



VOLUME: 3 (2020)

ISSUE: 2

ISSN: 2687-3052



## Journal of Investigation on Engineering & Technology

<http://dergipark.gov.tr/jiet>



**PUBLISHER:**

*Yayıncı*

Dr. Canan AKSOY

**EDITOR IN CHIEF:**

*Baş Editör*

Dr. Canan AKSOY

**JOURNAL EDITORS:**

*Dergi Editörleri*

Dr. Canan AKSOY

Dr. Emin TUĞCU

Dr. Erol İSKENDER

Dr. Hamdi Tolga KAHRAMAN

Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

**ISSUE EDITORS**

*Sayı Editörleri*

Dr. Canan AKSOY

Dr. Hasan Tahsin ÖZTÜRK

**SECRETARIAT:**

*Sekreteryä*

Dr. Cemalettin ŞİMŞEK

**EDITORIAL BOARD:**

*Yayın Kurulu*

Dr. Adem DOĞANGÜN (Bursa Uludağ University)

Dr. Umut TOPAL (Karadeniz Technical University)

Dr. Zeki KARACA (Ondokuz Mayıs University)

Dr. Tayfun DEDE (Karadeniz Technical University)

Dr. Egemen ARAS (Bursa Technical University)

Dr. Nurcan ÖZTÜRK (Karadeniz Technical University)

Dr. Ümit ÇALIK (Karadeniz Technical University)

Dr. Erdem TÜRKELİ (Ordu University)

Dr. Erdoğan DOĞDU (Çankaya University)

Dr. Şeref SAĞIROĞLU (Gazi University)

Dr. Güngör BAL (Gazi University)

Dr. M. Ali AKCAYOL (Gazi University)

Dr. Recep DEMİRCİ (Gazi University)

Dr. Tuncay YİĞİT (Süleyman Demirel University)

Dr. Ercan Nurcan YILMAZ (Gazi University)

Dr. Cemal YILMAZ (Gazi University)

Dr. Uğur GÜVENÇ (Düzce University)

Dr. Yusuf SÖNMEZ (Gazi University)

Dr. Eyüp GEDİKLİ (Karadeniz Technical University)

Dr. Mehmet ŞİMŞEK (Düzce University)

Dr. İbrahim Alper DOĞRU (Gazi University)  
Dr. Atakan AKSOY (Karadeniz Technical University)  
Dr. Cemaleddin ŞİMŞEK (Karadeniz Technical University)  
Dr. Tuncay BAYRAM (Karadeniz Technical University)  
Dr. Burcu SAVAŐKAN (Karadeniz Technical University)  
Dr. Zeynep HASIRCI (Karadeniz Technical University)  
Dr. Emel AŐICI (Karadeniz Technical University)  
Dr. Bakiye ÇAKIR (Artvin Çoruh University)  
Dr. Ezgi Taylan KOPARAN (Bülent Ecevit University)  
Dr. Cenk ALBAYRAK (Karadeniz Technical University)  
Dr. Ömür AKYAZI (Karadeniz Technical University)  
Dr. Esmat ATEŐ (Karadeniz Technical University)  
Dr. Numan DOĐAN (North Carolina State University)  
Dr. Tayebah MOUSAVİ (Oxford University)  
Dr. Germn F. de la FUENTE (University of Zaragoza)  
Dr. Luis A ANGUREL (University of Zaragoza)  
Dr. Bilge Han TOZLU (Hitit University)

## Product Information

*Ürün Bilgisi*

**Volume** **3** **Issue** **2** **December/2020**  
*Cilt* *Sayı* *Aralık/2020*

**Publisher** Dr. Canan AKSOY  
*Yayıncı*

**Web Page** <http://dergipark.gov.tr/jiet>  
*Web Sayfası*

**Date of Publication** December /2020  
*Basım Tarihi* *Aralık/2020*

**Language** English/Turkish  
*Yayın Dili* *İngilizce/Türkçe*

**Frequency** Published twice in a year  
*Yayın Aralığı* *Yılda iki kez yayınlanır*

**Type of Publication** Periodical  
*Yayın Türü* *Sürekli yayın*

**ISSN Number** 2687-3052  
*ISSN Numarası*

### Yazışma Adresi

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Teknoloji Fakültesi  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Çamlı M. Hacı Mehmet Baheddin Ulusoy  
Cad. No:144 61830 Of / TRABZON  
Telefon: +90 462 377 84 07  
E-posta: [jiet@ktu.edu.tr](mailto:jiet@ktu.edu.tr)

Makale gönderimi dergipark üzerinden yapılmaktadır. Tüm yayınlanan makalelere <http://dergipark.gov.tr/jiet> adresinden ulaşılabilir.

### Correspondence Address

Karadeniz Technical University  
Faculty of Technology  
Department of Civil Engineering  
Çamlı M. Hacı Mehmet Baheddin Ulusoy  
St. No:144 61830 Of / TRABZON  
Phone: +90 462 377 84 07  
E-mail: [jiet@ktu.edu.tr](mailto:jiet@ktu.edu.tr)

Paper submission is done via dergipark. All published papers are available at <http://dergipark.gov.tr/jiet>.



## CONTENTS

### İçindekiler



#### **Research Papers**

*(Araştırma Makaleleri)*

#### **Pages**

*Sayfalar*

- Assessing Performance of Manually Controlled Solar Tracking System in Climate Condition of Kano, Nigeria 37-47  
**Jamilu Ya'u MUHAMMAD, Siraj ALHASSAN, Ibrahim Baba KYARI, Mohammed Abdullahi GELE, Abudharr Bello WAZIRI**
- Wavelet Transform and Autoregressive Model Parameter Features based Engine Fault Diagnosis System 48-54  
*Dalgacık Dönüşümü ve Özbağlanım Model Parametreleri Öznitelikleri ile Otomobil Motor Seslerinden Arıza Tespiti*  
**Göktuğ YILMAZ, Necip Fazıl METE, Umusalama UMUGABEKAZI, Önder AYDEMİR**
- Calculations of Yield Cross-Sections of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  Radioisotopes via Neutron Induced Reactions 55-57  
**Tuncay BAYRAM, Serkan AKKOYUN, Şevki ŞENTÜRK, Anes HAYDER**
- Investigation of the Effects of Discontinuities on the Mechanical Properties of Micro Lattice Structures Produced by the Selective Laser Melting Method 58-67  
*Seçici Lazer Ergitme Yöntemi ile Üretilen Mikro Kafes Yapıların Yüzeyinde Meydana Gelen Kusurların Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi*  
**Altuğ UŞUN, Recep GÜMRÜK**
- Detection of Clove, Peppermint and Garlic Oils with Electronic Nose 68-72  
*Karanfil, Nane ve Sarımsak Yağlarının Elektronik Burun ile Tespiti*  
**Bilge Han Tozlu, Cemaleddin Şimşek, Önder Aydemir**

## Assessing Performance of Manually Controlled Solar Tracking System in Climate Condition of Kano, Nigeria

Jamilu Ya'u MUHAMMAD\*<sup>1</sup>, Siraj ALHASSAN<sup>1a</sup>, Ibrahim Baba KYARI<sup>2b</sup>, Mohammed Abdullahi GELE<sup>3c</sup>,  
Abudharr Bello WAZIRI<sup>4d</sup>

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering, Bayero University, Kano, Nigeria

<sup>2</sup>Department of Electrical and Electronic Engineering, Usman Danfodio University, Sokoto, Nigeria

<sup>3</sup>Sokoto Energy Research Centre, Services Unit, Sokoto, Nigeria

<sup>4</sup>Department of Mechanical and Production Engineering, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Nigeria

(Alınış / Received: 13.09.2020, Kabul / Accepted: 27.11.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

### Keywords

Altitude Angle  
Azimuth Angle  
Solarimeter  
Solar Irradiance  
Solar Tracker

**Abstract:** A solar tracking system is a mechanism used to move and position a solar photovoltaic in such a way that it is positioned and oriented perpendicular to the sun beam for maximum amount of solar irradiance and maximum power outputs. However, fixed solar panel is more preferred than tracking module because it is cost effective. In this paper, the amount of solar irradiance of the tracking module is compared with fixed solar module by experimentally in Kano, Nigeria for the three months (May, June, July, 2019). It was observed that the highest average amount solar irradiance extracted by tracking collector was 10923.67 W/m<sup>2</sup> and average solar irradiance harnessed by stationary collector (without tracking) was 9151.33 W/m<sup>2</sup>. The average percentage change of solar irradiance with tracking was 16.22 % over solar irradiance without tracking (stationary). In conclusion, the dual-axis tracking module is extracting more amount of solar irradiance than fixed module.

### 1. Introduction

Nowadays, renewable energy research is trending in the world of the researchers due to its reliability, sustainability and it is naturally free. Solar energy is an abundant and free from pollutant source of energy, but most of the developing countries are wasting much megawatt produced by the Sun due to lack of technology of harnessing this energy.

Photovoltaic (PV) system is solar energy technology that utilized solar energy by society. The solar photovoltaic (PV) system consists of cells connected into modules which convert solar radiation intensity harnessed by the modules into electricity. The output of this conversion depends on some parameters such as the amount of solar radiation intensity harnessed by the modules, the quality of the manufacturing materials solar PV cell, its temperature, and so on [1] [2].

The solar PV modules are usually arranged with series and/or parallel connections and oriented with the sunlight direction where the solar modules are

fixed to position the sun trajectory with considering the country latitude angle [3]. But sun is moving along its path throughout the day, and for solar modules to extract maximum amount of solar radiation intensity, the solar beam must reach the solar modules perpendicularly. For the solar modules to attain solar beams at 90°, the mechanism that track the sun trajectory perpendicularly throughout the hours of the day, this mechanism is called solar tracking system.

