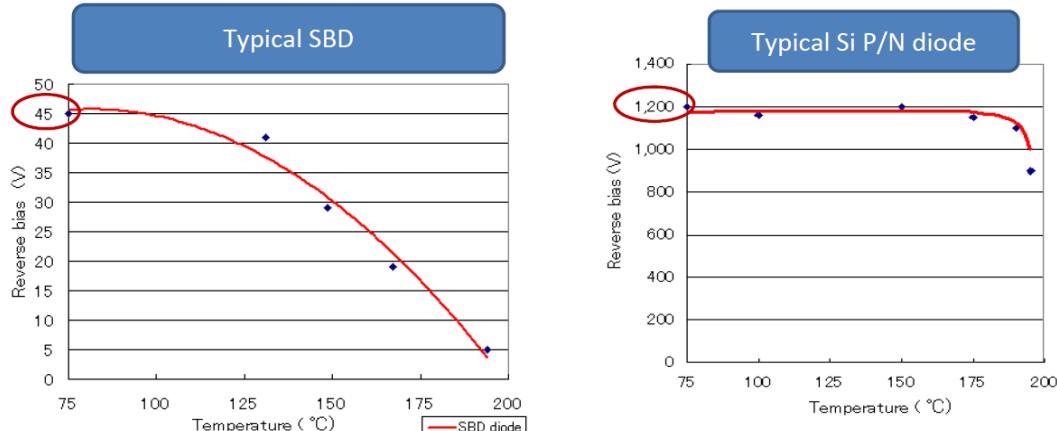


Fig. 4. Comparison of reverse bias with SBD and Si diode

In order to obtain maximum efficiency from Schottky diodes, especially the electronic characteristics of the diodes, the need to affect the fabrication stage, and the metal and semiconductors used in all of the prime properties arising from the has been a separate research subject [17]. For this reason, we designed the model in the internal structure of the PVs typical ideal Si diodes instead of using the SBD to compare the results of the energy transmission test system on the current and voltage THD measurements were made.

The PV model that we use in the MG model we designed is the model in which NREL has won a record for the PV efficiency award in 2016 [8]. It is compared to the results of the experiment on the model with its own parameters.

Data about energy transmission can be collected from each desired point of the system we design. Detailed data of the system can be found in our previous studies [2, 10, 11].

We also used the ideal acceptance of all the diodes in the PV internal structure as the movement point, designed to come to closer reality, the ideal diode parameters removed instead of the parameters we have previously founded [16]. With the results of the energy transmission made with the ideal diode, we have interpreted the results of the new transmission.

The results obtained in the basic case, the diode is considered ideal, shows the results of the transmission.

The light intensity of the Base 1 is selected as fixed with base case, only diode-belonging barrier height, ideality factor and series resistance main characteristic parameters selected in accordance with the standards Annealed Ni/N-GaAs/s Schottky barrier diode annealed temperature at 200°C.

In Base 2, the main characteristic parameters of the Ni/n-GaAs/Schottky barrier diode's annealed temperature changed to 400 and the parameters produced in our previous studies by entering the current and voltage transmissions again is calculated. The parameters used are shown in Table I and the parameter extraction details using the MABC also described detail in reference [16].

Table I. Values obtained by MABC experimental I-V data for the annealed Ni/n-GaAs/In SBD at 200°C and 400°C [16].

Parameter	Values(200°C)	Values(400°C)
Φ_{SB} (eV)	0.7704	0.7928
n	1.0880	1.0562
$R_S(\Omega)$	15.0338	11.9221
$\epsilon_{(min)}$	2.9036e-007	2.7546e-007

The I-V graphics of the used Schottky barrier diode (SBD) in the system are shown in Figure 5.

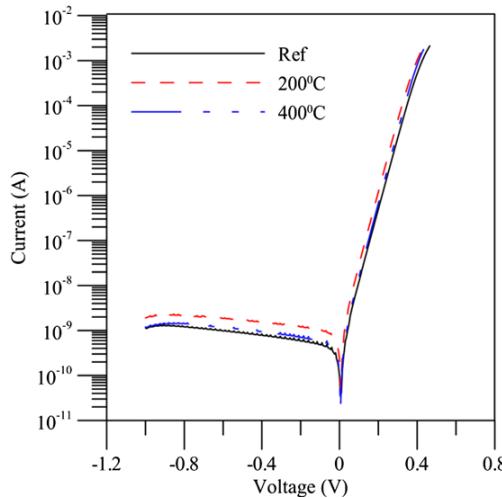


Fig. 5. Forward and reverse bias I-V characteristics of the annealed Ni/n-GaAs/In SBD [16].

4. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, three different cases were considered and the situation of the system was evaluated under these scenarios.

Base

There is a micro grid system which is supplied with one synchronous generator with 3 MW of PV connected to a 675th bus which is farther from the entrance bus with using ideal parameters.

Case 1

The system is supplied with SBDs parameters which are annealed at 200°C. Simulations are run for 24 hours because the usage data of the consumers in the grid, that is the houses, are real-time.

Case 2

The system is supplied with SBDs parameters which are annealed at 400°C. Simulations are run for 24 hours because the usage data of the consumers in the grid, that is the houses, are real-time.

DERs are generally applied to be around almost 30 percent of the system load, and given that our system has 10552 MW of active power, the distributed energy required to be connected is selected as 3 MW.

The values of the effect of THD current on the work done for different situations are shown in Table II. These values are calculated using Equation (1) and (2). When the DERs are connected to the bus with SBD parameters at different annealed temperature which are 200°C and 400°C, it is determined that the current harmonics are increased and shown numerically.

Table II. Current harmonic distortions of grid and generator side for different situations.

Line 650-632	Base	Case 1	Case 2
Line Current(A)	78,75	78,88	78,96
HD._I5 (%)	10,785	10,865	11,655
HD._I7 (%)	4,546	4,578	6,154
HD._I11 (%)	0,54	0,66	0,754
THD._I (%)	10,886	11,116	13,456
Line 633-634			
Line Current(A)	54,76	55,45	35,31
HD._I5 (%)	2,99	3,121	4,147
HD._I7 (%)	0,335	0,415	0,541
HD._I11 (%)	0,154	0,198	0,224
THD._I (%)	3,11	3,456	4,874

The results we receive show that the ideal acceptance of the main characteristic parameters of the diodes used in the internal structure of PV causes differences in energy transmission. Changing the tempering temperature of the same diode to 400 degrees 200 degrees, even if the energy transmission leads to differences, the internal structure of the PV used in real life should be examined in detail. Graphical illustration of the results are also shown in detail in Figure 6. Although the use of the 200°C annealed SBD instead of the ideal diode has slightly increased the harmonics, conduction in the range of standards according to the results of the conduction is a successful outcome. In order to improve energy efficiency, it is recommended to increase the studies in this area.

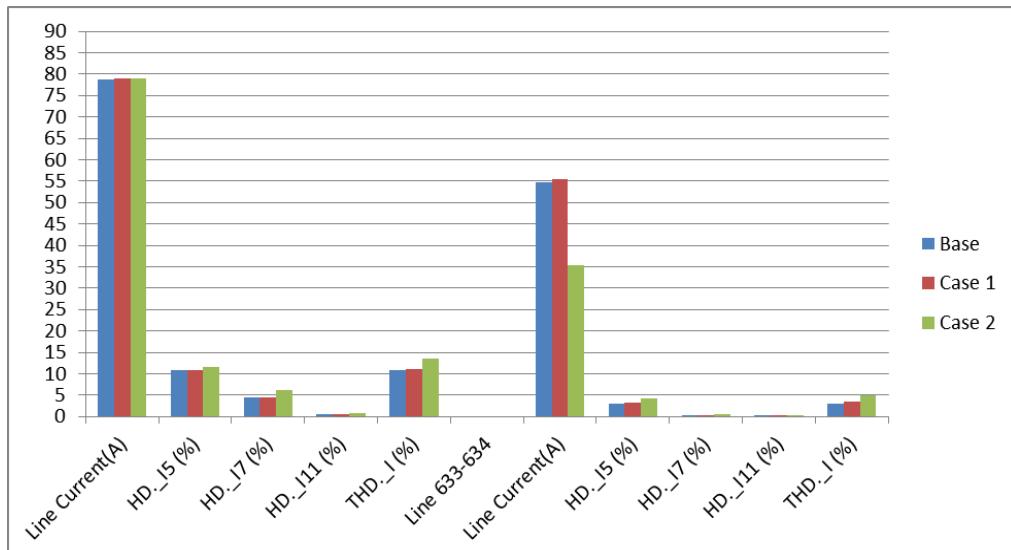


Fig. 6. Graphical illusions of current harmonic distortions of grid and generator side for different situations.

5. CONCLUSION

According to the results obtained using the Matlab, when the diode is considered ideal, although it is acceptable to be more efficient. But when using real parameters, the results of the transmission by producing one by one is being in the range limit of standards is proof of success. 200 degree of annealed diode parameters gave more successful results in transmission, and these results were checked and validated by comparing the references in the range of current harmonics given in the IEEE and IEC standards [4-7].

ACKNOWLEDGMENT

The author D. B. UNSAL CELIMLI wish to thank The Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) for supporting her study. And would like to thank to Pecan Street, Inc. (<http://www.pecanstreet.org/>) for allowing us access to electrical usage database.

REFERENCES

- [1] Fan, Z., *Smart Grid Communications: Overview of Research Challenges, Solutions, and Standardization Activities*, IEEE Communication Surveys & Tutorials, (2013) 21-38.
- [2] D. B. Unsal , A. A. Kulaksiz, A. Onen, Investigation of LV Networks with EVs under High Penetration of PV Generation, IATS 2017.
- [3] NIST, Smart Grid : A Beginners Guide, [http://www.nist.gov/smartgrid/beginnersguide.cfm/](http://www.nist.gov/smartgrid/beginnersguide.cfm), [Access: 31.03.2015].
- [4] IEEE Std. 519-2014 - IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems
- [5] IEC Smart Grid Standardization Roadmap, Prepared by SMB Smart Grid Strategic Group (SG3) June 2010; Edition1
- [6] The IEEE website, (2007), (online), Available: <http://www.ieee.org/>
- [7] IEC Smart Grid Standardization Roadmap, Prepared by SMB Smart Grid Strategic Group (SG3) June 2010; Edition1
- [8] NREL PV Module Reliability Workshop, John Wohlgemuth, February 29, 2012 ,NREL/PR-5200-54714
- [9] EPRI White Paper. (2001). Integrating Distributed Resources into Electric Utility Distribution System, Palo Alto, CA: 2001. 1004061.
- [10] Unsal, D.B., Koc, A.H., et al.: 'Medium voltage and low voltage applications of new power line communication model for smart grids'. *IEEE Int. Energy Conf. (ENERGYCON)*, April 2016, pp. 116-120
- [11] Unsal, D. B, Yalcinoz, T. Applications of New Power Line Communication Model for Smart Grids, *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol.7 No.3 (2015)
- [12] D. Henderson et al. The Theory and Practice of Simulated Annealing (*International Series in Operations Research & Management Science Book Series*) Ch.10, Springer, Vol.255
- [13] Markvart, T. , *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications* , 2003 Elsevier, Oxford, UK
- [14] Nowak,S. "Research and Development Needs in Solar Photovoltaic Energy Conversion", (Online) [Access: 13.03.2017].
- [15] TÇV (Türkiye Çevre Vakfi), *Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, No: 175, Önder Matbaacılık, Ankara, 2006.
- [16] Karaboga N, Kockanat S, ·Dogan H., The parameter extraction of the thermally annealed Schottky barrier diode using the modified artificial bee colony. Appl Intell (2013) 38:279–288, DOI 10.1007/s10489-012-0372-x.



Use of Waste Marble: Architectural Concrete

E. Tugrul Tunc^{1*}, K.E. Alyamac¹

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Firat University, Elazig, Turkey

Abstract

Waste management is a research object that is gaining importance every day in the World and Turkey. The studies in the literature in recent years show that important studies have been carried out on marble wastes. Since our country has a high amount of marble reserves, it has an important place in the world in terms of the marble potential. Marble wastes, which cannot be stored, have become an important factor that increases the environmental pollution because the marble industry has been developing day by day. The present study aims to ensure the recycling of waste marbles in our country and provide a different perspective on the utilization of waste marbles. For this purpose, firstly a series of concrete samples were prepared for different w/c ratios with fixed cement dosage using waste cherry marble and limestone aggregates. Some fresh and hardened concrete properties of concrete mixtures containing marble aggregates and reference concrete mixtures were compared using 150 × 150 × 150 mm concrete samples. According to the results obtained, a higher quality and performance concrete has been produced with marble aggregate. Then, it was planned to produce materials such as pencil, calendar, and decorative items from the existing waste marble within the scope of this study. Thus, it is aimed to obtain beneficial goods for people from these wastes which are harmful to the environment and to provide great economic benefits. It is thought that obtaining the mentioned products from the wastes of cherry marble peculiar to the Elazığ region will lead to great business opportunities especially for our province and advantages to create an economic market. In this study, it is thought that bringing useful and original products to the market thanks to the recycling of waste materials will be beneficial also for the private sector.

Keywords: Waste marble aggregate, waste management, recycling, architectural concrete.

1. INTRODUCTION

In recent years, increased consumption of materials through industrial growth has led to the rapid depletion of natural resources such as raw materials and energy. On the other hand, a significant amount of waste emerges with the increasing production, and these wastes cause a gradually increasing damage to the environment. Many countries and international organizations are attempting to minimize this damage and utilization of waste materials through new regulations. It is considered that using these wastes, which are not possible to be stored, as raw materials in the industry will provide great benefits both from environmental and economic aspects. Conventional materials such as clay, sand, stone, cement, brick, tile, whitewash, paint and steel are used in many different building components in the construction sector. All these materials are derived from existing natural sources, but their increased use causes serious damage to the environment. The harmful gas emissions during the production of these materials have a great negative effect on air, water, vegetation, animals, and human health and living conditions.

It is estimated that the production of 12 billion tons of waste in 2002, of which 11 billion tons is industrial waste, will globally increase to 25 billion tons in 2025. If no measure is taken, it is obvious that this will pose a great threat to the environmental health [1].

* Corresponding author. Tel.: +90 424-237-0000 / 5430; fax: +90 424-241-5526.

E-mail address: esratugrul@firat.edu.tr (E. Tugrul Tunc).

Marble waste is one of the most important problems of the marble industry. Not to utilize these waste materials leads to a major economic loss. Waste marble aggregates are obtained by breaking or processing the marble waste arising from the marble production.

In many studies in the literature, waste marble aggregates have been used instead of aggregates.