The solar tracking system are classified into two based on mechanism of freedom of movement as single (one) and dual (two) axes solar tracking system. The single axis solar tracker is a tracker that track the solar beams in one direction, whereas, dual axes tracker is tracking the solar beams in two directions and its more efficient than single axis tracker. The power output by the dual axis tracker is between 20% to 30% more than that of single axis tracker and it is depending on the seasonal climate and geographical location [4, 5].

Fixed solar PV modules can harness maximum amount of solar radiation intensity when the modules are tilted on the optimal tilt angle of the location [6-8]. The performance of the solar tracking system depends on the optimum tracking mechanism of the system [9-12]. And solar PV with fixed modules has a lower operating cost and requires less maintenance effort.

Many authors have been studied solar tracking systems. Rustemli et al. [13] performed an experimental comparison between fixed module and sun-tracking module for the geographical condition of Van, Turkey. Another comparison indicated that the solar tracking system generated about 20% to 25% more power output by fixed solar modules, this study was done by Zhang et al. in 2015 [14]. Tirmikci and Yavuz performed similar work in 2015, where by their result was found that the dual axis tracker was 40% more efficient than fixed panels where single trackers have 20% [15]. Several other comparisons were provided in [3, 16-18].

## 2. Solar Tracking Angles

Flat plate collectors absorb beam radiation diffuse radiation and solar radiation reflected from the ground. In order to calculate the maximum absorbed radiation for tracking flat plate collectors, there is need to relate the amount of solar irradiance harnessed by the collector to the total solar irradiance on the horizontal surface. For a fully tracking flat plate collector, the slope of the collector must be equal to the complement of the sun's Altitude angle.

### 2.1 Declination angle ( $\delta$ )

The declination angle ( $\delta$ ) is the angular position of the sun when it is on the local meridian with respect to the plane of the equator [19]. It is given by Duffie and Beckman [20].

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n+284)}{365} \right] \quad (1)$$

Where: n is day of the year counted from 1<sup>st</sup> January of the year.

### 2.2 Solar Altitude Angle ( $\alpha$ )

Solar altitude angle can be defined as the angle between the horizontal and line to the sun, and solar altitude angle is the complement of the zenith angle [19]. The value of the solar altitude angles depends on the time of day, the time of year and the latitude on Earth [20].

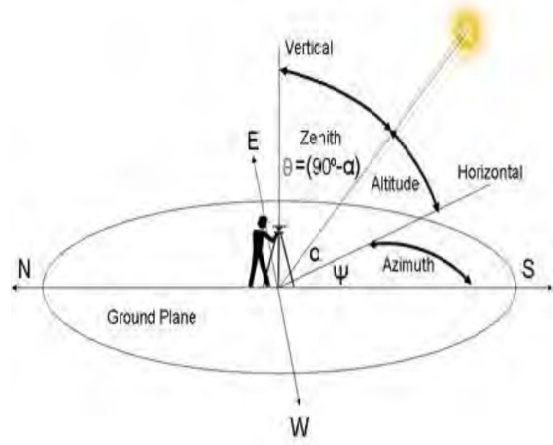


Figure 1. Solar Angles [20]

The sine of solar altitude angle ( $\alpha$ ) is equal to the cosine of zenith angle ( $\theta$ ) which is related as given by [21]:

$$\sin \alpha = \cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega \quad (2)$$

### 2.3 Hour Angle ( $\omega$ )

The hour angle refers to the angular displacement of the Sun when the Earth is rotation along its axis at 15° per hour due east or west of the local meridian; morning negative, afternoon positive as shown in Figure 1 [19].

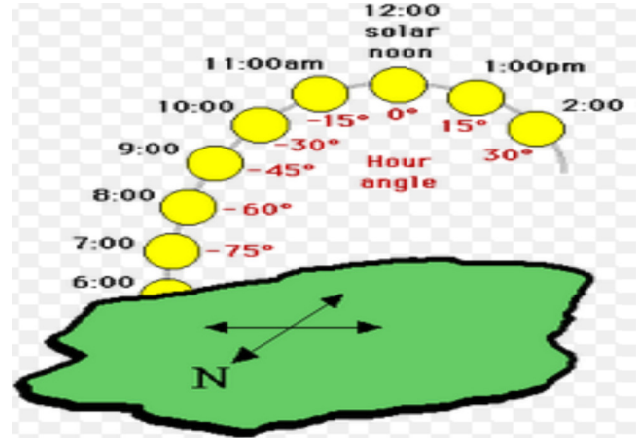


Figure 2. Hour Angle [22]

### 2.4 Solar Azimuth Angle ( $\psi$ )

Solar azimuth angle is the angle between south of the projection of the beam radiation to the horizontal plane [19]. Solar azimuth can be computed using the expression given by Duffie and Beckman below [19]:

$$\psi = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta \cos \phi} \right) \right| \quad (3)$$

Where:  $\psi$  is the solar azimuth angle;  $\alpha$  is solar altitude angle;  $\phi$  is latitude angle;  $\delta$  is the declination angle;  $\omega$  is the hour angle and  $\theta$  is the zenith angle.

### 2.5 Tilt angle

Tilt angle can be defined as the angle between solar collector and the horizontal. It is taken as positive for the surface sloping towards south and negative sloping towards north [20].

### 3. Materials and Method

The experiment was conducted at Bayero University, Kano using the dual-axis (Azimuth and Altitude) solar tracking system constructed with manual operation which controlled by worm and worm gear and rack and pinion gear for azimuth tracking and altitude tracking respectively. The system was developed at department of mechanical engineering, faculty of engineering of Bayero University, Kano.

In order to test the performance of azimuth-altitude solar tracking system, the system must be set on the particular azimuth and altitude angles for the testing site on different interval of the time for the day.

#### 3.1 Altitude and Azimuth Angles of the Site

The altitude and azimuth angles of the site (Bayero University, Kano) were determined for three (3) selected days of three (3) consecutive months (May, June and July) and then used for measuring the solar irradiance.

##### On Friday 17<sup>th</sup> May, 2019

n=137 days from January 2019, Latitude of Kano State  $\phi=12.2^\circ\text{N}$ .

Then from "Eq. 1", the declination angle:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right]$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(137 + 284)}{365} \right] = 19.26^\circ$$

At 8:00a.m, the hour angle is given by [19]:

$$\omega = (ST - 12) \times 15^\circ$$

Where: ST is Local Solar Time=8:00a.m

$$\omega = (8 - 12) \times 15^\circ$$

$$\omega = -60^\circ$$

From "Eq. 2", the altitude angle:

$$\sin \alpha = \cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin 12.2 \sin 19.26 \\ &+ \cos 12.2 \cos 19.26 \cos(-60) \\ &= 0.6324 \end{aligned}$$

$$\therefore \alpha = 39.2^\circ$$

The Zenith Angle is given by [19]:

$$\theta = \cos^{-1}(\sin \alpha)$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.6324) = 50.77^\circ$$

From "Eq. 3", the Azimuth Angle:

$$\psi = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta \cos \phi} \right) \right|$$

$$\begin{aligned} \psi &= - \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos 50.77 \sin 12.2 - \sin 19.26}{\sin 50.77 \cos 12.2} \right) \right| \\ &= -105^\circ \end{aligned}$$

Values for the subsequent hours were computed and presented in table A1 of the appendix A.

##### On Saturday 18<sup>th</sup> May, 2019

n=138 days from January 2019, Latitude of Kano State  $\phi=12.2^\circ\text{N}$ .

Then from "Eq. 1", the declination angle:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right]$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(138 + 284)}{365} \right] = 19.49^\circ$$

At 8:00a.m, the hour angle is given by [19]:

$$\omega = (ST - 12) \times 15^\circ$$

Where: ST is Local Solar Time=8:00a.m

$$\omega = (8 - 12) \times 15^\circ = -60^\circ$$

From "Eq. 2", the altitude angle:

$$\sin \alpha = \cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sin 12.2 \sin 19.49 \\ &+ \cos 12.2 \cos 19.49 \cos(-60) \\ &= 0.5312 \end{aligned}$$

$$\therefore \alpha = 32.1^\circ$$

The Zenith Angle is given by [19]:

$$\theta = \cos^{-1}(\sin \alpha)$$



$$\theta = \cos^{-1}(0.5312) = 57.91^\circ$$

From "Eq. 3", the Azimuth Angle:

$$\psi = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta \cos \phi} \right) \right|$$

$$\psi = - \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos 57.91 \sin 12.2 - \sin 19.49}{\sin 57.91 \cos 12.2} \right) \right|$$

$$= -105.5^\circ$$

Values for the subsequent hours were computed and presented in table A1 of the appendix A.

### On Sunday 19<sup>th</sup> May, 2019

n=139 days from January 2019, Latitude of Kano State  $\phi=12.2^\circ\text{N}$ .

Then from "Eq. 1", the declination angle:

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(n + 284)}{365} \right]$$

$$\delta = 23.45 \sin \left[ \frac{360(139 + 284)}{365} \right] = 19.71^\circ$$

At 8:00a.m, the hour angle is given by [19]:

$$\omega = (ST - 12) \times 15^\circ$$

Where: ST is Local Solar Time=8:00a.m

$$\omega = (8 - 12) \times 15^\circ = -60^\circ$$

From "Eq. 2", the altitude angle:

$$\sin \alpha = \cos \theta = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega$$

$$\sin \alpha = \sin 12.2 \sin 19.71$$

$$+ \cos 12.2 \cos 19.71 \cos(-60)$$

$$= 0.4932$$

$$\therefore \alpha = 29.55^\circ$$

The Zenith Angle is given by [19]:

$$\theta = \cos^{-1}(\sin \alpha)$$

$$\theta = \cos^{-1}(0.4932) = 60.45^\circ$$

From "Eq. 3", the Azimuth Angle:

$$\psi = \text{sign}(\omega) \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos \theta \sin \phi - \sin \delta}{\sin \theta \cos \phi} \right) \right|$$

$$\psi = - \left| \cos^{-1} \left( \frac{\cos 60.45 \sin 12.2 - \sin 19.71}{\sin 60.45 \cos 12.2} \right) \right|$$

$$= -105.9^\circ$$

Values for the subsequent hours were computed and presented in table A1 of the appendix A. And the

values for the months of June and July were computed and presented in table A2 and A3 of the appendix 'A' respectively.

### 3.2 Experimental Procedure

Two flat plate solar collectors were used to test the tracking accuracy of the system. The first solar collector was mounted on the system and the stationary solar collector was tilted and oriented to the latitude angle ( $12.2^\circ$ ) of Kano state Nigeria and facing south at the testing location as shown in Fig. 2 [23].

After mounting of the system, the following steps were adopted in order to measure the solar irradiance of both tracking and stationary collector:

- In the morning, the handle 'B' was rotated such that the system faced earthward direction.
- Two solarimeters were placed on both tracking and stationary collectors.
- On Friday by 8:00a.m, the handle 'A' was rotated and set at  $39.2^\circ$  (altitude angle of the site).
- The solar irradiances of both tracking and stationary collectors were measured.
- Step 'c' was repeated hourly based on the solar altitude and azimuth angles presented in table A1 of appendix A and the solar irradiances were measured hourly.
- The above steps were repeated on Saturday and Sunday and the solar irradiances of the system were measured in the month of May, 2019.
- The above procedures were repeated on three selected days of the months of June and July, and the solar irradiances of the system were measured for all the months.



**Figure 3.** Experimental Set-up showing tracking collector and stationary collector

## 4. Results and Discussion

### 4.1 Results

The results of the experiments for both tracking solar collector and stationary solar collector for each day were recorded and presented in tabular form (Appendix B) and Figures 3, 4 and 5 presents the comparison of average solar insolation of the three-month test with tracking and without tracking (stationary).

### 4.2 Discussion of the Results

After testing the dual solar tracker for three months, the amount of solar irradiance for both tracking solar collector and stationary solar collector were observed to have the maximum amount of solar irradiance falling on the two collectors was at noon (12:00pm) for the months of May and June 2019 with the exception of July, 2019. There were also significant differences between the amounts of solar irradiance falling on the tracking system compared to that by stationary collector. The total average amount of solar irradiance falling on the tracking and stationary collectors for the month of May, 2019 were 10923.7W/m<sup>2</sup> and 9151.33 W/m<sup>2</sup> with percentage change of 16.2% as shown in Table B2. Similarly, for the month of June, the total average amount of solar irradiance falling on the tracking and stationary collectors were 6416.33 W/m<sup>2</sup> and 6187.67 W/m<sup>2</sup> with percentage change 3.56% (Table B4). The total amount of solar irradiance falling on the tracking and stationary collectors were 7437.33 W/m<sup>2</sup> and 7244.33 W/m<sup>2</sup> with percentage change of 2.595% for the month of July, 2019 refer to Table B6.

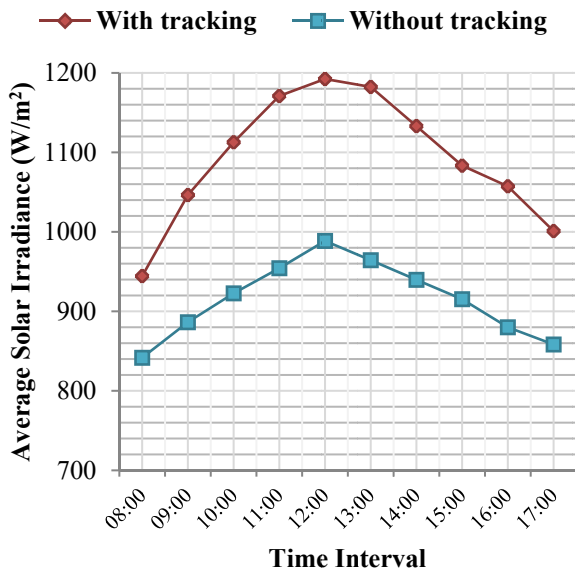


Figure 4. Average Solar Irradiance (W/m<sup>2</sup>) at the Test Site for the Month of May, 2019

Finally, it was found that every day there was difference in amount of solar irradiance on tracking collector and stationary collector. Also, the amount of solar irradiance increases with increase in time from morning to noon whereas it is decreases from noon to evening for the month of May and June refer to Figures 4 and 5 respectively. In Figure 6, the curve is polynomial curve this is because in month of July there were rainfalls between 10:36 am to 12:17 pm of the first testing day (Thursday, 25<sup>th</sup> July, 2019) and also the days were cloudy. But there are constraints that affect the result such as the unavailable data (Kano) of the site that will be used to compare the result with in the literatures and also shading of the tree in the site.

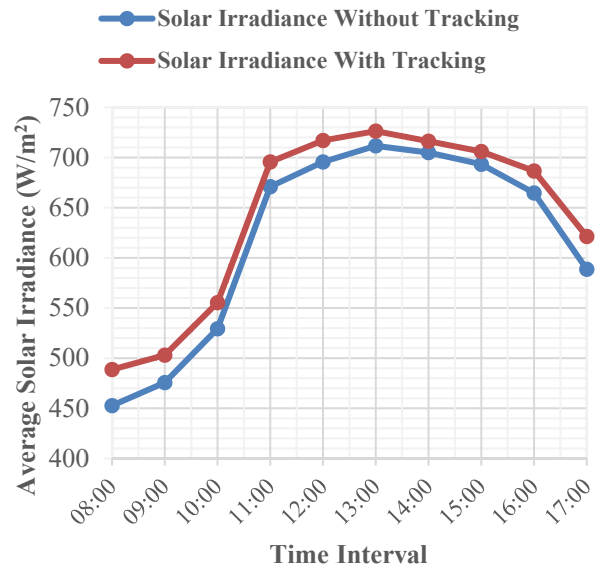


Figure 5. Average Solar Irradiance (W/m<sup>2</sup>) at the Test Site for the Month of June, 2019

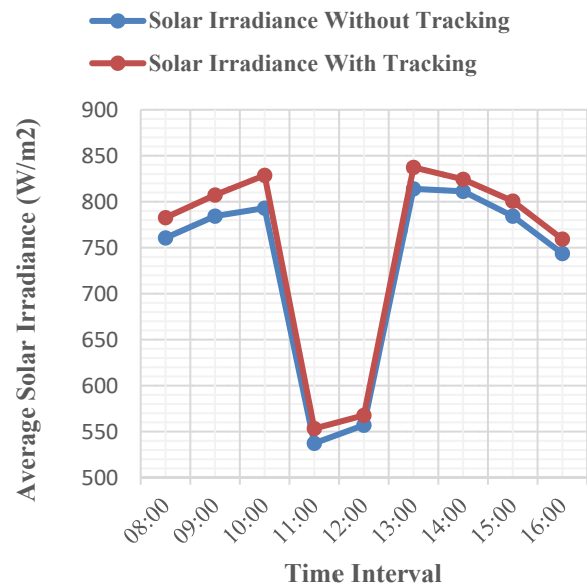


Figure 6. Average Solar Irradiance (W/m<sup>2</sup>) at the Test Site for the Month of July, 2019

## 5. Conclusions and Recommendation

### 5.1 Conclusions

The performance of dual-axis tracking and stationary solar module was evaluated, and the following conclusions were drawn:

- i. The tracking module is extracting more amount of solar irradiance than fixed module.
- ii. At noontime, both modules were producing higher amount of solar irradiance.
- iii. Rainfall and Cloud affected the performance of both modules.

### 5.2 Recommendation

To track the sun trajectory in the solar tracking system developed, operator has to be coming out and change the solar altitude and solar azimuth angles so as to optimize the maximum solar irradiance of the day accordingly. Therefore, it was recommended to develop this type of tracking system with automatic controls.