In the study by Binici et al. (2008), marble and granite wastes were used as the recycling aggregates in concrete and the mechanical properties such as the effect of these waste materials on the concrete strength were investigated [2]. Similarly, Martins et al. (2014) investigated the change in the mechanical performance of concrete with the use of marble aggregates [3]. In addition, Andre et al. (2014) have concluded that the use of waste marble aggregates in concrete is more appropriate in terms of concrete strength [4]. Moreover, a test was carried out by Tuğrul (2017b) for the cherry marble aggregate used in this study and positive results were obtained in terms of its usability in concrete [5].

Marble aggregates have been widely used in SCC. Uygunoğlu et al. (2014) investigated the use of recycled aggregates and waste marble in the production of self-consolidating concrete (SCC) [6]. Alyamaç et al. (2017) studied the usability of waste marbles in SCC instead of aggregates with the response surface method [7].

The present study aims to contribute to the environmental health as well as to the economy of the country by using cherry marble aggregates peculiar to the Elazığ region in concrete. Thus, it is aimed to prevent environmental pollution with the utilization of marble wastes remaining from the marble pieces processed in marble factories and to gain economic profit by using them. In addition, creating employment thanks to the architectural concretes obtained using marble aggregates is also a factor that will make this study important. This study is thought to be beneficial to the private sector by bringing useful and original products to the market thanks to the recycling of waste materials.

2. MARBLE POTENTIAL AND RECYCLING OF WASTE MARBLES

Recently, marbles and marble properties have been studied by many researchers. Marble is extracted from 700 quarries in Turkey. These quarries contain 1200 marble processing plants and 1600 workshops. The characteristics of the produced marble product should conform to the TS 699, TS 1910, TS 2513 standards [20, 21, 22]. Approximately 90% of the marble quarries with significant marble potential located in the west of Turkey are in Marmara Island, the Aegean Region, and Afyon province. The most important provinces in our country regarding available marble reserves and quarries are presented in Figure 1, together with their production rates and quantities.

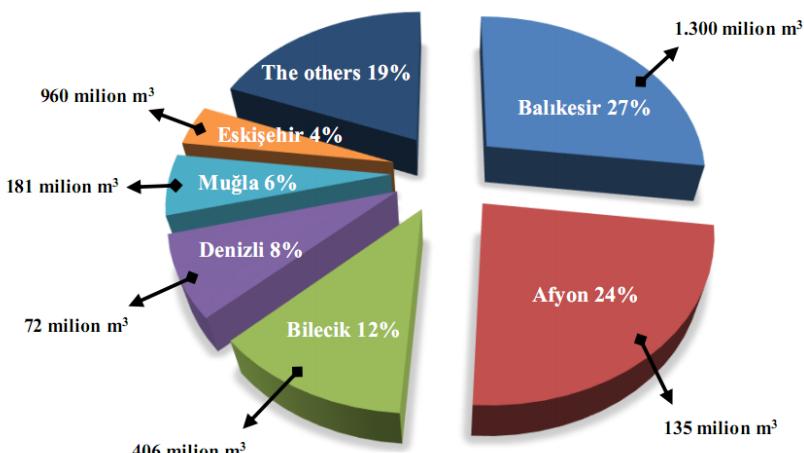


Fig. 1. Distribution of marble reserves and quarries in Turkey [1].

Marble powder is marble particles which are formed during cutting of blocks and plates in marble processing facilities and the majority of which is less than 300 microns. Yıldız and Eskikaya, (1995) and Onargan and Köse (1997) determined the total amount of marble powder generated when cutting and other marble processing phases as 30% of the processed marble on the average [8, 9]. The marble mud formed because of the use of water during the cutting of the marble blocks should also be taken into account [10]. According to Ceylan (2000), the marble mud is about 20% of the total marble processed [11]. Montero et al. (2009) investigated the use of marble mud instead of clay on the material properties. In this study, an increase was seen in the bending strength and a decrease in the water absorption properties [12].

As mentioned above, waste marble powder has been the subject of many studies since it has a significant potential. For example, Alyamaç and Tuğrul (2014) investigated the strength and usability of marble concrete samples they obtained using marble dust and broken marble fragments [13]. Alyamac and Ince (2009) investigated the mechanical properties of fresh and hardened SCC concrete they obtained using marble powder [14]. Baboo et al. (2011) used marble powder and granules as mortar and concrete components in their study. It was concluded that the use of marble powder and waste marble granules and the increase of their amounts in certain proportions have resulted in increased processability and compressive strength of concretes and mortars [15]. Similarly, in the study by Bilgin (2010), it was concluded that the permeability decreased, and processability and freezing and thawing strength increased when marble powder is used instead of concrete aggregates [16]. In addition, in the study by Ünal and Uygunoğlu (2004), where the optimum utilization rate of marble powder was investigated, it was concluded that the use of marble powder in the concrete mixture at a rate of 10% would be appropriate [17].

3. EXPERIMENTAL STUDY

3.1. Material Properties

The aggregate type with the largest grain diameter of $D_{max}=31.5$ mm of the waste of cherry marble extracted in Elazığ province was used in this experimental study (Figure 2). In addition, Elazığ calcareous aggregates with $D_{max}=31.5$ mm were used to produce reference concretes.



Fig. 2. Waste cherry marble aggregates: (a) Coarse; (b) fine; (c) medium [18].

The saturated dry surface specific weights and water absorption rates of the cherry marble and calcareous aggregates are presented in Table 1. As a result of the sieve analysis tests performed in the laboratory, it was determined that the granulometry curves of both cherry marble aggregates and calcareous aggregates are between the A32-B32 standard curves according to the TS 802 standard. In this respect, it is appropriate to use the present aggregates in the concrete mixture (Table 2).

Table I. Properties of the cherry marble and calcareous aggregates.

Cherry marble		Limestone	
S_{dyk}^{coarse} (g/cm ³)	2.65	S_{dyk}^{coarse} (g/cm ³)	2.70
S_{dyk}^{medium} (g/cm ³)	2.68	S_{dyk}^{medium} (g/cm ³)	2.69
S_{dyk}^{fine} (g/cm ³)	2.57	S_{dyk}^{fine} (g/cm ³)	2.71
S_a^{coarse} (%)	1.2	S_a^{coarse} (%)	0.8
S_a^{medium} (%)	1.4	S_a^{medium} (%)	1.0
S_a^{fine} (%)	1.8	S_a^{fine} (%)	1.4
<i>Los Angeles</i> (%)	32	<i>Los Angeles</i> (%)	46.2

where $S_{dykcoarse}$ = rough aggregate saturated surface dry unit volume weight, $S_{dykmedium}$ = medium aggregate saturated surface dry unit volume weight $S_{dykfine}$ = fine aggregate saturated surface dry unit volume weight, $S_{acoarse}$ = rough aggregate water absorption ratio, $S_{amedium}$ = medium aggregate water absorption ratio, S_{afine} = fine aggregate water absorption ratio.

Table 2. Gradation of the cherry marble and calcareous aggregates.

	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	Sieve diameter
Passing the sieve (%)	100	91	52	49	24	17	12	7	Cherry marble
	100	85	58	48	37	22	10	6	Limestone

The CEM I 42.5 N Portland cement was used in the present study. The initial setting time was 2.6 h and the final setting time was 3.5 h for the cement with the specific weight of 3 g/cm³. The Blaine specific surface area was 3490 cm²/g (Tuğrul, 2017b). According to the TS EN 197-1 standard, the 2-day, 7-day, and 28-day compressive strength values of the cement mortar were 25.8 MPa, 38.1 MPa, and 49.1 MPa, respectively (Tuğrul, 2015).

3.2. Design of Concrete Mixture

A series of concrete samples were prepared for different w/c (0.5-0.55-0.60) ratios using the cherry marble and calcareous aggregates by keeping the same cement dosage (400 kg/m³). Aggregates with different sizes and the cement and water weights (for 1 m³) forming the concrete mixtures (MC) containing marble aggregates and the reference concrete mixtures (LC) containing calcareous aggregates are presented in Table 3. The saturated dry surface weights of the aggregates in mixtures were taken into account.

Table 3. Design of concrete mixture and slump values.

	Cement (kg/m ³)	Coarse (kg/m ³)	Medium (kg/m ³)	Fine (kg/m ³)	w/c	Slump (cm)
MC1	400	434.1	436.4	830.2	0.5	0
MC2	400	421	423.1	805	0.55	2.5
MC3	400	407.8	409.9	779.8	0.6	12
LC1	400	708.9	87.4	976.1	0.5	2
LC2	400	687.4	84.8	946.5	0.55	14
LC3	400	665.9	82.1	916.9	0.6	14.5

A mixer with a vertical axis, which turns around its own axis at 1.5 cycles/second, was used to obtain the concrete samples with the mixture contents given in Table 2 (Figure 3-a). First, the cement and aggregates were added to the mixer and were mixed in the dry state for about 1 minute. Then, half of the water to be used was added and it was continued to be mixed for 1 minute more and the mixer was finally stopped after providing enough homogeneity. The concrete mixture obtained as a result of these procedures was ready for the slump test. A cut slump cone conforming to the TS EN 12350-2 standard [23] was used to identify the fresh concrete properties of the concrete samples (Figure 3-b). It was seen that the slump values of both concrete samples containing MC and the reference concrete samples containing LC increased with the increased water/cement (w/c) ratio. The lowest and the highest slump ratios were found in the MC1 and LC3 mixtures, respectively. In general, the slump values of the LC mixtures were higher than those of the MC mixtures.



Fig. 3. Pouring of concrete and determining the fresh concrete properties of the mixtures: (a) Concrete mixer; (b) Slump test

A total of 36 concrete samples were prepared to determine the hardened concrete properties of the MC and LC mixtures with 2 different aggregates, 3 different w/c rates (0.5-0.55-0.60), 3 different types of samples and 2 cubic samples ($150 \times 150 \times 150$ mm).

The prepared concrete samples were put into the curing pool at $23 \pm 2^\circ\text{C}$ and taken out of the pool at the end of the 28th day. The compressive strength tests were performed on the $150 \times 150 \times 150$ mm cubic samples with dried surfaces according to the TS EN 12390-3 standard [24] and the splitting tensile strength tests according to the TS EN 12390-6 standard [25].

4. TEST RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the strengths of the MC samples were compared with those of the LC samples produced as the reference for different water/cement ratios. As a result of the literature review, it was preferred to use calcareous aggregates in the reference concrete samples prepared for this study. For example, in the study by Tuğrul (2017a), another calcareous aggregate having the characteristics similar to those of the calcareous aggregate used in this study and the strengths of the concrete samples obtained were investigated [19]. In addition, there was a good conformity between the results of the compressive strength and the tensile strength tests. Table 4 shows the results of the tensile strength and tensile strength tests of all samples prepared.

Table 4. Design of concrete mixture and slump values.

	MC1	MC2	MC3	LC1	LC2	LC3
f_c (MPa)	44.3	40.5	37.8	43.6	39.1	35.1
f_t (MPa)	4.89	4.75	4.44	4.61	4.5	4

According to Figure 4a, the compressive strength values decreased as the w/c ratios increased in both MC and LC samples. In Figure 4a, it was seen that the compressive strength values of the MC samples were higher than those of the reference LC samples. This difference increased prominently as the w/c increased. It was seen that there was an increase of approximately 1.6% in the compressive strength for w/c=0.50, 3.6% for w/c=0.55 and 7.7% for w/c=0.60. In addition, it can be seen that there was a higher decrease in the compressive strength as the w/c increased from 0.50 to 0.55. In general, the fact that the compressive strength results are between 37.8-44.3 MPa for the MC mixtures and between 35.1-43.6 MPa for the LC mixtures shows that these two aggregate types can be safely used in concrete mixtures. Particularly, it was concluded that the quite large reserves of marble aggregate in our country could be beneficial for high quality and performance concrete production and lead to positive results for the economy and the environment. In Figure 4b, the change of splitting tensile strength depending on the w/c ratio is in the way of linear decrease as is the case in Figure 4a. In Figure 4b, contrary to the Figure 4a, it is seen that there is a higher decrease in the splitting tensile strength as the w/c ratio increased from 0.55 to 0.60.

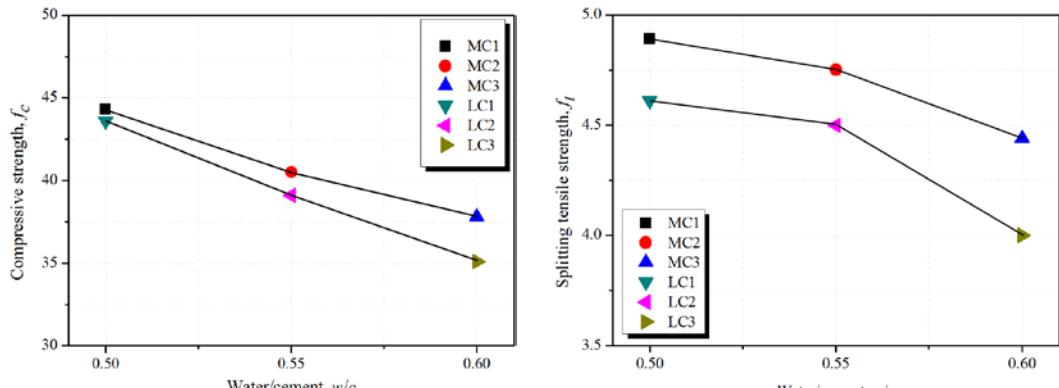


Fig. 4. The change of strength values of 150x150x150mm cubic samples with w/c: (a) for the compressive strength; (b) for the splitting tensile strength

Figure 5 shows the correlation between the compressive strength and the splitting tensile strength of all concrete samples prepared. A linear increase is seen in the graph. The high correlation coefficient shows that the compressive strength and the splitting tensile strength have changed in proportion to each other.

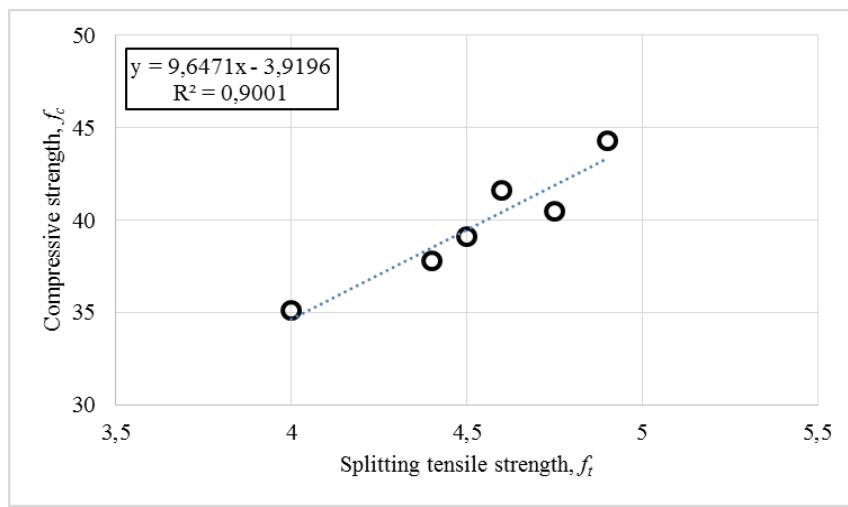


Fig. 5. Change of compressive strength values of standard cubic samples with the splitting tensile strength for different w/c ratios.