### References

- [1] Seme, S., Stumberger, G. Vorsic, J. (2011). Maximum Efficiency Trajectories of a Two-Axis Sun Tracking System Determined Considering Tracking System Consumption. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 26, 1280-1290.
- [2] Prinsloo, G., Dobson, R. (2014). Solar Tracking. High Precision Solar Position Algorithms, Programs, Software and Source-Code for Computing the Solar Vector, Solar Coordinates. Sun Angles in Microprocessor, PLC, Arduino, PIC and PC-Based Sun Tracking Devices or Dynamic Sun Following Hardware. Stellenbosch: SolarBooks. ISBN 978-0-620-61576-1, 1-542.
- [3] Serhan M., El-Chaar L. (2010). Two axes Sun Tracking System: Comparison with a fixed system. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPPQ'10)*, at Granada (Spain) on 23-25 March, 2010.
- [4] Khalil, A. A., El-Singaby, M. (2003). Position control of sun tracking system. *Midwest Symposium on Circuits and Systems*, 3, 1134 – 1137, 27-30<sup>th</sup> December, 2003. DOI:10.1109/MWSCAS.2003.1562493
- [5] Dankoff, W. Glossary of Solar Water Pumping Terms and Related Components. Available [www.dankoffsolarpumps.com](http://www.dankoffsolarpumps.com)
- [6] Nijegodorov, N., Devan, K. R. S., Jain, P. K., Carlsson, S. (1994). Atmospheric transmittance models and an analytical method to predict the optimum slope of an absorber plate variously oriented at any latitude. *Renewable Energy*, 4(5), 529-543. DOI: 10.1016/0960-1481(94)90215-1
- [7] Yakup M., Malik A. Q. (2001). Optimum tilt angle and orientation for solar collector in Brunei Darussalam. *Renewable Energy*, 24(2), 223-234. DOI: 10.1016/S0960-1481(00)00168-3
- [8] Gunerhan, H., Hepbasli, A. (2007). Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications. *42(2)*, 779-783. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.09.012
- [9] Sharan, A. M., Prateek, M. (2006). Automation of minimum torque based accurate solar tracking systems using microprocessors. *Journal of the Indian Institute of Science*, 86(5), 415-437.
- [10] Huynh, P. T., Cho, B. H. (1999). Design and analysis of a regulated peak-power tracking system. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10(2), 360-367. DOI: 10.1109/60.391904
- [11] Hiyama, T., Kouzuma, S., Imakubo, T. (1995). Identification of optimal operating point of PV modules using neural network for real time maximum power tracking control. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 10(2), 360-367, 1995. DOI: 10.1109/60.391904
- [12] Baz, A., Sabry, A., Mobarak, A., Morcos, S. (1984). On the tracking error of self-contained solar tracking system. *Journal of Solar Energy*, 106(4), 416-422. <https://doi.org/10.1115/1.3267620>
- [13] Rustemli, S., Dincadam, F., Demirtas, M. (2010). Performance comparison of the sun tracking system and fixed system in the application of heating and lightning. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 35(28), 171-183.
- [14] Zhang, Q., Yu, H., Zhang, Q., Zhang, Z. et al, (2015). A Solar Automatic Tracking System that Generates Power for Lighting Greenhouses. *Energies*, 8, 7367-7380, doi:10.3390/en8077367
- [15] Tirmikci, C. A., Yavuz, C. (2015). Comparison of Solar Trackers and Application of a Sensor Less Dual Axis Solar Tracker. *Journal of Energy and Power Engineering*, 9, 556-561. Doi: 10.17265/1934-8975/2015.06.006
- [16] Maatallah, T., El Alimi, S., Nassrallah, S. B. (2011). Performance modeling and investigation of fixed single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 4053-4066, 2011. DOI: 10.1016/j.rser.2011.07.037
- [17] Deepthi, S., Ponni, A., Ranjitha, R., Dhanabal, R. (2013). Comparison of Efficiencies of Single-

axis Tracking System and Dual-axis Tracking System with Fixed Mount. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2(2), 425-430.

[18] Uebari, B.; Bere, B. S.; Komi, I. S. B.; Sunday, L. U. (2016). Design of Automatic two-axis Solar Tracker with Fuzzy Logic Controller for Maximum Power System in Nigeria. *International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology*, 3(11), 329-336.

[19] Duffie J. A., Beckman W. A. (2006). *Solar Engineering of Thermal Process*. John Wiley and Sons, Inc. Hoboken, New Jersey, Third Edition, 2006. pp. 15-16.

[20] Duffie J. A., Beckman W. A. (1991). *Solar Engineering of Thermal Process*. New York, USA: Wiley-Interscience, Second Edition, 15-16.

[21] Kalogirous S. A. (2014). *Solar Energy Engineering Process and System*. Elsevier Inc. Amsterdam. Second Edition, 59-60.

[22] Mai S. E., Wagdy R. A., Ismail M. H., Mikail A. (2017). Design of single-axis and dual-axis tracking systems protected against high wind speed. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 6(9), 84-89.

[23] Waziri N. H., Usman A. M., Enaburekhan J. S. (2015). Optimum Temperature and Solar Radiation Periods for Kano using Flat Plate Collector. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 13(4), 570-578.

**APPENDICES**

**Appendix A: The Calculated Solar Altitude and Azimuth Angles of the Experimental Days**

**Table A1:** The Calculated Solar Altitude and Azimuth Angles for the Month of May, 2019

	Fri. 17 <sup>th</sup> May, 2019		Sat. 18 <sup>th</sup> May, 2019		Sun. 19 <sup>th</sup> June, 2019	
Time	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)
8:00	39	-105	32	-106	30	-106
9:00	55	-106	46	-106	43	-106
10:00	59	-111	60	-108	56	-103
11:00	66	-116	74	-119	74	-119
12:00	73	-121	83	177	83	177
13:00	66	-116	74	119	74	119
14:00	59	110	60	108	60	108
15:00	55	106	46	106	46	106
16:00	39	105	32	106	32	106
17:00	24	106	18	107	18	107

**Table A2:** The Calculated Solar Altitude and Azimuth Angles for the Month of June 2019

	Mon. 10 <sup>th</sup> June, 2019		Wed. 12 <sup>nd</sup> June, 2019		Tue. 11 <sup>st</sup> June, 2019	
Time	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)
8:00	50	43	46	50	43	56
9:00	3	205	6	169	8	152
10:00	13	116	15	113	16	111
11:00	43	51	40	58	38	63
12:00	-11	128	-6	163	-3	213
13:00	43	51	40	58	38	63
14:00	13	116	15	113	16	111
15:00	3	205	6	169	8	152
16:00	50	43	46	50	43	56
17:00	-8	142	-4	185	-1	272

**Table A3:** The Calculated Solar Altitude and Azimuth Angles for the Month of July, 2019

	Thu. 25 <sup>th</sup> July, 2019		Fri. 26 <sup>th</sup> July, 2019		Sat 27 <sup>th</sup> July, 2019	
Time	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)	Altitude Angle $\alpha$ (Degree)	Azimuth Angle $\psi$ (Degree)
8:00	-63	54	4	71	-72	86
9:00	7	143	10	102	23	125
10:00	-8	131	-7	124	3	131
11:00	-50	41	-58	63	-51	81
12:00	26	55	33	149	55	98
13:00	-50	41	-58	63	-51	81
14:00	-8	131	-7	124	3	131
15:00	7	143	10	102	23	125
16:00	-63	54	4	71	-72	86
17:00	23	66	29	172	48	-11

**Appendix B: Experimental Results of Solar Irradiance for the Three Month of the Test**

**Table B1:** Solar Irradiance Measured on Friday 17<sup>th</sup>, Saturday 18<sup>th</sup>, Sunday 19<sup>th</sup> May, 2019

	Friday 17th May, 2019		Saturday 18th May, 2019		Sunday 18th May, 2019	
Time	Solar Irradiance with Tracking	Solar Irradiance without Tracking	Solar Irradiance with Tracking	Solar Irradiance without Tracking	Solar Irradiance with Tracking	Solar Irradiance without Tracking
08:00	825	703	1014	840	994	982
09:00	993	736	1076	904	1070	1019
10:00	1057	769	1143	957	1138	1042
11:00	1168	814	1175	981	1170	1068
12:00	1187	858	1198	1009	1192	1099
13:00	1180	820	1187	998	1180	1075
14:00	1076	795	1164	972	1159	1052
15:00	1059	770	1099	947	1092	1029
16:00	1053	743	1062	896	1057	1001
17:00	999	730	1006	859	998	986
Total	10597	7738	11124	9363	11050	10353

**Table B2:** Average Solar Irradiance for Three Days Test of May, 2019

Time	Solar Irradiance With Tracking	Solar Irradiance Without Tracking	Percentage Change
8:00	944.3333	841.6667	10.87187
9:00	1046.333	886.3333	15.29149
10:00	1112.667	922.6667	17.07609
11:00	1171	954.3333	18.5027
12:00	1192.333	988.6667	17.08135
13:00	1182.333	964.3333	18.43812
14:00	1133	939.6667	17.06384
15:00	1083.333	915.3333	15.50769
16:00	1057.333	880	16.77175
17:00	1001	858.3333	14.25241
Total	10923.67	9151.333	16.22471

**Table B3:** Solar Irradiance Measured on Monday 10<sup>th</sup>, Tuesday 11<sup>st</sup>, Wednesday 12<sup>nd</sup> June, 2019

	Mon. 10 <sup>th</sup> June, 2019		Tue. 11 <sup>st</sup> June, 2019		Wed. 12 <sup>nd</sup> June, 2019	
Time	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking
08:00	762	802	596	664	-	-
09:00	806	820	621	689	-	-
10:00	941	963	647	703	-	-
11:00	994	1007	672	727	347	353
12:00	1020	1034	708	748	359	369
13:00	1035	1048	729	754	371	377
14:00	1016	1029	725	739	374	381
15:00	1008	1017	710	731	362	370
16:00	974	989	663	706	357	365
17:00	792	823	632	690	342	351
Total	9348	9532	6703	7151	2512	2566

**Table B4:** Average Solar Irradiance for Three Days Test of June, 2019

Time	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking	Percentage Change
08:00	452.667	488.667	7.36698
09:00	475.667	503	5.43406
10:00	529.333	555.333	4.68187
11:00	671	695.667	3.54576
12:00	695.667	717	2.97536
13:00	711.667	726.333	2.01927
14:00	705	716.333	1.58213
15:00	693.333	706	1.79415
16:00	664.667	686.667	3.20388
17:00	588.667	621.333	5.25751
Total	6187.67	6416.33	3.56382

**Table B5:** Solar Irradiance Measured on Thursday 25<sup>th</sup>, Friday 26<sup>th</sup>, Saturday 27<sup>th</sup> July, 2019

	Thur. 25th July, 2019		Fri. 26st July, 2019		Sat. 27th July, 2019	
Time	Solar Irradiance without Tracking	Solar Irradiance with Tracking	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking	Solar Irradiance Without Tracking	Solar Irradiance With Tracking
08:00	794	824	790	806	698	718
09:00	829	849	817	837	707	736
10:00	823	875	832	852	724	759
11:00	0	0	853	886	759	774
12:00	0	0	890	905	781	798
13:00	722	737	917	956	803	819
14:00	718	731	922	938	794	804
15:00	689	703	904	916	760	783
16:00	631	648	879	893	721	737
17:00	578	595	699	718	699	715
Total	5784	5962	8503	8707	7446	7643

**Table B6:** Average Solar Irradiance for Three Days Test of July, 2019

Time	Solar Irradiance without Tracking	Solar Irradiance with Tracking	Percentage Change
08:00	760.667	782.667	2.8109
09:00	784.333	807.333	2.84889
10:00	793	828.667	4.3041
11:00	537.333	553.333	2.89157
12:00	557	567.667	1.87904
13:00	814	837.333	2.78662
14:00	811.333	824.333	1.57703
15:00	784.333	800.667	2.03997
16:00	743.667	759.333	2.06321
17:00	658.667	676	2.5641
Total	7244.33	7437.33	2.59502



## Dalgacık Dönüşümü ve Özbağlanım Model Parametreleri Öznitelikleri ile Otomobil Motor Seslerinden Arıza Tespiti

Gökтуğ YILMAZ<sup>a</sup>, Necip Fazıl METE<sup>b</sup>, Umusalama UMUGABEKAZI<sup>c</sup>, Önder AYDEMİR<sup>\*d</sup>

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

(Alınış / Received: 17.11.2020, Kabul / Accepted: 24.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

Motor arızası

Ses tanıma

Öznitelik çıkarma

Sınıflandırma

**Özet:** Örüntü tanıma ve makine öğrenmesi başarılı sonuçlar sağlamasından dolayı popülerliğini giderek arttırmakta ve birçok alanda kullanılmaktadır. Bu çalışmada marka ve model farkı gözetmeksizin zamanlama zinciri ve vuruntu arızası ile normal çalışma durumlarına ait otomobil motor sesleri sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntem iki saniyelik motor seslerinden sürekli dalgacık dönüşümü ve özbağlanım parametresi özniteliklerin  $k$ -en yakın komşuluk algoritması ile sınıflandırarak %91.8 oranında sınıflandırma doğruluğu elde etmiştir. Elde edilen sonuçlar önerilen yöntemin otomobil motor sesleri kullanılarak araçlarda meydana gelebilecek arızaları büyük oranda tespit edilebileceğini göstermiştir. Böylece, otomobil motorlarındaki arızanın erken tespiti mümkün olmakta, bu da olası kazaların ve büyük arızaların ortaya çıkmasının önüne geçmektedir. Ayrıca, önerilen yöntemin araç yetkili servislerine ve motor ustalarına rehberlik etmek ve zaman kazandırmak amaçlı da kullanılabilirliği düşünülmektedir.

## Wavelet Transform and Autoregressive Model Parameter Features based Engine Fault Diagnosis System

### Keywords

Motor fault

Sound recognition

Feature extraction

Classification

**Abstract:** Pattern recognition and machine learning are increasing in popularity due to their successful results and are used in many areas. In this study, the timing belt and knock failure and automobile engine sounds belonging to normal operating conditions are classified, regardless of brand and model. The proposed method has achieved a classification accuracy of 91.8% by classifying the features of continuous wavelet transform and autoregressive model parameter from two-second motor sounds with the  $k$ -nearest neighborhood algorithm. The obtained results showed that the proposed method could be used to detect engine faults that may occur in vehicles by using automobile engine sounds. Thus, early detection of engine faults in automobiles is possible, which prevents possible accidents and major breakdowns. In addition, it is thought that the proposed method can be used to guide vehicle authorized services and engine masters and to save time.

### 1. Giriş

Örüntü tanıma ve makine öğrenmesi birçok disiplinde önemli bir çalışma sahası haline gelmiştir. Mühendislikten [1-3] tıbbı [4-7], biyolojiden [8] finansa [9], [10] kadar birçok alanda araştırmacıların problemleri çözmek için başvurduğu etkin bir çözüm aracı olarak popülerliği giderek artmaktadır. Yapılan

çalışmalar, örüntü tanıma ve makine öğrenmesi tabanlı çözümlerin özellikle tıpta erken teşhis veya teşhis destek sistemi olarak oldukça yaygın bir şekilde kullanıldığını göstermektedir [11-16]. Örüntü tanıma ve makine öğrenmesi yöntemlerinin tercih edildiği ve bu çalışmanın da içeriğini oluşturan bir diğer konu ise motor arızası tespitidir [17-21]. Özellikle, otomobil motorlarının çıkardıkları sesler,

\*İlgili yazar: [onderaydemir@ktu.edu.tr](mailto:onderaydemir@ktu.edu.tr), <sup>d</sup>ORCID: 0000-0002-1177-8518

<sup>a</sup>ORCID: 0000-0002-0901-5992, <sup>b</sup>ORCID: 0000-0003-3819-339X, <sup>c</sup>ORCID: 0000-0001-6031-3576

motordaki arızaya dair ciddi ipuçları verebilmektedirler. Böylelikle bu seslerin analiz edilmesi ve sınıflandırılmasıyla, otomobil motorlarındaki arızanın erken tespiti mümkün olmakta, bu da olası kazaların ve büyük arızaların ortaya çıkmasının önüne geçmektedir. Dahası, sağladığı erken bilgilendirme ile can ve mal kaybının en aza inmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca, bu sistemler yetkili servislere ve motor ustalarına rehberlik etmek ve zaman kazandırmak amaçlı da kullanılabilirler. Navea ve Sybingco tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada [22] motor marş problemleri, tahrik kayışı problemleri ve vana açıklığına bağlı arıza problemleri tespit edilmiştir. Bahsi geçen makalede hedef marka ve modeldeki arızaların yanı sıra başka marka ve modeldeki arızaların da tespiti gerçekleştirilmiştir. Referans ses kayıtları 1996- 2000 model Honda Civic arabalarından alınmış olup, %56 sınıflandırma doğruluğu sağlayan bir model önerilmiştir. Bunun yanında bazı problemler ise %100 doğrulukla tespit edilmiştir. Çalışmada öznitelik olarak Fourier Dönüşümleri ve Spektrum güç yoğunlukları kullanılmıştır. Sınıflandırma işlemi ise bir bulanık mantık çıkarsama sistemi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Bir başka motor sesi arızası tabanlı çalışmada Siegel ve arkadaşları ise yanlış ateşleme arızasının tespiti üzerine çalışmışlardır [23]. Bu çalışmada farklı ortam koşullarında 35 adet Honda Civic'ten hem sağlıklı hem de arızalı motorlar için ses kaydı alınmış olup, bu seslerden Fourier, Dalgacık Dönüşümü ve Mel-Frekanslı Kepstrum Katsayıları öznitelikleri çıkarılmıştır. Sınıflandırma yöntemi olarak Destek Vektör Makineleri (DVM) kullanılmış olup, %99 doğruluk oranı elde edilmiştir. Ayrıca her bir kayıt 2.5 saniyelik parçalara ayrılmıştır ve bu şekilde 992 adet 2.5 saniyelik parçadan oluşan bir veri seti elde edilmiştir. Farklı bir çalışmada ise Wang ve arkadaşları Santana 2000 aracı üzerinde motor ses kayıtları almıştır [24].

Çalışma kapsamında öznitelik çıkarmak için Hilbert-Huang dönüşümü kullanılmıştır. Ölçümler motor silindir kapağının 30 cm üzerinden gerçekleştirilmiş olup, arka plan sesleri, arıza sesinden 15 dB düşük olduğundan görmezden gelinmiştir. Ölçüm sırasındaki sinyal uzunluğu 3sn, örnekleme değeri 16.384 Hz'dir. Ölçümler sıcak bir motorda ve 2500 dev/dk'da gerçekleştirilmiştir. Arızaların her biri için 20 araçtan toplamda 140 veri toplanmıştır. DVM yöntemi kullanılarak %96'ya varan oranla hata tespit edilmiştir. Motor sesinden başka insan sesi gibi dış ortamdaki gelen farklı sesleri de dikkate alan Kemalkar ve Bairagi ise, yağlama arızası, zincir arızası, krank arızası ve vana arızasına dayalı sesleri 44.1 kHz örnekleme frekansı ile kaydetmişlerdir [25]. Kayıtlar servis istasyonunda alındığından, insan konuşmaları ve farklı ortam sesleri de olduğu gibi kaydedilmiştir. Çalışma, motosiklet motoru üzerinde yapılmış olup Honda Unicorn ve Bajaj Pulsar marka

motosikletler üzerinde çalışılmıştır. Honda'dan 20 saniyelik, Bajaj Pulsar'dan da 15 saniyelik ses kayıtları alınmış olup, doğruluk oranları %50 ile %75 arasında değişmektedir. Öznitelik çıkartmak için kullanılan yöntemse Mel-Frekanslı Kepstrum katsayıları algoritmasıdır. Diğer bir çalışmada ise Madain ve arkadaşları 2008 model Audi A4 ve 2005 model Toyota Rav4 motorları üzerinde çalışmış olup, bazı yatak arızaları ve egzoz arızalarını sınıflandırmışlardır [26]. Audi ile yapılan çalışmada doğru teşhis oranı %100 iken Toyota'da bu değer %90 olarak belirtilmiştir. Seslerin sınıflandırılması yapılırken korelasyon katsayıları, normalize edilmiş ortalama karesel hata ve formant frekansları kullanılmıştır.