5. PRODUCTION OF ARCHITECTURAL CONCRETE WITH MARBLE WASTES

In this experimental study, it was stated in previous chapters that quite good results can be obtained in terms of strength by using waste marble aggregate in concrete. In this chapter, a different perspective is presented with architectural concrete mixtures produced with waste marble aggregates. Thus, it is seen that waste marble aggregates can be used in the production of office and decorative items. The materials produced in this study are completely original. The work performed in this chapter is as follows:

Firstly, the molds for the products to be obtained were prepared and the concrete casting was carried out by using the mixture content given in the previous chapter. The samples removed from molds were put into the curing pool and the samples gained strength were taken out of the curing pool at the end of the 28th day. As a result of these works, recycled pens, table-top calendars, office decorations, and similar products were made from waste cherry marble (Fig. 6).



Fig. 6. Castings made for architectural concrete production

It was tried to obtain an aesthetic appearance with the procedures such as surface cutting and polishing to make the decorative marble samples final usable products. Complementary products were made with waste steel materials to ensure the integrity of the products. In addition, in the desk calendar, the apparatus manufactured in the laboratory was used to easily provide portable rotation. The prototype products obtained are presented in Figure 7.



Fig. 7. Architectural concrete produced from waste cherry marble

6. CONCLUSIONS

The results obtained from the present study which aims find ways to utilize waste marble with recycling both in conventional concrete and architectural concrete are presented below.

- Waste marble aggregates have been found to increase the compressive strength and the splitting tensile strength of the concrete. This has been confirmed by a comparison with the reference concrete.
- It was seen that the compressive strength and the splitting tensile strength decreased with the increasing w/c ratio in all concrete samples prepared in this study.
- A linear change and a fairly good conformity were obtained between the compressive strength and the splitting tensile strength values.
- The idea of creating a new economic market was created with architectural concrete products produced by using waste marble fragments. Thus, it was possible to convert waste marbles, which cause environmental pollution, into office and decorative items. It is considered that this study will provide great benefits to the economy of the country.

REFERENCES

- [1] Çetin, T., (2003). Türkiye Mermer Potansiyeli Üretimi ve İhracatı, GÜ Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 23(3), 243-256.
- [2] Binici, H., Shah, T., Aksogan, O. and Kaplan, H., (2008). Durability of concrete made with granite and marble as recycle aggregates. Journal of materials processing technology, 208(1-3), 299-308.
- [3] Martins, P., Brito, J. D., Rosa, A. and Pedro, D., 2014. Mechanical performance of concrete with incorporation of coarse waste from the marble industry. Mater. Res. 17(5), 1093-1101.
- [4] André, A., de Brito, J., Rosa, A. And Pedro, D., (2014). Durability performance of concrete incorporating coarse aggregates from marble industry waste. Journal of Cleaner Production, 65, 389-396.
- [5] Tuğrul, T., E., (2017b). Investigation of Abrasion Resistance of Alacakaya Cherry Marble. 8th International Advanced Technologies Symposium, (4158-4166), 4012-4020.
- [6] Uygunoğlu, T., Topçu, İ. B. and Çelik, A.G., (2014). Use of waste marble and recycled aggregates in self-compacting concrete for environmental sustainability. Journal of cleaner production, 84, 691-700.
- [7] Alyamac, K. E., Ghafari, E., Ince, R., 2017. Development of eco-efficient self-compacting concrete with waste marble powder using the response surface method. J. Clean. Prod. 144, 192-202. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.156>.
- [8] Yıldız, Ö. and Eskikaya, Ş., (1995). Afyon Mermeri Toz Atıklarının Değerlendirilmesi. Türkiye I. Mermer Sempozyumu Kitabı, 45-52.
- [9] Onargan, T. and Köse, H., (1997). Mermer. Geliştirilmiş II. Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, No: 220, Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir.
- [10] Alyamac, K. E. and Ince, R., (2007). Investigation of Effect of Curing Time on Fracture Parameters of Concrete. In 8th International Fracture Conference (pp. 600-608).
- [11] Ceylan, H. (2000). Mermer fabrikalarındaki mermer toz atıklarının ekonomik olarak değerlendirilmesi (Master thesis, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [12] Montero, M.A., Jordan, M.M., Hernandez-Crespo, M.S. and Sanfeliu, T., 2009. The Use of Sewage Sludge and Marble Residues in the Manufacture of Ceramic Tile Bodies.
- [13] Alyamac, K. E., Tugrul, E., 2014. A Durable, Eco-Friendly and Aesthetic Concrete Work: Marble Concrete. In 11th Int. Cong. Adv. Civ. Eng. (ACE 2014), 50, 21-25.
- [14] Alyamac, K. E. and Ince, R., (2009). A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders. Construction and Building Materials, 23(3), 1201-1210.
- [15] Baboo, R., Khan, N. H., Abhishek, Kr., Tabin, RS and Duggal, S.K., (2011). Influence of Marble powder/granules in Concrete mix. International Journal of Civil and Structural Engineering, 1, 827-834.
- [16] Bilgin, N., (2010). Mermer Tozu Atıklarının Yapı Malzemeleri Üretiminde Kullanımı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [17] Ünal, O., ve Uygunoğlu, T. (2004). Afyon Mermer Tozu ve Soma Uçucu Kül Katkılı Betonların Donma-Çözülme Özellikleri ve Ekonomik Değerlendirilmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 83-88.
- [18] Tugrul, E., (2015). Aregaların Aşınma Dayanımlarının Farklı Şartlar Altında İncelenmesi, Fırat University, Master Thesis.
- [19] Tuğrul, T., E., (2017a). Investigation of the Compressive Strength of Haroğlu Calcareousand its Usability in Concrete. 8th International Advanced Technologies Symposium, (), 3721-728.

- [20] TS 699, 1987. Tabii Yapı Taşları–Muayene ve Deney Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [21] TS 1910, 1977. Kaplama Olarak Kullanılan Doğal Taşlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [22] TS 2513, 1977. Doğal Yapı Taşları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [23] TS EN 12350-2, 2002. Beton – Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [24] TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [25] TS EN 12390-6, 2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.



Determination of Los Angeles Abrasion Loss of the Basalt Aggregate Type of Elazığ Province

E.T. Tunc^{1*}

¹*Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Firat, Elazig, Turkey.

Abstract

Aggregates to be used in the concrete manufacture or in places where concrete is to be subjected to abrasion should be resistant to abrasion. Since aggregate forms a large part of the concrete volume, it is planned to produce concrete resistant to external effects by using an aggregate type with high abrasion strength. This study aims to determine aggregates with high abrasion strength and makes them available to application engineers so that they can be used in the concrete manufacture. The present study investigates the abrasion strength of basalt aggregates extracted in Elazığ province. The abrasion strengths of the said aggregates were experimentally analyzed under different conditions by changing the Los Angeles (LA) parameters. A series of experiments have been carried out to investigate the effects of increasing numbers of balls and revs on the abrasion strength. The abrasion tests were performed separately for the basalt aggregates used in the experiments to evaluate the effect of each parameter on the abrasion strength. Firstly, the effect of increasing number of abrasive balls was investigated. Then, in addition to the experiments performed in the first group, abrasion tests were performed for different numbers of revs to analyze the correlation between the abrasion and the numbers of revs. The tests showed that as the numbers of balls and revs increased, the LA values of the aggregates increased, and the abrasion strengths decreased. When compared to other aggregates used in other studies in the literature, it was determined that the basalt aggregate extracted in Elazığ province had a quite high abrasion strength. It is considered that a high quality and performance concrete will be obtained with the use of the present aggregate.

Keywords: Basalt aggregate, Los Angeles value, abrasion strength, concrete.

1. INTRODUCTION

Aggregates are granular materials such as sand, gravel, and ballast that are used together with cement and water in the manufacture of concrete. The abrasion strength of concrete is closely related to an aggregate's abrasion strength. Postacioğlu (1987) ve Baradan (1991) stated that concretes used in roads and airports are under the impact and abrasion effects and therefore the abrasive strengths of coarse aggregates used in the making of these areas should have a high abrasion strength. Since the amount of cement in concrete is less than the amount of aggregate, the actual abrasion acts on the aggregate. In this respect, the use of abrasion resistant hard aggregates in the concrete manufacture increases the resistance of concrete against abrasion [1, 2]. Poitevin (1999), investigated the usability of limestone, a hard aggregate type resistant to abrasion, in concrete to increase the strength of concrete against abrasion and its effect on the mechanical properties of concrete [3].

Akulut et al., (2006) performed the Los Angeles abrasion tests on the (A and B) aggregates procured from 2 different stone pits to be used in the road pavements in Afyonkarahisar. At the end of the Los Angeles test, the abrasion loss values were found as 15.2% for the sample A and as 27.3% for the sample B [4]. Similarly, Turabi and Okuyucu (2007) analyzed the abrasion strength of 3 different types of aggregate used in the roadworks of Balıkesir province and investigated the availability of base course according to the Roads

* Corresponding author. Tel.: +90 346-219-1010/2314; fax: +90 346-219-1241.

E-mail address: iciea2018@gmail.com (H. Esen).

Technical Specifications. The Los Angeles experiment was carried out on the aggregates from three different stone pits. According to the results of the experiment, the abrasion losses were 27%, 15%, and 23 %, respectively [5]. Rangaraju et al. (2008), analyzed the effects of aggregate gradation on the abrasion losses found in the micro deval and LA abrasion tests. These values were found to be in accordance with NCHRP 04-19 (NCHRP 04-19 study recommendation of maximum loss of 18%) [6].

Karpuz and Akpinar (2009) investigated the effect of the fine aggregate type used in roads on the abrasion strength. They applied the Böhme abrasion test to concrete samples manufactured with limestone, basalt, and limestone + basalt aggregates. The abrasion strength values were found to be 33.1% for limestone aggregates, 21.3% for basalt aggregates and 27.8% for limestone + basalt aggregates [7]. Yilmaz et al. (2011) investigated the conformity of the abrasion strength of ballasts produced in Afyonkarahisar breaking and screening plant to the Concrete Aggregates Standard. They used the Los Angeles (impact abrasion) test to determine the abrasion strength of coarse aggregates. The aggregate abrasion strength values obtained were low. This was in accordance with conditions stipulated in the Standards and there was a high resistance to mechanical effects [8]. Alyamac and Tugrul (2014) investigated the use of marble in concrete in their work, which included the Los Angeles abrasion loss values of marble aggregate [9]. Tuğrul (2017a) performed a series of Los Angeles abrasion tests to determine the abrasion strength of the marble aggregate. According to the results obtained, it was determined that the abrasion strength of the marble aggregate conforms to the standards [10]. In Tuğrul 2017b, the availability of limestone aggregate belonging to Elazığ region was investigated and positive results were obtained [11].

The present study includes a series of Los Angeles abrasion experiments conducted to investigate the change in abrasion strength of basalt aggregates extracted in the Elazığ province, under different conditions. The increasing numbers of balls and revs are the parameters of this experimental study. The study aims at achieving both economic and environmental benefits by using the aggregate which has a high abrasion strength and is easily procured. Thus, it is thought that a high quality and performance concrete will be obtained.

2. BASALT

Basalt is an important stone from the gabbro family. Being a volcanic rock is the most important feature of basalt. It was created by volcano eruptions. Basalt, which is not affected by natural conditions, hard, almost no water-absorbing, fine-grained, dense, and resistant to heavy loads, is found in black, gray and smoky colors in nature (Figure 1). Its most distinct feature is that it has a hard structure compared to other stones. It is at the forefront with its durability and has a high abrasion strength. Basalt is a quite abundant rock which is easy to find. This has increased its usage areas even more. Concretes containing basalt aggregates are widely used as building materials since they have a high compressive strength. Basalt aggregates are generally preferred in building constructions, pavements, roads as stone chips, garden walls, decorative applications, bridges, coatings, landscaping applications, and railways.



Fig. 1. Basalt aggregates of Diyarbakır – Ergani

Korkanç and Tuğrul (2003) investigated the usability of the basalt extracted in Niğde province as the concrete aggregate. The experimental studies were conducted by using Melendiz basalts (PK, PS, BB, B, AS, and AAS), Karataş basalts (E, KE, K, and O), and İğredağı basalts (I) in the region. The results of the aggregate

impact value (AIV) and Los Angeles (LA) abrasion strength tests performed to determine the mechanical properties of these basalts are given in Table 1 [12].

Table I. Abrasion test results of the basalt aggregates [12].

Basalt	(AIV) %	(LA) %
PK	5.76	14.24
PS	5.58	14.78
BB	5.85	18.65
B	5.02	16.73
AS	6.99	18.54
AAS	5.45	15.43
E	5.12	12.87
Ke	4.89	14.72
K	5.44	18.74
O	7.59	21.30
I	6.06	15.41

According to the results of the Los Angeles abrasion test, the basalt E had the highest abrasion strength (12.87 LA %), and the basalt O had the lowest abrasion strength (21.30 LA %). According to TS 706 EN 12620+A1, the limit value of abrasion was determined as LA=50%. When all results obtained are examined, it is seen that basalt aggregates are quite resistant against abrasion [12].

3. EXPERIMENTAL PROGRAM

3.1. Materials

The basalt aggregates belong to a private ready-mixed concrete company in Harput Elazığ were used in this experimental study (Figure 2).



Fig. 2. Elazığ province basalt aggregates in the stone pit, (a) coarse aggregate, (b) medium aggregate, (c) fine aggregate [13]

The granulometry curve for basalt aggregate mixtures with the largest grain diameter of 31.5 mm is presented in Figure 3. The best compactness is provided by the curve graph of the mixture (excluding 16.0mm and 0.125mm) corresponding to the A32-B32 region. According to TS 802 [14], it is seen that the basalt aggregates used in the present study are suitable in this regard (Figure 3).

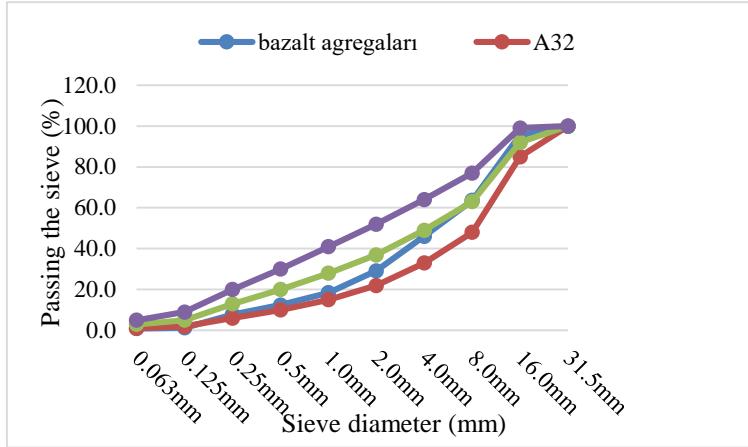


Fig. 3. The granulometry curve of basalt aggregates

The physical properties of the basalt aggregates used in this experimental study such as saturated dry surface specific weights and water absorption rates are presented in Table 2.