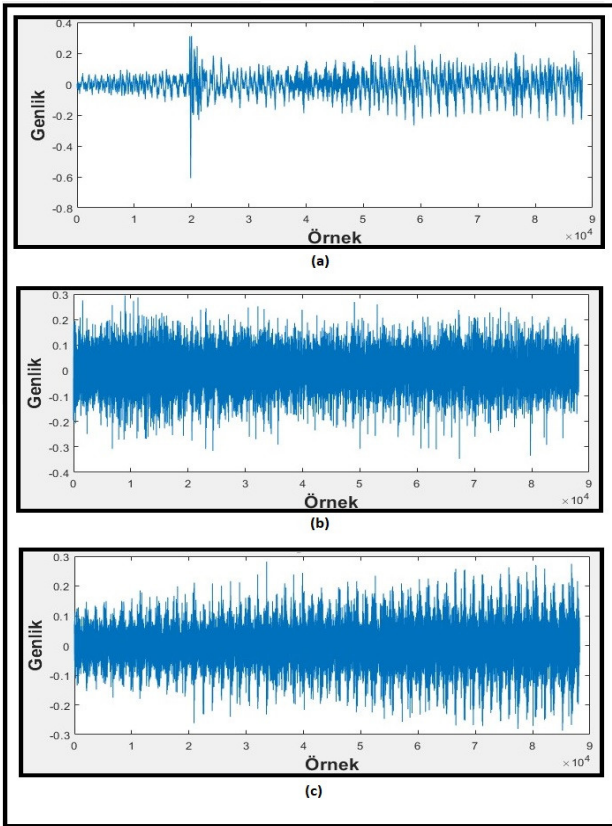
Literatürde motor sesine dayalı arıza tespitinde çok farklı araçlar ve farklı arıza durumlarında çalışıldığı ve genel bir yöntem önerilmediği söylenebilir. Bu çalışmada model farkı gözetilmeksizin zamanlama zinciri ve vuruntu arızaları ile sağlıklı motor durumlarına ait sesler sınıflandırılmıştır. Zamanlama zinciri veya kayışı, motorun krank mili ile kam mili arasındaki hareketi düzenler. Motordaki bu önemli parça, kimi araçlarda zincir kimi araçlarda ise kayış şeklindedir. Bu parçanın kopması, piston ve subap hareketinin zamanlamasını bozarak motora ciddi zararlar verebilir. Kimi zaman aniden kopan bu zincir, kimi zamansa dişlerindeki bozulmalardan ötürü problemi işaret eden sesler çıkarır. Bu ses tespit edildiği zaman, zincirin değiştirilmesi gerekmektedir. İncelenen bir diğer arıza ise sık rastlanan bir sorun olan, vuruntu problemidir. İçten yanmalı motorlarda hava ve benzin karışımı, silindir içerisindeki üst ölü noktaya ulaştıktan sonra bujilerin alev almasıyla yanmaktadır. Ancak bazen, yüksek basınç ve sıcaklık değerlerinde, yakıt hava karışımı üst ölü noktaya ulaşmadan yanar ve bu olay vuruntu olarak adlandırılır. Bu durumda motor titreşimli ve darbeleri çalışmaya başlar ve kendini belli eden bir ses oluşturur. Motorun zarar görmesine sebep olan bu arızanın erken tespiti, hasar daha ciddi boyutlara ulaşmadan yapılmalıdır. Çalışma kapsamında bu arızaların teşhisinde, sürekli dalgacık dönüşümü ve özbağlanım modeli parametreleri öznitelikleri ve k-en yakın komşuluk (k-EYK) sınıflandırıcısı kullanılmış olup k=1 değeri için %91.8 doğruluk oranı elde edilmiştir. Çalışma kapsamında herhangi bir çapraz doğrulama yöntemi kullanılmamıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Veri Seti Tanıtımı

Bu çalışmada internetten bulunan zamanlama zinciri ve vuruntu arızaları ile sağlıklı motor durumlarına ait sesler sınıflandırılmıştır. Arıza tespitleri alanında uzman motor ustaları tarafından yapılmıştır. Motor

sesleri herhangi bir marka ve model ayrımı gözetilmemiş olup, aracın odaklanılan motor arızasına sahip olması yeterli görülmüştür. Kayıtlar Honda, Ford, Mercedes ve Audi marka araçlardan alınmıştır. Bu kayıtlar, internetten rastgele indirildikleri için ortam koşulları değişiklik göstermektedir. Ayrıca kayıtların arıza sesi içermeyen bölümleri kesilmiştir. Her bir arıza için 20 adet video kaydı indirilmiş olup, indirilen bu dosyalara video düzenleme programı ile gürültü eklenerek yeni kayıtlar türetilmiş ve arıza başına 40 adet ses dosyası videolardan elde edilmiştir. Gürültü olarak kullanılmak üzere tren, yıldırım, rüzgar, yağmur, kahkaha ve konuşma sesleri gibi çeşitli ortam sesleri tercih edilmiştir. Gürültüler sinyal-gürültü oranı yaklaşık 44 olacak şekilde eklenmiştir. Sağlıklı motor sesinden ise 20 adet indirilmiş olmakla beraber, kayıtlara gürültü eklenmemiş ve yeni kayıtlar türetilmemiştir. Sonuç olarak, her bir arıza için 40 adet, sağlıklı motor sesi içinse 20 adet olmak üzere, toplam 100 adet kayıttan yararlanılmıştır. Ses dosyaları 2'şer saniyelik parçalara ayrılmış ve 44.1 kHz örnekleme frekansıyla her bir parçadan 88200 örnek alınmıştır. Herbir ses sınıfının yarısı eğitim yarısı da test olarak gruplandırılmıştır. Veri setinin tüm özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca arızalı ve sağlıklı motor seslerine ait ikişer saniye uzunluğundaki ses sinyali örnekleri Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Motor seslerine ait örnek işaretler, a) Zamanlama zinciri arızası, b) Vuruntu arızası ve c) normal çalışma durumu

**Tablo 1.** Veri seti özellikleri

Gürültü	Zamanlama Zinciri		Vuruntu		Sağlıklı	
	Var	Yok	Var	Yok	Var	Yok
Kayıt Sayısı	20	20	20	20	0	20
Toplam Kayıt Sayısı	40		40		20	
Toplam Kayıt Süresi	1964 saniye		2270 saniye		874 saniye	
Toplam Deneme Sayısı	982		1135		437	
Bir Denemenin Süresi	2 saniye		2 saniye		2 saniye	

## 2.2. Yöntem

Ham ses işareti tek başına ayırt edici bir özellik taşımayabilir. Bunun için örüntü tanıma algoritmaları ses işaretlerinden öznitelikler hesaplayarak verilerde bulunan gizli bilgileri ortaya çıkartmak için kullanılır. Bu aşamanın örüntü tanıma ve makine öğrenmesi problemleri için en kritik aşama olduğu söylenebilir. Çünkü öznitelikler direkt olarak sınıflandırma yönteminin performansını etkilemektedir. Bu çalışmada ses işaretleri sürekli dalgacık dönüşümü (SDD) katsayıları ve özbağlanım parametreleri (ÖBP) temelli öznitelikler ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma aşamasında ise basit olmasına rağmen literatürde örüntü tanıma ve makine öğrenmesi alanında çalışan araştırmacılar tarafından sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlar elde edilen k en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır. Tüm hesaplamalar MATLAB R2018a ortamında yapılmıştır. Aşağıda verilen alt başlıklarda öznitelik çıkarma ve sınıflandırma adımlarının hesaplama yöntemleri detaylı bir şekilde verilmiştir.

### 2.2.1 Öznitelik Çıkarma

Dalgacık dönüşümü, bir işaretin zaman-frekans analizi için ölçek ve kaydırma parametreleri ile kullanılan önemli bir yöntemdir. Ortalaması sıfır olan ve ölçek parametresi ile ön plana çıkaracağı frekans bölgesi ayarlanabilen dalgacık, kaydırma parametresi ile analize edilecek  $f(x)$  işareti üzerinde gezdirilir ve her bir adımda dalgacık ile işaret Eşitlik 1'de gösterildiği gibi konvolüsyona tabi tutulur. Eşitlik 2'de ise dalgacığın matematiksel ifadesi verilmiştir [27], [28].

$$SDD_f(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \psi_{a,b}^*(x) dx \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{x-b}{a}\right) \quad (2)$$

Bu eşitliklerde  $SDD_f(a, b)$  SDD dönüşümü katsayılarını,  $\psi_{a,b}(x)$  ana dalgacığı,  $b$  öteleme parametresini ve  $a$  ise ölçek parametresini ifade

etmektedir. Bu çalışmada SDD katsayılarının standart sapması ve ortalaması her bir 2 saniyelik ses işaretini temsil etmek için öznitelik olarak sırasıyla Eşitlik 3 ve Eşitlik 4'te verildiği gibi hesaplanmıştır.

$$SDD\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N |SDD_i - SDD\mu|^2} \quad (3)$$

$$SDD\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N SDD_i \quad (4)$$

Bu eşitliklerde SDD $\sigma$  SDD katsayılarının standart sapmasını, SDD $\mu$  SDD katsayılarının ortalamasını,  $N$  örnek sayısını ve  $SDD_i$   $i=1, 2, 3, \dots, N$  olmak üzere  $i$ 'inci SDD katsayısını ifade etmektedir.

Özbağlanım modelinde ise zaman uzayında bulunan işareti girdi olarak alarak bir tahmin işlemi gerçekleştirilir. İşaretin geçmişteki davranışı referans olarak alınarak gelecekteki davranışı tahmin etmeye dayalı bir işleyişe sahiptir [29]. Bir özbağlanım modeli için  $n$ 'inci dereceden tahmin eşitliği Eşitlik 5'te verilmiştir.

$$f(x) = p_1 f_{t-1} + p_2 f_{t-2} \dots p_n f_{t-n} + e(t) \quad (5)$$

Bu eşitlikte  $f(x)$  ham ses işaretini,  $p_1, p_2, \dots, p_n$   $n$ 'inci derece ÖBP katsayılarını ve  $e(t)$  önceki değerlerden bağımsız olan beyaz gürültüyü temsil etmektedir. Bu çalışmada  $p$  katsayıları ÖBP öznitelikleri olarak kullanılmıştır.

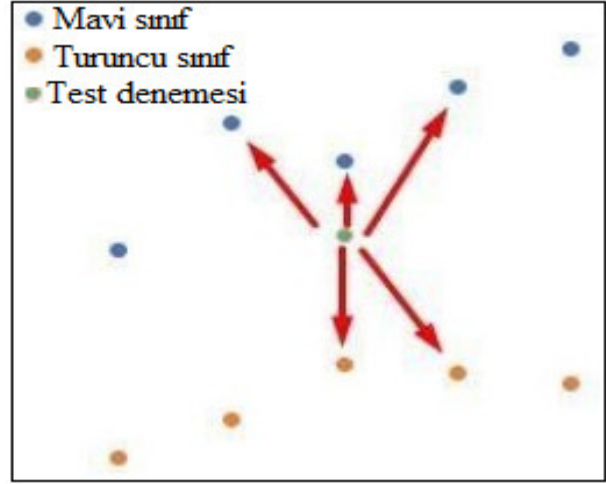
### 2.2.2. Sınıflandırma

Bu çalışmada literatürde sıklıkla kullanılan ve başarılı sonuçlara verebilen  $k$ -EYK sınıflandırıcısı kullanılmıştır. Bu yöntemde sınıflandırma, öznitelik uzayındaki verilerin birbirine olan uzaklıklarına yapılmaktadır. Şekil 2'de gösterildiği gibi sınıflandırılması gereken test denemesinin, eğitim öznitelik uzayındaki denemelere olan uzaklıkları öncelikle hesaplanır. Bu uzaklıklardan en küçük  $k$  tanesi dikkate alınarak oylama yöntemi ile test denemesinin ait olduğu sınıf belirlenir.  $k$ -EYK sınıflandırıcısında hem  $k$  parametresinin değeri hem de denemeler arasındaki uzaklıkların hesaplan yöntemi sınıflandırma sonucuna etki eden faktörlerdir. Bu çalışmada  $k$  parametresi 10 kat çapraz doğrulama yöntemi ile, uzaklık hesaplaması ise Eşitlik 6'da verildiği gibi Öklit ölçütü ile hesaplanmıştır [30].

$$U = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (6)$$

Bu eşitlikte  $x_1$  ve  $y_1$  iki boyutlu bir öznitelik uzayında bir denemenin koordinatlarını,  $x_2$  ve  $y_2$  de aynı uzayda diğer bir denemenin koordinatlarını

göstermektedir.  $U$  ise bu iki denemenin Öklit ölçütüne göre uzaklığıdır.



Şekil 2.  $k$ -en yakın komşuluk sınıflandırıcısı

### 3. Sonuçlar

Bu çalışmada model farkı gözetilmeksizin zamanlama zinciri ve vuruntu arızaları ile normal çalışma durumlarına ait otomobil motor sesleri  $k$ -EYK ile sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma işleminde  $k$  değeri 1'den 20'ye kadar değiştirilmiş olup, en yüksek sonucu veren  $k$  değeri belirlenmiştir. İki saniyelik motor sesleri her bir deneme parçasını oluşturmak üzere bu ses işaretlerinden SDD ve ÖBP öznitelikleri çıkarılmıştır. Bu özniteliklerle elde edilen sınıflandırma doğrulukları sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir. Burada verilen sınıflandırma doğruluklarının tamamı, test kümesinden elde edilen doğruluklardır. SDD öznitelikleri 10 farklı dalgacık için çıkarılmış ve her biri için sınıflandırma doğrulukları hesaplanmıştır. En yüksek sınıflandırma doğruluğu Morlet ile %56.5 olarak elde edilirken, en düşük sonuç ReverseBior 3.5 ile %52.0 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 2. SDD özniteliklerine ait sınıflandırma doğrulukları

Dalgacık Türü	Sınıflandırma Doğruluğu (%)
Daubechies 6	54.1
Daubechies 10	54.8
Coiflets 4	53.5
BiorSplines 1.1	52.2
ReverseBior 3.5	52
Meyer	55.2
Dmeyer	53.3
Gaussian 6	53.5
Symlets 6	53.5
Morlet	56.5

ÖBP öznitelikleri ise farklı ÖBP derecelerine göre elde edilerek en uygun ÖBP derecesi belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek sınıflandırma doğruluğu 5. derece ile %90.7 olarak hesaplanırken, en düşük sonuç 13. derece ile %79.8 olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 3.** ÖBP özniteliklerine ait sınıflandırma doğrulukları

ÖBP Derecesi	Sınıflandırma Doğruluğu (%)
5	90.7
6	90.2
7	87.5
8	89.7
9	86.8
10	84.7
11	84.2
12	83.2
13	79.8
14	82.6
15	81.2

SDD ve ÖBP özniteliklerinin birlikte kullanımlarından başka literatürde sıklıkla kullanılan toplam band gücü (TBG), Hilbert Dönüşümü (HT), entropi (E) ve istatistiksel (İ) özniteliklerin sınıflandırma performansına olan katkıları da ayrıca hesaplanmıştır. Burada istatistiksel öznitelikler ses işaretlerinin ortalaması, standart sapması, işaretin türevinin standart sapması ve basıklık değerleridir. Bu özniteliklerin birlikte kullanımına ait sınıflandırma doğruluğu sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Herbir doğruluk değerine karşılık, hangi özniteliklerinin kullanıldığı yeşil tik işaretiyle gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre SDD ve ÖBP'nin birlikte kullanımı en yüksek sınıflandırma doğruluğunu  $k=1$  değeri için %91.8 olarak sağlamıştır.

**Tablo 4.** Özniteliklerin hibrit kullanım sonuçları

ÖBP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
SDD	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
TBG	✓	✓	✓	✓	×	×	×
HD	✓	✓	✓	×	✓	×	×
E	✓	✓	×	×	×	✓	×
İ	✓	×	×	×	×	×	×
Doğruluk (%)	80.6	37.8	91.3	90.9	91.5	37.8	91.8

#### 4. Bulgular

Çalışma kapsamında otomobil motor sesleri sınıflandırılarak araçlarda meydana gelebilecek arızaların örüntü tanıma ve makine öğrenmesi algoritmaları ile belirlenebileceği gösterilmiştir. Önerilen yöntem oluşturulan veri seti üzerine başarılı bir şekilde uygulanmış, SDD ve ÖBP öznitelikleri ve  $k$ -EYK sınıflandırıcısı ile %92 oranında sınıflandırma doğruluğu test verilerinde sağlamıştır. Özniteliklerin kolay hesaplanabilmesi ve literatürde daha önce dikkate alınmayan zamanlama zinciri ve vuruntu arızaları ile normal çalışma durumuna ait seslerin sınıflandırılması, çalışmayı benzerlerinden ayırmakta ve literatüre katkı sağlamaktadır. Çalışmanın bir diğer önemli özelliği ise sadece 2 saniyelik motor sesinden sınıflandırma işlemini yapabmesidir. Önerilen yöntem otomobil marka ve modeli gözetmeksizin elde edilen motor seslerine uygulanmış olup, verilerin %40'ı yapay olarak oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar, motor seslerinin sınıflandırılması için izlenmesi gereken yöntem konusunda fikir vermekle birlikte, yöntemin üretilen yapay seslerden arındırılması ve farklı sınıflandırma yöntemlerinin de işin içine dahil edilmesiyle tekrarlanması planlanmaktadır.

Gelecek çalışmalarda farklı arızalara ait sesler de veri setine eklenerek sınıf sayısı arttırılacak ve hiçbir yapay ses oluşturulmadan önerilen yöntem test edilecektir. Bu şekilde sınıf sayısı arttırılmış veri seti için Katz fraktal katsayıları ve Mel Kepstrum katsayıları öznitelikleri de eklenerek ileri öznitelik seçme algoritması ile etkin öznitelikler belirlenerek yüksek sınıflandırma doğruluğu elde edilecektir.

#### Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-B programı kapsamında 1139B411901576 numaralı proje ile desteklenmiştir. Yazarlar, sanayi danışmanlığından ötürü Yılmaz Bilişim Ar-Ge Danışmanlık Yazılım Mühendislik ve Servis Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi'ne teşekkür ederler.