Table 2. Physical properties of basalt aggregates.

Saturated surface dry specific weight of aggregates (coarse aggregate), S_{dsd}^{coarse} (g/cm ³)	2.85
Saturated surface dry specific weight of aggregates (medium aggregate), S_{dsd}^{medium} (g/cm ³)	2.86
Saturated surface dry specific weight of aggregates (fine aggregate), S_{dsd}^{fine} (g/cm ³)	2.79
Water absorption (coarse aggregate), S_a^{coarse} (%)	0.7
Water absorption (medium aggregate), S_a^{medium} (%)	0.8
Water absorption (fine aggregate), S_a^{fine} (%)	1.4

3.2. Los Angeles Abrasion Test

The Los Angeles abrasion test was carried out considering the TS EN 1097-2 or ASTM C 131 standard [15, 16] to determine the abrasion strength of the said basalt aggregates.

The present tests were performed using the Los Angeles abrasion test device in the Building Materials Laboratory of Firat University (Figure 4). A total of 5000 g basalt material conforming to the standard (TS 706 EN 12620+A1) [17], 2500 g from the coarse-grained material and 2500 g from the medium-grained material, was washed for the experiment and weighed after being dried in a drying-oven at 110±5°C. This procedure was continued until the sample reached a constant weight. The balls and dried samples were put in a drum that rotates at 31-33 revs per minute at a constant rate and the cover was closed, and this procedure was completed after 500 revs. The test samples were sieved through a 1.4 mm aperture size sieve and the samples remaining on the sieve were weighed. Following these procedures, the LA abrasion was determined in accordance with the TS EN 1097-2 Standard [15].



Fig. 4. Los Angeles abrasion device, (a) closing drum before abrasion, (b) after abrasion

4. EXPERIMENTAL FINDINGS

In this chapter, the abrasion strength of the present basalt aggregates was analyzed experimentally under different conditions by changing the Los Angeles (LA) parameters. A series of experiments were carried out to investigate the effects of increasing ball number and rev number parameters on the abrasion strength. The abrasion tests were carried out separately with basalt aggregates used in the experiment to evaluate the effect of each parameter on the abrasion strength. The experiments were performed for 12 balls (5000 g), 18 balls (7500 g) and 24 balls (10000 g). The number of revs, however, were set as 500, 1000, 1500, and 2000 revs. At the end of the Los Angeles abrasion experiments, the appearances of the materials passing through the 1.4 mm sieve and the remaining materials are shown in Figure 5.



Fig. 5. Oversize – undersize remaining amounts of abraded basalt aggregates, (a) 12 balls, (b) 18 balls, (c) 24 balls

The Scanning Electron Microscope (SEM) test was performed using the EDX micro-analysis device to investigate the microstructure of basalt aggregates. The magnification of the SEM image was chosen as $\times 5000$ (Figure 6). An analysis of the elementary structure of the aggregate showed a porous microstructure. However, the thicknesses of these microcracks were low.

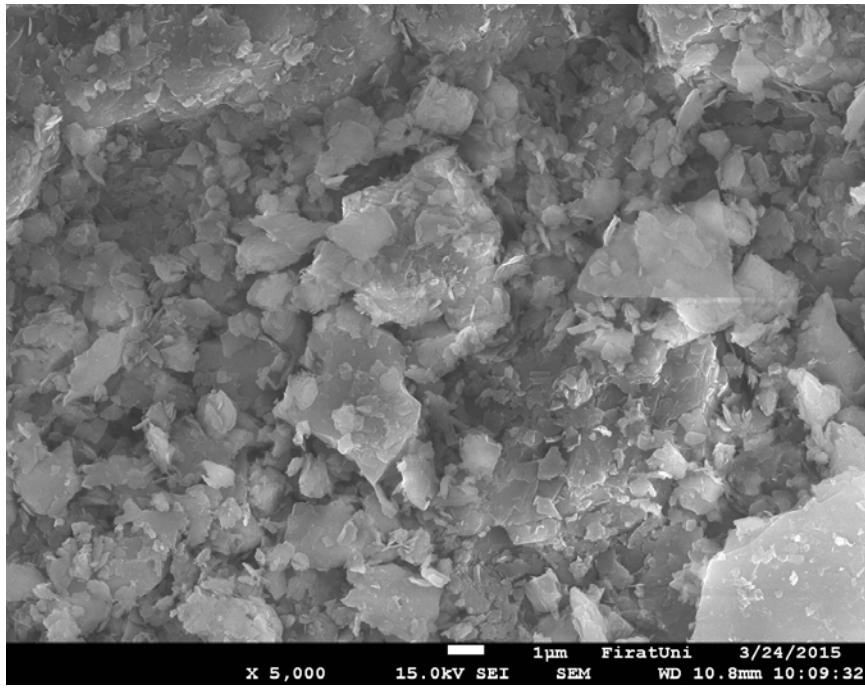


Fig. 6. SEM image for $\times 5000$ magnification

In the first group experiments, the correlation between the increased number of balls and revs and the LA (%) value was investigated. For this purpose, the balls with constant weight and diameter were increased 6 pieces each and the tests were performed with 12, 18, and 24 balls. According to the results obtained from the tests, as the number of revs increased (500–1000–1500–2000), the LA value increased and therefore the abrasion strength decreased. According to the TS EN 1097-2 Standard, the standard abrasion strength test is performed with 12 balls and 500 revs. These calculated values should not exceed maximum 10% for 100 revs and 50% for 500 revs according to the TS 706 abrasion limit value. In the abrasion tests performed for 500 and 1000 revs, it was seen that the LA % was under the limit condition. The LA (%) value did not decrease much even in the abrasion tests performed with 24 balls and 2000 revs where the total ball weight was very high. This shows that the abrasion strength of basalt aggregates was quite high (Figure 7).

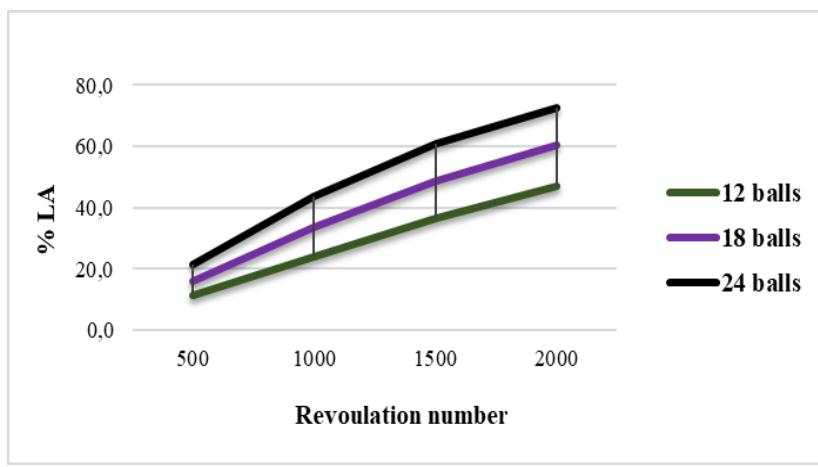


Fig. 7. The change of LA (%) values with the increasing numbers of balls and revs

In the second group experiments, in addition to the experiments carried out in the first group, the correlation between the increasing numbers of revs and the number balls and the LA (%) value was investigated. For this purpose, the number of revs was increased 500 each and the abrasion tests were performed for 500, 1000, 1500, and 2000 revs. According to the Figures 7 and 8, it was seen that the LA (%) value increased with the increased numbers of balls and revs and therefore the abrasion strength of basalt aggregates decreased.

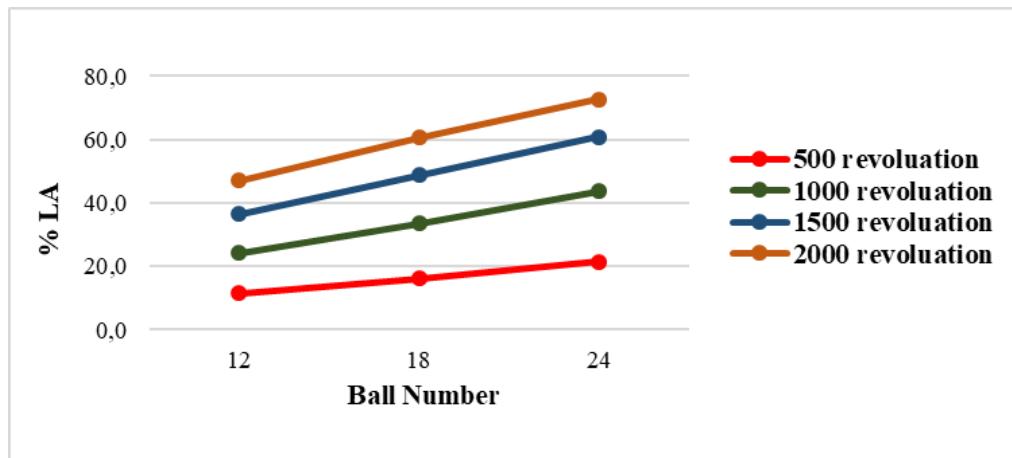


Fig. 8. The change of ball numbers and LA (%) values for the increasing numbers of revs

5. CONCLUSIONS

In the present study, the abrasion strength of basalt aggregates was experimentally investigated with the increasing number of balls and increasing number of revs parameters. It is known that there is a close correlation between the abrasion strengths and the compressive strengths of aggregates. Aggregates with high abrasion strength should be used to produce high quality and performance concrete. In the present study, the abrasion strength of the basalt aggregates of Elazığ province and the following results were obtained:

- As the number of balls increased (12-18-24 balls) the abrasion strength of aggregates decreased, and the LA values increased, and the increased number of balls reduced the abrasion strength.
- The abrasion strengths of the aggregates decreased with the increased number of revs (500-1000-1500-2000 revs), and the increased number of revs reduced the abrasion strength of aggregates.
- The lowest LA (%) value was obtained in tests performed for 12 balls and 500 revs. This value is fairly below the limit values given in the TS 706 standard. Thus, it was concluded that the said aggregate had a quite high abrasion strength.
- The standard LA value of the basalt aggregate of Elazığ province used in this study was determined as 11.5%, and it is thought that high-strength concretes can be obtained with the use of these aggregates in the concrete manufacture.
- The highest LA (%) value was obtained from the abrasion tests performed for 24 balls and 2000 revs and the LA value was determined as 72.6%.
- According to the SEM analysis, there was a porous microstructure, while the pore spaces were not too open.

REFERENCES

- [1] Postacıoğlu, B., “Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton”, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt II, s. 211,323, İstanbul, 1987 in Turkish].
- [2] Baradan, B., (1991). Yapı malzemesi II (Bağlayıcı Maddeler, Agrega, Beton), Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, No:207, s.204, İzmir [in Turkish].
- [3] Poitevin, P., (1999). Limestone aggregate concrete, usefulness and durability, Cement and Concrete Composites, 21, 89-97.
- [4] Akbulut, H., Çetin, S. ve Gürer, C., 2006. Afyonkarahisar Bölgesi’nden elde edilen bir volkanik agreganın aşınma özelliklerinin belirlenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 1, 37-42.f.2002 [in Turkish].
- [5] Turabi, A. ve Okucu, A., 2007. Balıkesir ili yol çalışmalarında kullanılan agregaların özellikleri ve şartnameye uygunluğu, BAÜ FBE Dergisi, 9(1), 45-51 [in Turkish].
- [6] Rangaraju, P.R. and Edlinski, J., 2008. Comparative evaluation of Micro-deval abrasion test with other toughness/abrasion resistance and soundness tests, Journal of Materials in Civil Engineering © ASCE, 20, 343-351.
- [7] Karpuz, O. ve Akpinar, M.V., 2009. İnce agrega türünün kaplama betonun aşınma direncine etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(2), 1-8 [in Turkish].

- [8] Yılmaz, F., Koltka, S. ve Sabah, E., 2011. Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) kireçtaşlarının beton agregaları standartına uygunluğunun araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11, 1-12 [in Turkish].
- [9] Alyamac, K. E., Tugrul, E., 2014. A Durable, Eco-Friendly and Aesthetic Concrete Work: Marble Concrete. In 11th Int. Cong. Adv. Civ. Eng. (ACE 2014), 50, 21-25.
- [10] Tuğrul, E., (2017a). Investigation of Abrasion Resistance of Alacakaya Cherry Marble. 8th International Advanced Technologies Symposium, (4158-4166),4012-4020.
- [11] Tuğrul, E., (2017b). Investigation of the Compressive Strength of Haroğlu Calcareousand its Usability in Concrete. 8th International Advanced Technologies Symposium, (4158-4166),4012-4020.
- [12] Korkanç, M. ve Tuğrul, A., 2003. Niğde yöresi bazaltlarının beton agregası olarak kullanılabilirliği, 3. Ulusal Kirmataş Sempozyumu, 99 [in Turkish].
- [13] Tugrul, E., (2015). Agregaların Aşınma Dayanımlarının Farklı Şartlar Altında İncelenmesi, Fırat University, Master Thesis [in Turkish].
- [14] TS 802, 2016. Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara [in Turkish].
- [15] TS EN 1097-2, 2010. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara [in Turkish].
- [16] ASTM, C 131, (1989). Standard test method for resistance to degradation of small.
- [17] TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara [in Turkish].



Creating Hydroxyapatite by Hydrothermal Method in Ti6Al4V Alloy Surface

K.Yaman^{1*}, N. Ozdemir²

^{1,2}Department of Metallurgy and Materials Engineering, Firat University, Elazig, Turkey

Abstract

Due to the structural properties of titanium and its alloys, it has many advantages over most metals. Especially in the important fields such as health, automotive and aviation, great interest has been widespread in recent years. The increased use of titanium in many areas has increased the research and experimental work on this alloy. Coatings made on the surfaces of titanium and its alloys protect the material against environmental influences and increase its strength. In this study, hydroxyapatite was formed by hydrothermal method on the surface of Ti6Al4V alloy. The surfaces of Ti6Al4V alloys were pretreated using the sanding method. The obtained samples were surface coated using hydrothermal method which is one of hydroxyapatite methods. When surface coating is performed, different temperature or time values are applied for each sample. Six specimens were divided into two groups and experimental study was carried out. The three samples in the first group were heated at 180°C for 18, 24 and 30 hours, respectively. The three samples in the second group were heated at 200°C for 18, 24 and 30 hours, respectively. Scanning Electron Microscope, X-Ray Diffraction and Atomic Force Microscopy instruments were used for the analysis of the obtained samples. The effect of temperature and time parameters was examined by comparing the analysis results of each sample.

Keywords: Ti6Al4V, Hydrothermal, Hydroxyapatite, Scanning Electron Microscope.

1. INTRODUCTION

Titanium and its alloys are used in industrial, chemical and many other areas. When examined from the standpoint of its properties, it is superior to other metals. In recent years, the use of titanium has increased in the air and marine industries. The strong structure of titanium, its rigid structure, its lightness, its resistance to high temperature and its resistance to corrosion make it widely used. Along with the developing technology in the last thirty years, metal processing methods are also developing. Parallel to this development, biomedical field use is increasing. In recent years, it has significantly increased the use of titanium and its alloys in medical and dental operations [1].

Metals, ceramics, polymers and composites used to support organs and tissues in the human body are called biomaterials. The most important characteristic of biomaterials is their compatibility with the body. When these materials are used inside the body, they do not prevent the development of the surrounding tissues. It also does not create undesirable conditions such as inflammation and clots in the body. Titanium and its alloys, which are well-connected to the bone and easily accepted by tissues, are widely used biomaterials [2]. There are many factors that enable the use of titanium and its alloys in biomedical fields. Titanium has a mechanically resistant structure. If these alloys come into contact with oxygen in the air, no oxide layer is formed. The coating of titanium and its alloys with other metals does not cause galvanic flux in the body. The materials made of titanium and its alloys are compatible with the structure of the bone.

There are many studies in the literature about titanium and its alloys. Mustafa [3] studied the formation of intermetallic coating on the pure titanium sample surface in his master thesis study. The Electro Spark

* Kubra YAMAN. Tel.: +90 539-239-7353.

E-mail address: kpeldek@gmail.com (K. Yaman).

Accumulation (ESD) method is used to improve the surfaces of titanium samples [3]. Titanium samples of commercial purity were used in experimental studies. Applied the Electro Spark Accumulation method using aluminum rods in commercial purity. Ozgur [4] has developed an application to study the oxidation behavior and characterization of titanium and its alloys. It is aimed to increase the wear resistance of titanium alloys. He also tried to increase the biocompatibility of titanium alloys. Parameters such as voltage, solution type and molarity were used in the oxidation experiment. Thus, in the experiments using phosphoric and sulfuric acid solutions of titanium, Ti6Al4V and Ti6Al7Nb alloys in commercial purity, the behavior of the samples was investigated and analyzed. The roughness of the titanium samples was examined and scanned electron microscopic images were obtained [4]. Hakan [5] has done plasma nitration and refinement of the surface properties of titanium and its alloys at high temperature values of 600, 700, 800 degrees. Results were obtained using different durations, such as 2,4 and 9 hours, as the nitration process. Nitration has been applied on samples such as titanium and alloys in commercial purity. As a result of the application, the surface roughness was analyzed by using a set of measurements on the samples, phase analysis using X-ray Diffraction (XRD) and Atomic Force Microscopy (AFM) [5]. Eyup [6] improved the surface properties of Ti6Al4V alloy by heat treatment. As a result of the heat treatment, samples and original samples were analyzed with optical microscope and scanning electron microscope, surface scratch test, surface roughness and hardness measurements. The thickness of the scratch on the original sample before heat treatment was 178 μm , but this value decreased by about half with thermal treatment. In addition, with increasing hardness, surface scratch resistance increased while friction coefficient values and line thickness decreased [6].

Yetiskan [7] analyzed the effect of thermal oxidation on the surface of the CP-Ti and Ti6Al4V alloy and on the corrosion resistance. Thermal oxidation processes have been tested for varying temperature and time parameters in a vacuum environment. Analyzes of oxidized samples and original samples as a result of thermal oxidation were examined by optical microscope studies, surface roughness, settling measurements and X-ray diffraction analyzes. Scratches and corrosion tests were carried out on samples prepared under thermal oxidation conditions according to the results obtained in the analysis [7]. Onder [8] coated hydroxyapatite on Ti and Ti6Al4V by electrophoresis. In the Baki master thesis study [9], the surface characterization of Ti6Al4V alloy was investigated by hydroxyapatite coating with HVOF technique [9]. Ahmet [10] was analyzed by coating the Ti6Al4V alloy with hydroxyapatite derived from egg shell using the sol gel method. In Ugur graduate thesis study, hydroxyapatite coating was performed by electrophoretic deposition of Ti6Al4V implants [11]. Kubra [12] made preparation and characterization of titanium implants by electrophoretic deposition method in his master's thesis. The surface of the titanium plates is roughened by sanding and anodic treatment is performed in the ethylene glycol electrolyte solution at different stresses. Thus, the surface area on the titanium surface is increased at the nano-size. The characterization of the surface of the titanium plates was followed by Scanning Electron Microscopy (SEM), chemical analysis with energy dispersive X-Ray Spectroscopy (EDX) measurements.

Hakan [13] analyzed the electrochemical behavior of the titanium implant with different superstructure pairs. Retention, prepared from four different alloys using eight titanium implants, was combined with two groups of superstructures. The electrochemical behavior of the obtained samples was investigated. Also investigated the effects of alloy corrosion resistance. Soykan [14] examined the surface properties of modified titanium surface material and the bacterial involvement effect. He used type 4 titanium material in his work. Using a total of 20 titanium discs with a diameter of 4 mm and a thickness of 1 mm, we operate on all samples. Ten of the samples were subjected to surface coating with plasma polymerisation method under the same conditions and the other 10 were used as the control group. The roughness of the surface is measured using atomic force microscopy. Yavuz [15] investigated the characterization of the samples obtained by thin-film HAP coating on the titanium surface with sol gel and biomimetic methods. XRD, SEM, XPS, FTIR, AFM and DSC / TG analyzes of the structural properties of coatings on titanium surfaces. The analysis showed that hydroxyapatite coatings prevented corrosion over 90% compared to pure titanium.

In this study, HAP (hydroxyapatite) coating is aimed by hydrothermal method on Ti6Al4V titanium alloy surface used in set texture manufacturing. Then surface properties of surface hydroxyapatite coated alloys are investigated. In order to process 6 samples, the surfaces are first polished. 100,240,360,500,600,800,1000 and 1,200 mesh abrasive papers were used when polishing. After the titanium samples are polished, hydroxyapatite is formed using the Pirenha solution. Analyzes were carried out using X-ray diffractometer and scanning electron microscope to analyze the coatings obtained on the samples. In the related literature, there is no study on the formation of hydroxyapatite by the hydrothermal method (HAP) on the Ti6Al4V titanium alloy surface. For this reason, the results to be produced without working are important and are the original aspects of the work.

2. EXPERIMENTAL

Six Ti6Al4V alloy samples were used in this study. The dimensions of the samples are 3x25x25 mm. hydrothermal method was used to create Hydroxyapatite on the surfaces of the samples. In this study, Hydroxyapatite was formed by hydrothermal method on Titanium alloy surface. When studies in the

literature are examined, many methods of producing hydroxyapatite are seen. The methods of producing hydroxyapatite are:

- Hydroxyapatite synthesis by precipitation methods
- Hydroxyapatite synthesis by sol gel method
- Hydroxyapatite synthesis by hydrothermal method
- Hydroxyapatite synthesis through recovery from natural materials

The hydrothermal method allows the synthesis of particles with excellent crystal quality if the reaction temperature is below 200 °C [16]. The synthesis is carried out in a closed vessel without environmental external influences. Pirenha solution was prepared for hydrothermal method application. The chemicals and amounts used in the prepared Pirenha solution are given in Table 1.

Table I. The chemicals and amounts used in the Piranha solution

Chemicals	Amounts
H ₂ O ₂ Hydrogen Peroxide compound	7 ml
H ₂ SO ₄ Sulfuric acid compound	14 ml
0.20 Mol CaO Calcium Oxide	1.1807 g
0.20 Mol Citric acid	1.0507 g
0.12 Mol Potassium	0.396 g
Ammoniac	14-25 drops

After the titanium samples are polished, the hydroxyapatite is coated using the Pirenha solution. Pirenha solution is prepared and prepared with the sample is used.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, six Ti6Al4V alloys with dimensions of 3x25x25 mm were used. The surfaces of the samples are polished by sanding. Hydrothermal method was used to form Hydroxyapatite on the surface of the samples after sanding. When applying the hydrothermal method, the preferred grades and times for heat treatment of the samples are given in Table 2.

As shown in Table 2, six samples were divided into two groups. The temperature of the first group is set at 180 °C and the temperature of the second group is set at 200 °C by increasing the temperature by 20 °C. The retention times of the samples in each group were determined as 18, 24 and 30 hours, respectively.

In the experimental work, the Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) analysis is performed on the Ti6Al4V alloy surface. The EDX results for the N1 sample are given in Figure 1.

Table II. Heat treatment properties of samples

Group Name	Sample Name	Temperature (°C)	Time (Hour)
Group 1	N1		18
	N2	180	24
	N3		30
Group 2	N4		18
	N5	200	24
	N6		30

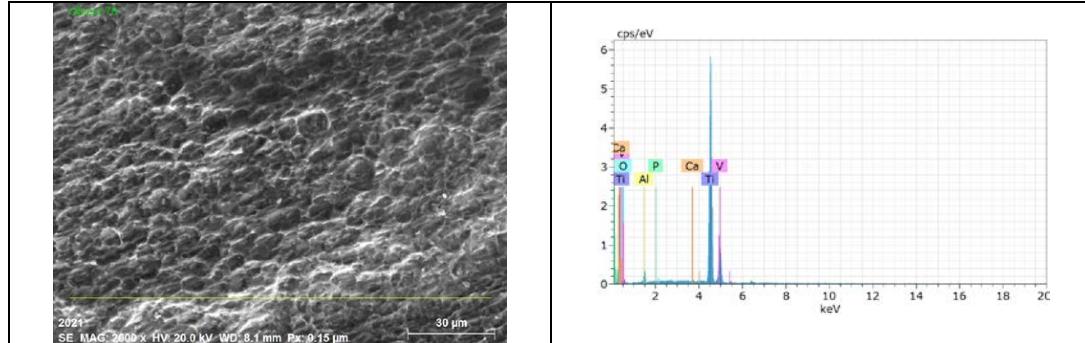


Fig. 1. The EDX result from the coating of N1 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N1 sample prepared in 18 hours at 180 °C shown in Figure 1, the Ca atomic weight was calculated as %0.12 and the P atomic weight as %0.1. The EDX results for the N2 sample are given in Figure 2.

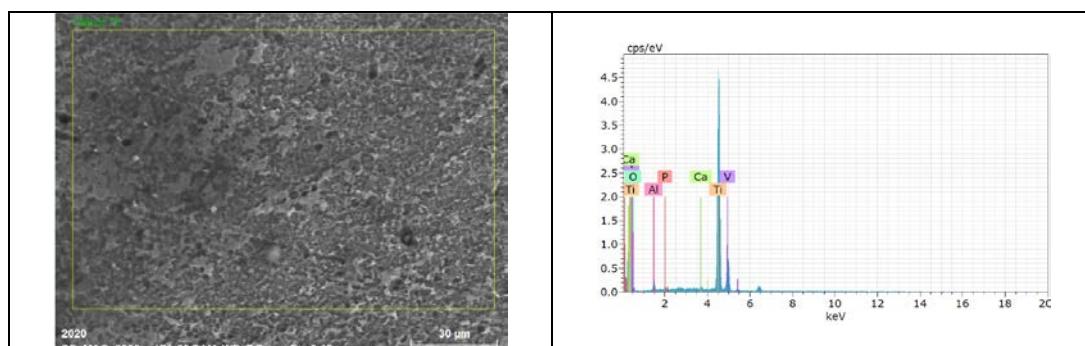


Fig. 2. The EDX result from the coating of N2 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N2 sample prepared at 24 hours at the 180 °C temperature shown in Figure 2, the Ca atomic weight was calculated as %0.39 and the P atomic weight as %0.34. The EDX results for N3 are given in Figure 3.

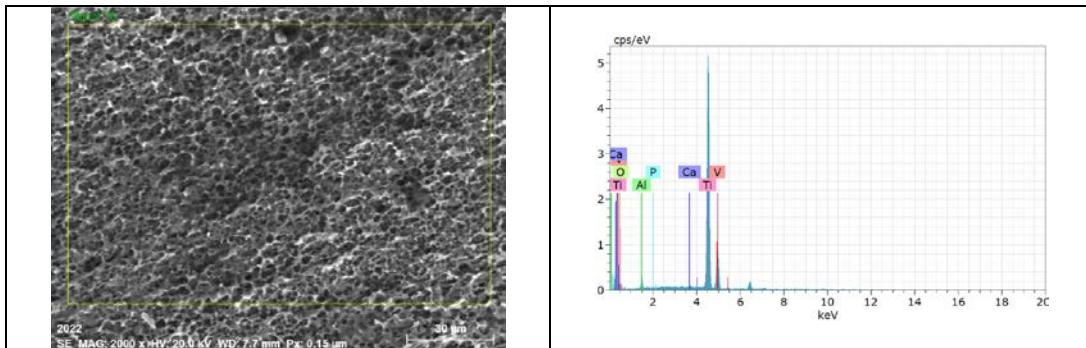


Fig. 3. The EDX result from the coating of N3 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N3 sample prepared in 30 hours at the 180 °C temperature shown in Figure 3, the Ca atomic weight was calculated as %0.21 and the P atomic weight as %0.17. The EDX results for the N4 sample are given in Figure 4.

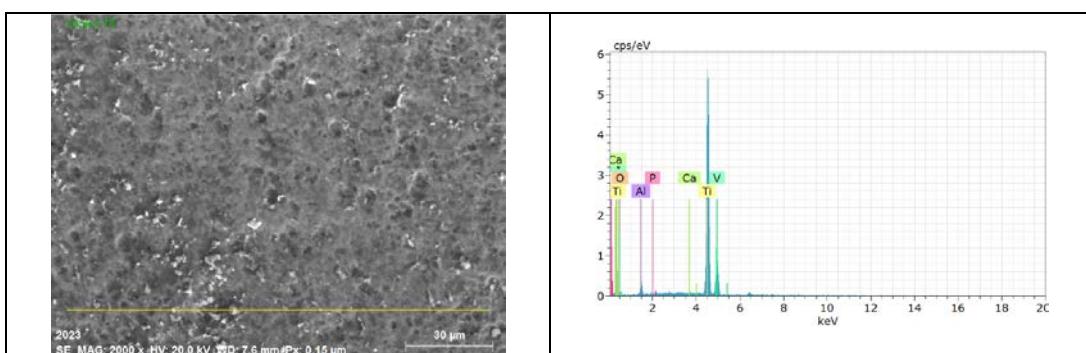


Fig. 4. The EDX result from the coating of N4 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N4 sample prepared in 18 hours at the 200 °C temperature shown in Figure 4, the Ca atomic weight was calculated as %0.06 and the P atomic weight as %0.26. The EDX results for the N5 sample are given in Figure 5.

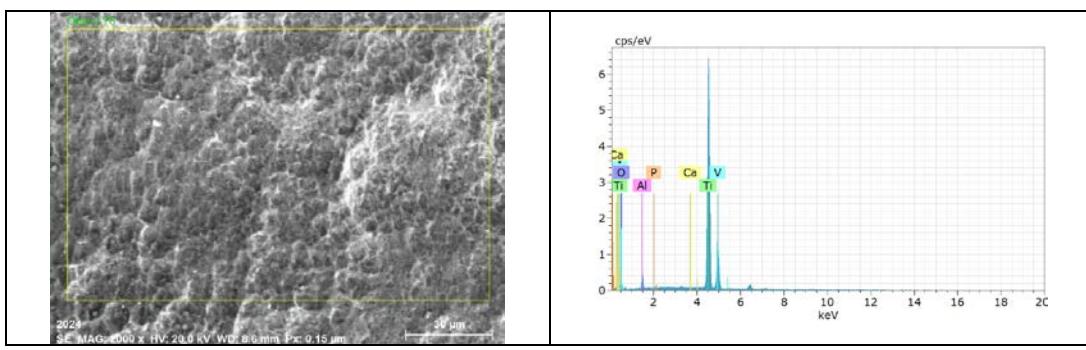


Fig. 5. The EDX result from the coating of N5 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N5 sample prepared at 24 hours at the 200 °C temperature shown in Figure 5, Ca atomic weight was calculated as 0.06%, P atomic weight as 0%. The EDX results for the N6 sample are given in Figure 6.

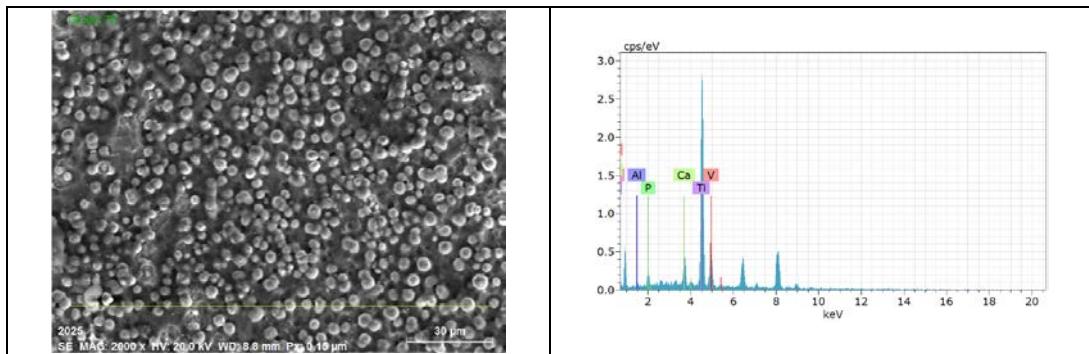


Fig. 6. The EDX result from the coating of N6 sample

As a result of the 2000x EDX analysis of the N6 sample prepared at 30 hours at the 200 °C temperature shown in Figure 6, the Ca atomic weight was calculated as 3.02% and the P atomic weight as 0.74%.

The results of EDX analysis on the samples show Ti, O, Ca, V, P and Al elements. Ca and P elements were observed on the surfaces of the Ti6Al4V samples after the hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$) coating. The values of Ca and P in EDX results of all samples are given in Table 3 according to temperature and time information. The Ca and P graphs according to the 2000x EDX results of the samples are given in Figure 7.

Table III. Ca and P values in the EDX results for the coating of the samples

Group Name	Sample Name	Temperature (°C)	Time (Hour)	Ca (%)	P (%)
Group 1	N1	180	18	0.12	0.10
	N2		24	0.39	0.34
	N3		30	0.21	0.17
Group 2	N4	200	18	0.06	0.26
	N5		24	0.06	0
	N6		30	3.02	0.74

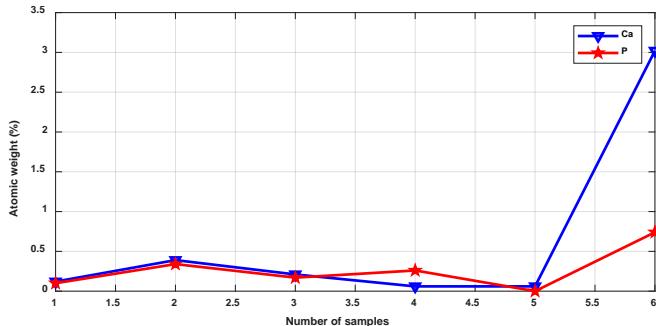


Fig. 7. Comparing the samples according to the temperature and time parameters

As shown in Table 3, the samples were divided into 2 groups in order to observe the effect of temperature and time parameters on the samples. For the first group, the temperature was set at 180 °C, the samples were set to 18, 24 and 30 hours, while the second group was set at 200 °C and the samples were set to 18, 24 and 30 hours. N1, N2, and N3 have very few coatings on the surface of the sample. While Hydroxyapatite was formed in the N1, N2 and N3 samples, the preferred effect of 180 °C was negatively affected by the coating. In the second group of samples, 200 °C was preferred. N4 and N5 samples are not sufficiently covered due to

waiting times. On the N6, the waiting time is 30 hours, so the success of the coating is increased. In the literature studies, 200 °C is generally preferred for Hydroxyapatite coatings [17]. In this study, it was concluded that the coating was successful at a temperature of 200 °C and a waiting time of 30 hours. It is predicted that the coating process will be more successful as a result of increasing the waiting time at 200 °C.

4. CONCLUSIONS

Titanium has good strength and is more lightweight than metals like steel. For this reason, the use of Titanium and its alloys has become widespread. In recent years, titanium alloys have emerged to produce metals with better properties than titanium. Because of the properties of titanium and its alloys, it is widely preferred in critical areas such as aviation, automotive and biomedical.

In this study, hydrothermal method was used to create Hydroxyapatite on Ti6Al4V alloy surface. Six specimens of 3x25x25 mm size were used in the study. Surfaces of the samples were sanded and Hydroxyapatite was formed on their surfaces by hydrothermal method. Six samples were separated into two groups and different temperature and time values were used in forming hydroxyapatite. For the first group samples, 18, 24 and 30 hour waiting times were used at 180 °C, while in the second group, 18, 24 and 30 hour waiting times were used at 200 °C. These temperature and time parameters have been determined as a result of studies in the literature. Scanning Electron Microscopy (SEM) analysis of each sample and Energy Diffraction X-ray Spectroscopy (EDX) analysis were performed for surface coating analysis. When SEM analysis is examined, formation of Hydroxyapatite on N6 sample is easily seen. The atomic weights of Ca and P elements of the EDX results are examined. When the Ca and P elements on the surface of the samples are compared, it is seen that the hydroxyapatite coating process with the 30 hour waiting time at 200 °C is more successful. In future studies, it is aimed to compare the results obtained by using temperature and time parameters of more than 200 °C and more than 30 hours.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the FUBAP (Firat University Scientific Research Projects Unit) under Grant No: TEKF.17.06.

REFERENCES

- [1] G. Lauer, M. Wiedmann-Al-Ahmad, J.E. Otten, "The titanium surface texture effects adherence and growth of human gingival keratinocytes and human maxillary osteoblast-like cells in vitro" *Biomaterials* 22 p.2799-2809 (2001)
- [2] Brunette, D.M., TengwaU, B.,Textor, M. and Thomsen, P. , "Titanium in Medicine", Springer Verlag, Heidelberg p.27-31,239-241 (2001)
- [3] Mustafa Safa Yılmaz, "Saf titanyum malzeme yüzeyinde titanyum aluminyum intermetalik tabakasının oluşturulması," İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bilim Dalı, 2012.
- [4] Özgür Sıçakyüz, "Titanyum ve titanyum alaşımının anodik oksidasyon davranışları ve karakterizasyonu", İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bilim Dalı, 2007.
- [5] Yılmazer, H. (2008).Titanyum Ve Titanyum Alaşımının Yüzey Özelliklerinin Plazma (İyon) Nitrürleme İle Geliştirilmesi.
- [6] Eyüp Akagündüz, "İslıl işlem görmüş Ti-6Al-4V alaşımının yüzey özelliklerinin mikroyapı ve yüzey çizilme dayanımları açısından incelenmesi", Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü / Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008.
- [7] Yetişkan Gökdemir, "Saf titanyum ve Ti6Al4V alaşımının yüksek sıcaklıkta oksidasyon davranışları", İstanbul Teknik Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, 2005.
- [8] Önder Albayrak, "Hydroxyapatite coating on Ti and Ti6Al4V substrates by using electrophoretic deposition method", Boğaziçi Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, 2008.
- [9] Baki Büyükleblebici, "Ti6Al4V alaşımının HVOF teknigiyle B2O3 ve Al2O3 katkılı hidroksiapatit kaplanması ve yüzey karakterizasyonu", Afyon Kocatepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı, 2015.
- [10] Ahmet Çağrı Kılınç, "Ti6Al4V metal allığıının yumurta kabuğundan türetilmiş hidroksiapatit ile sol jel yöntemi kullanılarak kaplanması ve karakterizasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2016.
- [11] Uğur Deniz Yavaş, "Ti6Al4V implantların elektroforetik biriktirme yöntemi ile hidroksiapatit kaplanması", Kocaeli Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 2017.
- [12] Kübra Kıcırlı, Elektroforetik biriktirme metodu ile yüzeyi modifiye titanyum implantlarının hazırlanması ve karakterizasyonu, Hacettepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Nanoteknoloji ve Nanotip Anabilim Dalı, 2013.

- [13] S. Hakan Tuna, Titanyum implantla farklı üstyapı çiftlerinde oluşan elektrokimyasal davranışların analizi, Hacettepe Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Protektif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 2006.
- [14] Soykan Köklü, Tiyol içerikli plazma polimerizasyon tekniği ile yüzey koşulları değiştirilmiş titanyum implant materyalinin yüzey özelliklerinin ve bakteriyel tutulumu etkisinin incelenmesi, Başkent Üniversitesi / Sağlık Bilimleri Enstitüsü / Protektif Diş Tedavisi Anabilim Dalı, 2009.
- [15] Yavuz Ergün, Titanyum yüzeyine sol-jel ve biyomimetik yöntemleriyle ince film şeklinde hidroksiapatitin kaplanması ve karakterizasyonu, Afyon Kocatepe Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü / Metal Eğitimi Anabilim Dalı, 2010.
- [16] Janković, A., Eraković, S., Vukašinović-Sekulić, M., Mišković-Stanković, V., Park, S. J., & Rhee, K. Y. (2015). Graphene-based antibacterial composite coatings electrodeposited on titanium for biomedical applications. *Progress in Organic Coatings*, 83, 1-10.
- [17] Tao, F. U., Li, H. W., Sun, J. M., Gang, L. I., Wen, L. I., & Zhang, H. M. (2015). Facile hydrothermal synthesis of TiO₂-CaP nano-films on Ti6Al4V alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 25(4), 1122-1127.



The Effect of TiO₂ Nanoparticles on Thermal Properties of R-32 and CO₂ Refrigerants

A.Yıldız^{1*}, M.A. Ersöz², R. Yıldırım³

¹Department of Mechanical Engineering, Uşak University, Uşak, Turkey

²Department of Electricity and Energy, Uşak University, Uşak, Turkey

³Department of Electricity and Energy, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Turkey

Abstract

A nanofluid is the suspension of nanometer sized nanoparticles into a base fluid, generally formulated for the purpose of enhanced heat transfer. In this study, thermophysical properties like thermal conductivity, density and dynamic viscosity and heat transfer coefficient of TiO₂/R-32 and TiO₂/CO₂ nanorefrigerants for particle size of 10 nm and nanoparticle concentration of 1-5 vol.% are investigated theoretically. As a result, the highest thermal conductivity enhancement ratio and the heat transfer enhancement ratio are obtained as 1.157 and 1.033 for TiO₂/R-32 nanorefrigerant with 5 vol.% nanoparticle concentrations respectively while dynamic viscosity enhancement ratio are the same in both nanorefrigerants as 1.136.

Keywords: Nanorefrigerant, thermal properties, R-32/TiO₂ , CO₂/TiO₂.

1. INTRODUCTION

The various refrigerants in order to increase the coefficient of performance (COP) of refrigeration systems are used. Another way to increase the COP value is the suspension nanoparticles into a refrigerant. By using nanoparticles in refrigeration system, three main advantages can be obtained [1,2]; (1) nanoparticle as an additive can increase the solubility between the lubricant and the refrigerant. (2) Thermal conductivity and heat transfer characteristics of the refrigerant can be increased. (3) Nanoparticles dispersion into lubricant may decrease the friction coefficient and wear rate.

In this study, thermal conductivity and heat transfer coefficients ratios of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂ nanorefrigerants are investigated to nanoparticle concentration of 1-5 vol.% for particle size of 10 nm .

2. METHODOLOGY

An easy way to comply with the conference paper formatting requirements is to use this document as a template and simply type your text into it. The thermophysical properties of TiO₂/R-32 and TiO₂/CO₂ nanorefrigerants are analyzed using some mathematical correlations. The properties of TiO₂ nanoparticle and R-32 and CO₂ refrigerants are given in Table I.

* Abdullah Yıldız. Tel.:+90 276 2212136; fax.;+90 276 2212137.

E-mail address: abdullah.yildiz@usak.edu.tr (A. Yıldız).

Table I. The properties of nanoparticle and refrigerants (3)

Thermal Properties	TiO2	R32	CO2
Thermal Conductivity, k (W/m·K)	10	0.012518	0.016642
Specific Heat, C_p , (J/kgK)	690	847.33	850.76
Density, ρ (kg/m ³)	4000	2.1246	1.7842
Dynamic Viscosity, μ (Pa·s)	-	1.261x10 ⁻⁵	1.4932x10 ⁻⁵

The constant parameters of refrigerants and nanorefrigerants flows inside horizontal pipe are shown in Fig. 1. The analysis is carried out with nanoparticles average size of 10 nm and volume concentration from 1% to 5% for each of nanorefrigerants. All the properties of nanorefrigerants are calculated at temperature of 298 K using existing correlations from literature.

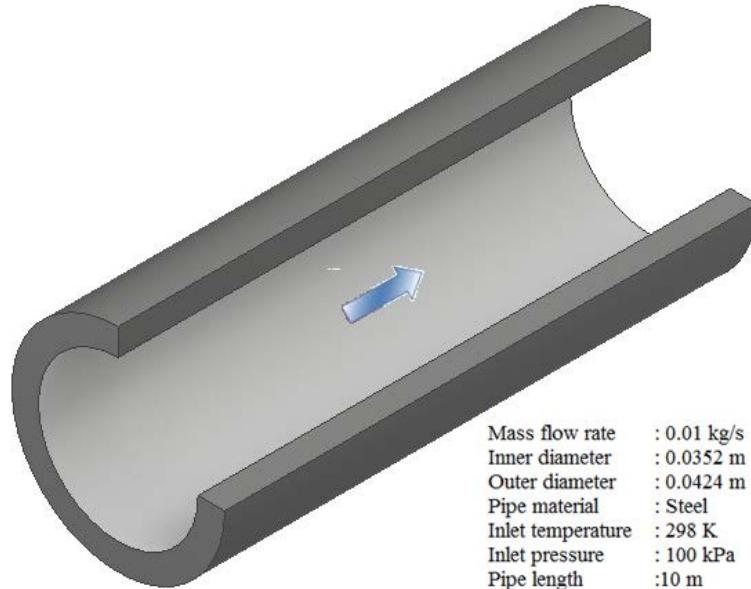


Fig. 1. The properties of pipe material and design parameters

2.1. Thermal conductivity

The effective thermal conductivity are given by Maxwell [4] as

$$\frac{k_{nR}}{k_R} = \frac{k_{np} + 2k_R + 2\phi(k_{np} - k_R)}{k_{np} + 2k_R - \phi(k_{np} - k_R)} \quad (1)$$

2.2. Density

Density of nanorefrigerant is calculated from Eq. (2) [4]

$$\rho_{nR} = (1 - \phi)\rho_R + \phi\rho_{np} \quad (2)$$

2.3. Specific heat

Specific heat of nanorefrigerant can be determined by [2]

$$C_{p,nR} = (1 - \phi)C_{p,R} + \phi C_{p,np} \quad (3)$$

2.4. Convective heat transfer coefficient

Eq. (4) is used determine convective heat transfer coefficient of refrigerants and nanorefrigerants,

$$h = \frac{Nu \times k}{D_h} \quad (4)$$

where Nu is the Nusselt number and can be obtained from Dittus-Boelter equation for turbulent flow [5].

$$Nu = 0,023Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (5)$$

Reynolds Number and Prandtl Number can be determined from Eq. (6) and (7) [6]:

$$Re = \frac{\rho V D_h}{\mu} \quad (6)$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \quad (7)$$

3. RESULT AND DISCUSSION

The effect of TiO₂ nanoparticles on thermal properties of R-32 and CO₂ refrigerants is numerically investigated in this study.

Fig. 2 shows the specific heat of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂nanorefrigerants as a function of the particle volume fraction. it is seen that the specific heat of nanorefrigerant decreases as the concentration of nanorefrigerant increases in Fig. 2. The specific heat of the added particle is lower than the specific heat of the base fluid, so the specific heats of the nanorefrigerants are reduced. Specific heat varies from 845.75 to 839.46 for R-32/TiO₂ nanorefrigerant while specific heat varies from 849.45 to 842.72 for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.

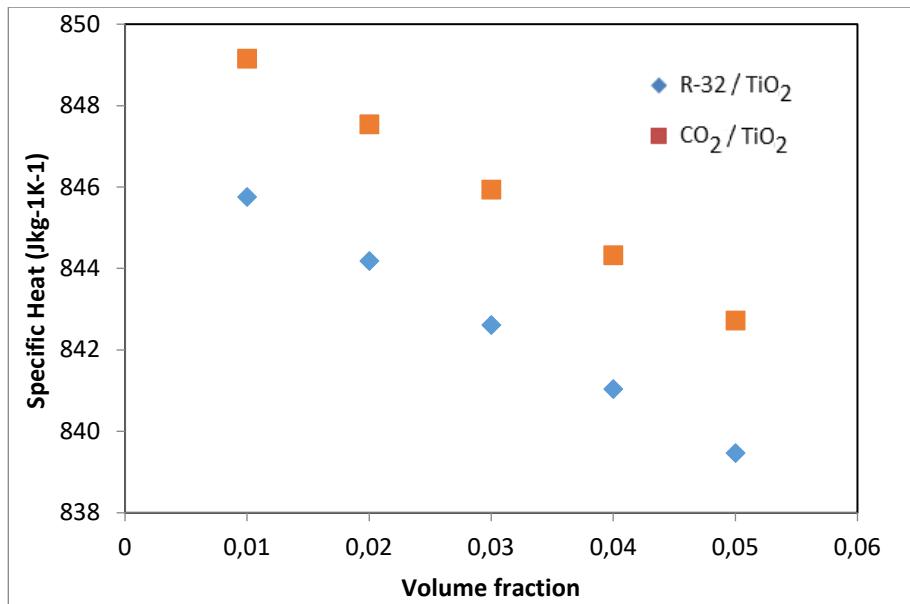


Fig. 2. The specific heat of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂nanorefrigerants at different volume fraction

Thermal conductivity of nanorefrigerants with volume concentration from 1% to 5% is shown in Fig. 3. The increase of nanorefrigerant specific heat compared with base fluid is due to higher specific heat capacity of added particles for R-32/TiO₂ nanorefrigerant, the thermal conductivity values range from 0.0128 to 0.01444, while for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant these values range from 0.0171 to 0.0192.

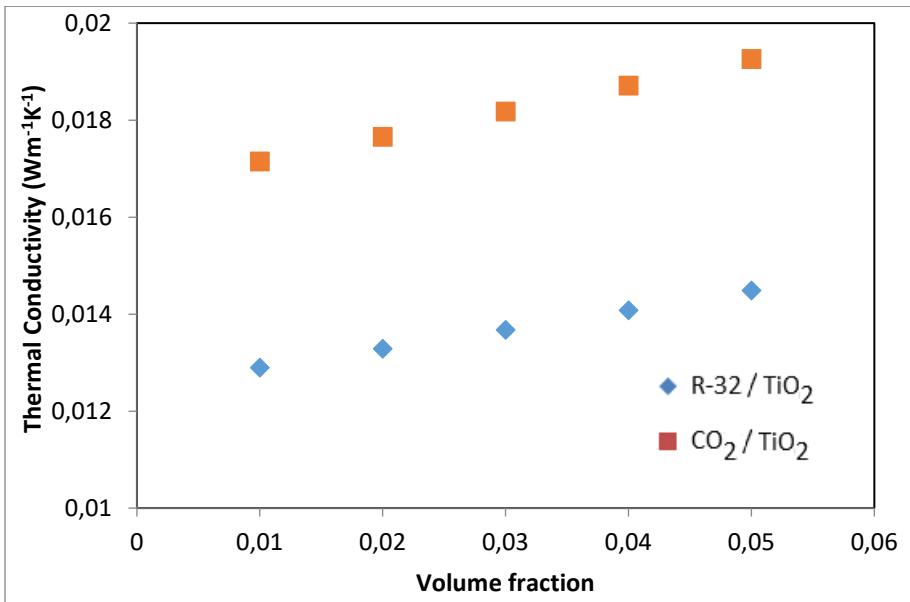


Fig. 3. The thermal conductivity of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂nanorefrigerants at different volume fraction

Fig. 4 demonstrates the influence of the nanoparticle concentration on the dynamic viscosity and the convective heat transfer coefficient respectively.

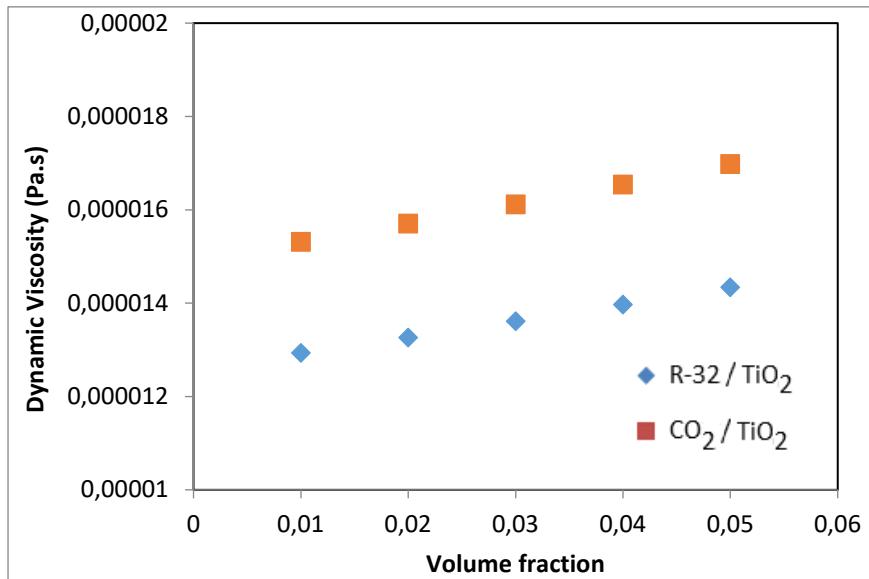


Fig. 4. The dynamic viscosity of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂nanorefrigerants at different volume fraction

General trend shows that dynamic viscosity increases with the increase in volume concentration of nanoparticles. The dynamic viscosity values range from 1.293×10^{-5} to 1.433×10^{-5} for R-32/TiO₂ nanorefrigerant, while these values range from 0.0171×10^{-5} to 0.01697×10^{-5} for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.

Fig. 5 demonstrates the influence of the R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂ nanoparticle concentration on the convective heat transfer coefficient. It can be showed that the heat transfer coefficient is proportional to the particle volume fraction. When increasing the particle concentration of the nanoparticle in R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂, the heat transfer increases due to the thermal conductivity effect. The convective heat transfer coefficient varies from 27.402 to 28.111 for R-32/TiO₂ nanorefrigerant while the convective heat transfer coefficient varies from 30.43 to 31.214 for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.

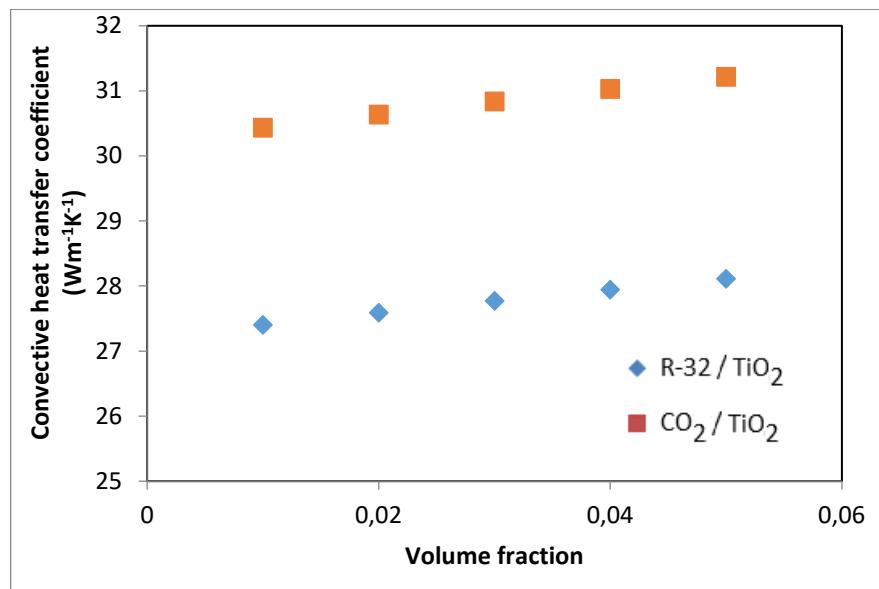


Fig. 5. The convection heat transfer coefficient of R-32/TiO₂ and CO₂/TiO₂ nanorefrigerants at different volume fraction

The thermal conductivity, viscosity enhancement ratio and the heat transfer coefficient enhancement ratio, for varying values of volume fraction of the nanoparticle in the base R-32 and CO₂ showed in Figs. 6 and 7, respectively.

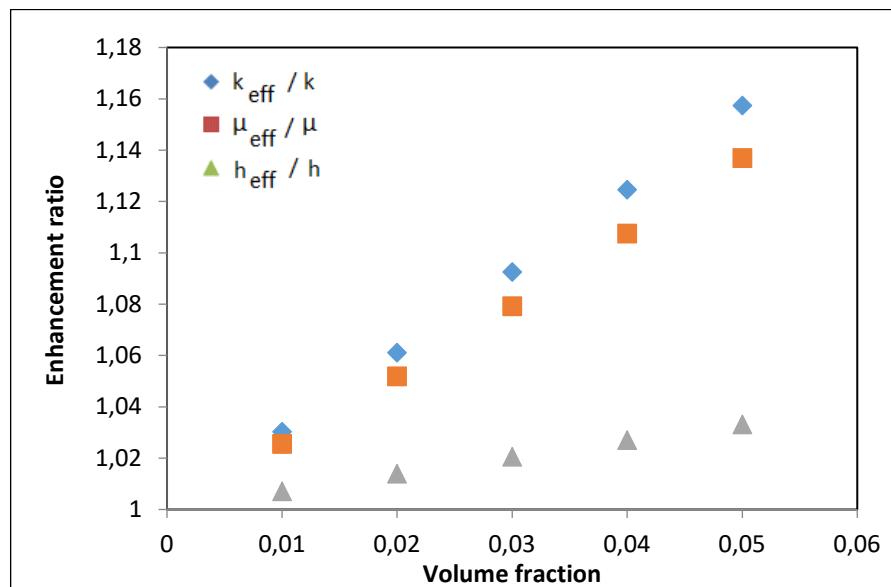


Fig. 6. The thermal conductivity, viscosity enhancement ratio and the heat transfer coefficient enhancement ratio for R-32/TiO₂ nanorefrigerant

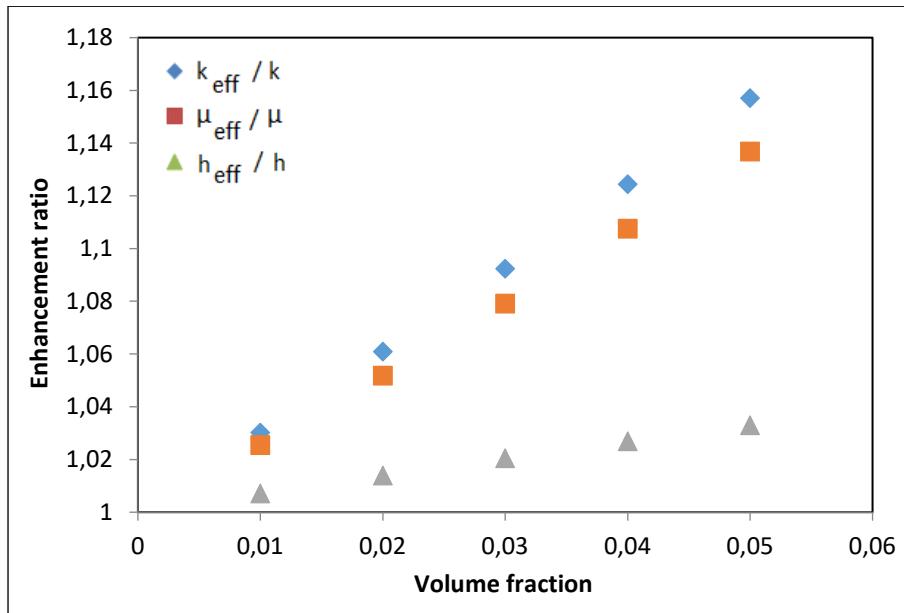


Fig. 7. The thermal conductivity, viscosity enhancement ratio and the heat transfer coefficient enhancement ratio for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant

4. CONCLUSIONS

In this study, the effect of TiO₂ nanoparticles on thermal properties of R-32 and CO₂ refrigerants are investigated theoretically. The results of theoretical analyses of R-32/TiO₂ nanorefrigerant are compared with CO₂/TiO₂ nanorefrigerant results. Considering the results of the analyses, the following main conclusions can be drawn from the present study:

- While the concentration of nanorefrigerants increases the specific heat of nanorefrigerants decreases.
- Specific heat varies from 845.75 to 839.46 for R-32/TiO₂ nanorefrigerant while specific heat varies from 849.45 to 842.72 for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.
- For R-32/TiO₂ nanorefrigerant, the thermal conductivity values range from 0.0128 to 0.01444, while for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant, these values range from 0.0171 to 0.0192.
- The dynamic viscosity values of R-32/TiO₂ nanorefrigerant range from 1.293×10^{-5} to 1.433×10^{-5} , while these values range from $0.0171 \times 1.5321 \times 10^{-5}$ to 1.697×10^{-5} for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.
- While the convective heat transfer coefficient varies from 27.402 to 28.111 for R-32/TiO₂ nanorefrigerant, the convective heat transfer coefficient varies from 30.43 to 31.214 for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.
- The highest thermal conductivity, viscosity enhancement ratio and the heat transfer coefficient enhancement ratio are calculated as 1.16, 1.14 and 1.02 respectively at volume fraction of 0.05 for R-32/TiO₂ nanorefrigerant.
- The highest thermal conductivity, viscosity enhancement ratio and the heat transfer coefficient enhancement ratio are calculated as 1.16, 1.14 and 1.02 respectively at volume fraction of 0.05 for CO₂/TiO₂ nanorefrigerant.

Consequently, the theoretical analyses results of CO₂/TiO₂ nanorefrigerant are better than R-32/TiO₂ nanorefrigerant results.

REFERENCES

- [1] Bi, S., Guo, K., Liu, Z., Wu, J., Performance of a domestic refrigerator using TiO₂- R600a nano-refrigerant as working fluid, *Energy Conversion and Management* 52 (1) 733–737, 2011.
- [2] Mahbubul, I.M., Fadhilah, S.A., Saidur, R., Leong, K.Y., Amalina, M.A., Thermophysical properties and heat transfer performance of Al₂O₃/R-134a nanorefrigerants, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 57 100–108, 2013.
- [3] The AZO website (2018) (online), Available: <https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1179>
- [4] Yu, W., Choi, S.U.S., The role of interfacial layers in the enhanced thermal conductivity of nanofluids: A renovated Maxwell model, *Journal of Nanoparticle Research* 5 167–171, 2003.

- [5] Chon, C. H., Kihm, K. D., Lee, S. P., and Choi, S. U. S., Empirical Correlation Finding the Role of Temperature and Particle Size for Nanofluid (Al_2O_3) Thermal Conductivity Enhancement, *Applied Physics Letters*, 87(15) 153107, 2005.
- [6] Kumar, N., Sonawane, S.S., Experimental study of thermal conductivity and convective heat transfer enhancement using CuO and TiO_2 nanoparticles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76 98–107, 2016.
- [7] Özerinç, S., Heat Transfer Enhancement With Nanofluids, Thesis, *Middle East Technical University*, (2010),



A Mathematical Model for Optimum Insulation Thickness in Pipes

M.A. Ersöz^{1*}, A.Yıldız², R.Yıldırım³

¹Department of Electricity and Energy, Usak University, Usak, Turkey

²Department of Mechanical Engineering, Usak University, Usak, Turkey

³Department of Electricity and Energy, Mehmet Akif Ersoy University, Burdur, Turkey

Abstract

In this study, optimum insulation thickness for a circular pipe which hot water is transported and its external surface is subjected to outdoor convective heat transfer is investigated theoretically. The pipe is produced from stainless steel ($k=54 \text{ W/mK}$) and length of 300 m, nominal diameter of 50 mm. The glass wool is used as insulation material ($k=0,05 \text{ W/mK}$), outdoor conditions are environmental temperature of -9 °C, wind speed of 3 m/s. The analyses are carried out for water inlet temperature of 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C in constant volume flow rate of 28 m³/h. The optimum thickness of the insulation layer is solved so that the outlet temperature is equal to the inlet temperature. As a result, optimum insulation thicknesses are calculated as 6.35, 10.23, 15.56 and 22.94 cm for 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C respectively.

Keywords: Optimum insulation thickness, mathematical model, pipe.

1. INTRODUCTION

During recent years guides have been published to allow industries to choose pipe insulation that accounts optimally for rapid expected rises in fuel costs relative to insulation costs [1].

Uninsulated steam distribution and condensate return lines are a constant source of wasted energy. Heat loss from an uninsulated pipe of 1 inch diameter and 10 m length through natural convection and 25 °C bulk-to-ambient-temperature difference is estimated to be $50 \times 10^6 \text{ kJ/yr}$. Insulation can typically reduce the energy losses by 90% and help ensure proper steam pressure at plant equipment. Therefore, any surface over 50 °C, such as boiler surfaces, steam and condensate return piping, and fittings, should be insulated [2].

In this study, a circular pipe through which hot water is transported from one end to the other is considered and the optimum insulation thickness, which makes the outlet temperature equal to the inlet temperature, is determined by a mathematical model theoretically.

2. METHODOLOGY

The optimum insulation thickness for a circular pipe which hot water is transported and its external surface is subjected to outdoor convective heat transfer is investigated theoretically. The heat loss of fluid in the control volume is shown in Fig. 1. Also, the properties of the pipe, insulation material and the other parameters used in the analyses are given in Table I and II.

* Abdullah Yıldız. Tel.: +90 276 2212136; fax.: +90 276 2212137.

E-mail address: abdullah.yildiz@usak.edu.tr (A. Yıldız).

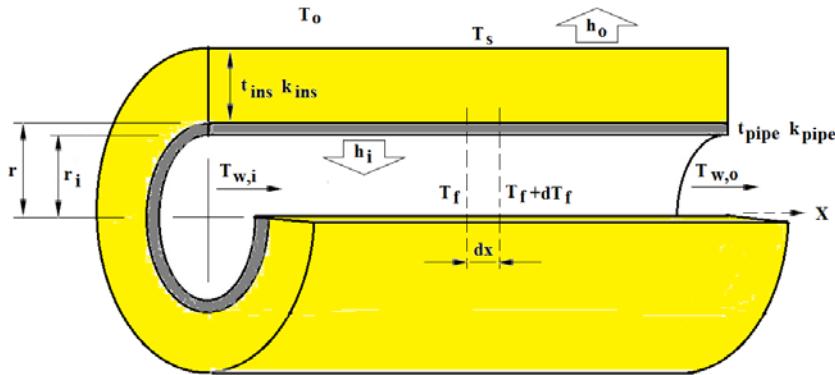


Fig. 1. The heat loss of fluid in the control volume

Table I. The properties of the pipe and insulation material

Properties	Value
Pipe outer diameter (r), (mm)	60.3
Pipe inner diameter (r_i), (mm)	52.5
Pipe wall thickness (t_{pipe})	3.9
Pipe wall thermal conductivity (k_{pipe}), (W/mK)	54
Insulation thermal conductivity (k_{ins}), (W/mK)	0.05

Table II. The parameters used in the analyses

Parameters	Value
Fluid inlet volumetric rate (\dot{V}) k (m ³ /h)	28
Fluid inlet temperature ($T_{w,i}$), (°C)	60-70-80-90
The outside temperature of pipe (T_o), (°C)	-9

2.1. Flow Equations

The continuity and momentum equations below describe the flow of fluid inside a horizontal pipe [3]

$$\nabla(A\rho V) = 0$$

$$0 = -\nabla P - f_D \frac{\rho}{2D_h} V |V| = 0 \quad (1)$$

where, A (m²) is the cross section area of the pipe, ρ (kgm⁻³) is the density, V (ms⁻¹) is the fluid velocity and P (Pa) is the pressure.

The second term on the right-hand side of Eq. (1) describes the pressure drop due to internal viscous shear. The term contains the Darcy friction factor, f_D , which is a function of the Reynolds number and the surface roughness divided by the hydraulic pipe diameter. In this study, f_D is calculated from the Haaland equation . It can recover both small and large relative roughness limits for a wide range of Reynolds numbers ($4 \times 10^3 < Re < 1 \times 10^8$) [3]:

$$\sqrt{\frac{1}{f_D}} = -1.8 \log_{10} \left(\left(\frac{\epsilon/D}{3.7} \right)^{1.1} + \left(\frac{6.9}{Re} \right) \right) \quad (2)$$

where, f is the Darcy friction factor, ϵ (mm) is the roughness of the pipe, D (mm) is the inner diameter of the pipe and Re is the Reynolds number.

2.2. Heat Transfer Equations

$$\rho A C_p V \nabla T = \nabla k A \nabla T + f_D \frac{\rho A}{2D_h} |V|^3 + \dot{Q}_{\text{pipe}} \quad (3)$$

where, C_p ($\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$) is the heat capacity at constant pressure, T ($^{\circ}\text{C}$) is the temperature and k ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$) is the thermal conductivity. The second term on the right-hand side of Eq. (3) corresponds to heat released due to the work of internal friction forces. \dot{Q}_{pipe} (Wm^{-1}) is a source/sink term due to heat exchange with the surroundings through the pipe wall [3]:

$$\dot{Q}_{\text{pipe}} = UZ(T_o - T) \quad (4)$$

where, Z (m) is the perimeter of the pipe, U ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) is the overall heat transfer coefficient and T_o ($^{\circ}\text{C}$) is the outside temperature of the pipe.

The overall heat transfer coefficient includes contribution from internal film resistance, wall resistance, and external film resistance [3].

For a circular tube, an effective UZ in Eq. (4) can be used such that [3]

$$(UZ)_{\text{eff}} = \frac{2\pi}{\frac{1}{r_i h_i} + \frac{1}{r_o h_o} + \frac{\ln(r_o/r_i)}{k_{\text{ins}}}} \quad (5)$$

where r is the radius of the pipe in which $r_i = r - t_{\text{pipe}}$ and $r_o = r + t_{\text{ins}}$. h_i ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) and h_o ($\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$) are the film heat transfer coefficients on the inside and outside of the tube, respectively. k_{ins} is the thermal conductivity of insulation material.

The film resistance inside the pipe is given by [3]:

$$h_o = Nu_{\text{int}} \frac{k_{\text{water}}}{D}$$

with the following Nusselt correlation [3]

$$Nu_i = \frac{(f_D/8)(Re-1000)\Pr}{1+\sqrt{12.7(\Pr^{2/3}-1)}}$$

The film resistance due to the external flow of air around the pipeline is [3]:

$$h_o = Nu_o \frac{k_{\text{air}}}{D}$$

where Nu_o is calculated with a forced convection relation, assuming an average air speed of 3 ms^{-1} .

$$Nu_o = 0.3 + \frac{0.62\sqrt{Re}\Pr^{1/3}}{[1+(0.4/\Pr)^{2/3}]^{1/4}} \left[1 + (Re/282000)^{5/8} \right]^{4/5}$$

3. RESULT AND DISCUSSION

A representative sample is chosen to perform the solution for the optimum conversion of insulation thickness over the pipe hanging from both ends. The heat transfer from the fluid (water) flowing through the pipe to the ambient is minimized. Optimization calculations performed under the constraint that the temperature at the outlet should be the same as inlet temperature. The results of analyses are shown in Fig.1.

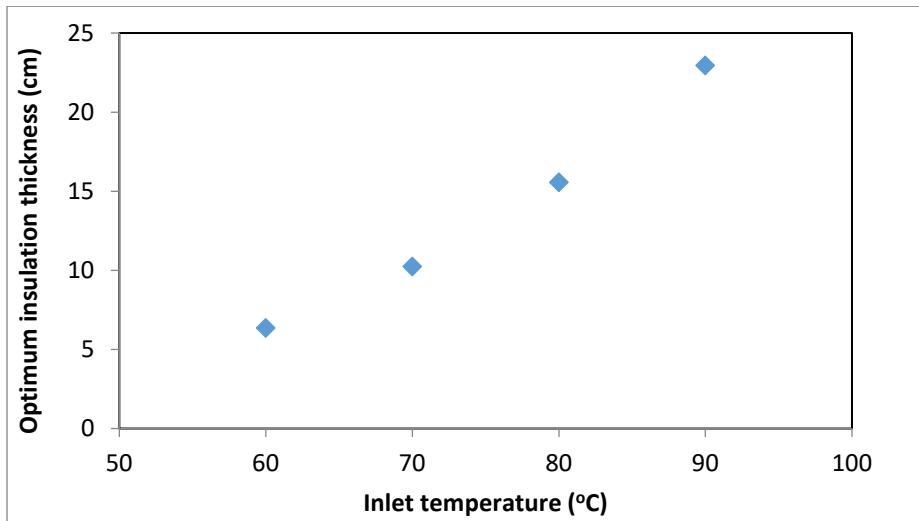


Fig. 1. Optimum insulation thickness versus to fluid inlet temperature

As shown in Fig. 1, optimum insulation thickness increases with the increase fluid inlet temperature. Optimum insulation thicknesses are calculated as 6.35, 10.23, 15.56 and 22.94 cm for 60 °C, 70 °C, 80 °C, 90 °C, respectively.

4. CONCLUSIONS

In this study, the optimum insulation thickness that makes the outlet temperature equal to the inlet temperature, is determined by a mathematical model theoretically. The highest optimum insulation thickness is calculated as 22.94 cm at fluid inlet temperature of 90 °C while the lowest optimum insulation thickness is calculated as 6.35 cm at fluid inlet temperature of 60 °C. Consequently, the optimum insulation thickness increases as the fluid inlet temperature increases.

REFERENCES

- [1] Simmons, L.D., Beckman J.W., Optimum Economic Thickness of Pipe Insulation Accounting for Variable Heat-Transfer Parameters, *Thermal Insulation Performance, American Society and for Testing and Materials*, 1978.
- [2] Sahin, A. Z., Kalyon, M., The critical radius of insulation in thermal radiation environment, *Heat and Mass Transfer* 40 377–382, 2004.
- [3] The COMSOL website (2018) (online), Available: <https://www.comsol.com/model/insulation-of-a-pipeline-section-12096>