#### Kaynakça

- [1] Kim, GB., Kim, WJ., Kim, HU. & Lee, SY. "Machine Learning Applications in Systems Metabolic Engineering", Current Opinion in Biotechnology, Vol. 64. August 2020, pp.1-9.
- [2] H. Liu, Z. Fu, K. Yang, X. Xu, M. Bauchy. "Machine Learning for Glass Science and Engineering: A review", Journal of Non-Crystalline Solids, 2019.
- [3] S. Amershi et al., "Software Engineering for Machine Learning: A Case Study," 2019 IEEE/ACM 41st International Conference on Software Engineering: Software Engineering in

- Practice (ICSE-SEIP), Montreal, QC, Canada, 2019, pp. 291-300.
- [4] T. Karatekin et al., "Interpretable Machine Learning in Healthcare through Generalized Additive Model with Pairwise Interactions (GA2M): Predicting Severe Retinopathy of Prematurity," 2019 International Conference on Deep Learning and Machine Learning in Emerging Applications (Deep-ML), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 61-66.
- [5] F. Ahamed and F. Farid, "Applying Internet of Things and Machine-Learning for Personalized Healthcare: Issues and Challenges," 2018 International Conference on Machine Learning and Data Engineering (iCMLDE), Sydney, Australia, 2018, pp. 19-21.
- [6] J. Yoo, "On-chip epilepsy detection: Where machine learning meets patient-specific healthcare," 2017 International SoC Design Conference (ISOCC), Seoul, 2017, pp. 146-147.
- [7] A. Mir and S. N. Dhage, "Diabetes Disease Prediction Using Machine Learning on Big Data of Healthcare," 2018 Fourth International Conference on Computing Communication Control and Automation (ICCUBEA), Pune, India, 2018, pp. 1-6.
- [8] S. Mirzaei, T. Sidi, C. Keasar and S. Crivelli, "Purely Structural Protein Scoring Functions Using Support Vector Machine and Ensemble Learning," in *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, vol. 16, no. 5, pp. 1515-1523, 1 Sept.-Oct. 2019.
- [9] A. Hasan, O. Kalıpsız and S. Akyokuş, "Predicting financial market in big data: Deep learning," 2017 International Conference on Computer Science and Engineering (UBMK), Antalya, 2017, pp. 510-515.
- [10] R. Xu and M. He, "Application of Deep Learning Neural Network in Online Supply Chain Financial Credit Risk Assessment," 2020 International Conference on Computer Information and Big Data Applications (CIBDA), Guiyang, China, 2020, pp. 224-232,
- [11] E. A. Bayrak, P. Kırıcı and T. Ensari, "Comparison of Machine Learning Methods for Breast Cancer Diagnosis," 2019 Scientific Meeting on Electrical-Electronics & Biomedical Engineering and Computer Science (EBBT), Istanbul, Turkey, 2019, pp. 1-3.
- [12] M. H. Memon, J. Li, A. U. Haq and M. Hunain Memon, "Early Stage Alzheimer's Disease Diagnosis Method," 2019 16th International Computer Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing, Chengdu, China, 2019, pp. 222-225.
- [13] Z.K. Senturk, "Early Diagnosis of Parkinson's Disease Using Machine Learning Algorithms", *Medical Hypotheses*, Volume 138, May 2020, Article 109603.
- [14] M. I. Faisal, S. Bashir, Z. S. Khan and F. Hassan Khan, "An Evaluation of Machine Learning Classifiers and Ensembles for Early Stage Prediction of Lung Cancer," 2018 3rd International Conference on Emerging Trends in Engineering, Sciences and Technology (ICEEST), Karachi, Pakistan, 2018, pp. 1-4.
- [15] M. Nakhashi, A. Toffy, P. V. Achuth, L. Palanichamy and C. M. Vikas, "Early Prediction of Sepsis: Using State-of-the-art Machine Learning Techniques on Vital Sign Inputs," 2019 Computing in Cardiology (CinC), Singapore, Singapore, 2019, pp. Page 1-Page 4.
- [16] Kaya, U., Yılmaz, A. & Dikmen, Y. (2019). Sağlık Alanında Kullanılan Derin Öğrenme Yöntemleri. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (16), 792-808.
- [17] H. Yu, C. Liu and J. Liu, "Research on Intelligent Engine Fault Detection Method Based on Machine Learning," 2018 4th Annual International Conference on Network and Information Systems for Computers (ICNISC), Wuhan, China, 2018, pp. 419-423.
- [18] Z. Dongzhu, Z. Hua, D. Shiqiang and S. Yafei, "Aero-engine Bearing Fault Diagnosis Based on Deep Neural Networks," 2020 11th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering (ICMAE), Athens, Greece, 2020, pp. 145-149.
- [19] N. K. P, S. G, J. R, S. R and S. K. D, "Vibration Based IC Engine Fault Diagnosis Using Tree Family Classifiers - A Machine Learning Approach," 2019 IEEE International Symposium on Smart Electronic Systems (iSES) (Formerly iNiS), Rourkela, India, 2019, pp. 225-228.
- [20] J. Xu, X. Liu, B. Wang and J. Lin, "Deep Belief Network-Based Gas Path Fault Diagnosis for Turbofan Engines," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 170333-170342, 2019.
- [21] G. Zhong, H. Wang, K. Zhang and B. Jia, "Fault diagnosis of Marine diesel engine based on deep belief network," 2019 Chinese Automation Congress (CAC), Hangzhou, China, 2019, pp. 3415-3419.
- [22] R.F. Navea, E. Sybingco, "Design and Implementation of an Acoustic-Based Car Engine Fault Diagnostic System in the Android Platform", *International Research Conference in Higher Education* 2013, Oct, 2013.
- [23] J. Siegel, S. Kumar, I. Ehrenberg, E.S. Sarma, "Engine Misfire Detection With Pervasive Mobile Audio", *Machine Learning and Knowledge Discovery in Databases: European Conference*, Sept 19-23, 2016, Riva del Garda, Italy.
- [24] Y. Wang, Q.H. Ma, Q. Zhu, X.T. Liu, L.H. Zhao, "An intelligent approach for engine fault diagnosis based on Hilbert-Huang transform and support vector machine", *Applied Acoustics*, Vol. 75, Jan 2014, pp.1-9

- [25] A.K. Kemalkar, V.K. Bairagi, "Engine fault diagnosis using sound analysis", 2016 International Conference on Automatic Control and Dynamic Optimization Techniques (ICACDOT), Sept 9-10, 2016, Pune India, pp. 943-946.
- [26] M. Madain, A. Al-Mosaiden, M. Al-khassaweneh, "Fault diagnosis in vehicle engines using sound recognition techniques", 2010 IEEE International Conference on Electro/Information Technology, May 20-22, 2010, Normal, IL, USA.
- [27] L. Türkan, "Sürekli Dalgacık Dönüşümü ile Yüzey Ölçümü", Yüksek Lisans, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015, Tekirdağ, Türkiye, pp. 15-18.
- [28] H. Alp, T. Ç. Akıncı, M. Albora, "Jeofizik uygulamalarda fourier ve dalgacık dönüşümlerinin karşılaştırılması", Journal Of Engineering Sciences, Volume 14(1), 2008, pp. 67-76.
- [29] Feigelson Eric D., Babu G. Jogesh, Caceres Gabriel A., "Autoregressive Times Series Methods for Time Domain Astronomy", Frontiers in Physics, Volume 6(80), 2018, pp.2-3.
- [30] Saedsayad, "K Nearest Neighbors - Classification", website. [Online]. ([https://www.saedsayad.com/k\\_nearest\\_neighbors.htm](https://www.saedsayad.com/k_nearest_neighbors.htm)), Available as of November 15, 2020.

## Calculations of Yield Cross-Sections of $^{51}\text{Cr}$ , $^{99}\text{Mo}$ and $^{133}\text{Xe}$ Radioisotopes via Neutron Induced Reactions

Tuncay BAYRAM<sup>\*1</sup>, Serkan AKKOYUN<sup>2a</sup>, Şevki ŞENTÜRK<sup>1b</sup>, Anes HAYDER<sup>c</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Technical University, Science Faculty, Department of Physics, 61080, Trabzon

<sup>2</sup>Cumhuriyet University, Science Faculty, Department of Physics, Sivas

(Alınış / Received: 16.11.2020, Kabul / Accepted: 24.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

### Keywords

Radioisotopes  
Chromium  
Molybdenum  
Xenon  
TALYS  
Cross-section  
Yield

**Abstract:** Usage of medical radioisotopes for diagnostic purposes is increasing day by day. Because of this reason, many attempts are performed for finding more efficient way for production of medical radioisotopes. One of the projectiles used for production of medical radioisotopes is neutron. In the present paper we have investigated neutron induced yield cross-sections of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  radioisotopes which are commonly used in nuclear medicine as a generator for diagnostic purposes by using TALYS nuclear reaction code. For this purpose, the neutron energies for maximum yield cross-sections of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  radioisotopes have been calculated and compared with the available data.

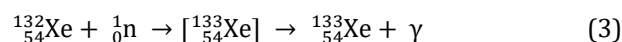
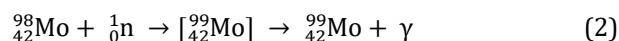
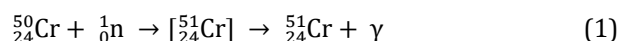
### 1. Introduction

Nuclear medicine deals with diagnosis and treatment of various issues on human body by using radioisotopes. In the case of diagnosis, various radioisotopes are used by regarding effectiveness of them. This covers reliable emitted gamma-rays which give possibility of taking high quality images and not giving more radiation dose to patients. For this reason, low-energy gamma-rays and radioisotopes with short half-life are favorable for diagnostic nuclear medicine [1, 2]. However, radioisotopes with short half-life cannot be so useful if the radioisotopes production center is far away from nuclear medicine laboratory. Because of this reason, some radioisotopes are used as generator product.  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  generators are some of the examples [1]. One of the mostly used radioisotopes in nuclear medicine applications is  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  which is the product of  $^{99}\text{Mo}$ . It decays into  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  with 65.976 h half-life via beta decay [3]. Thus  $^{99}\text{Mo}$  provides  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  source to nuclear medicine laboratory as to be generator for one or two weeks. The radioisotopes  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  are used as sources for nuclear medicine applications.  $^{51}\text{Cr}$  is used for labeling red blood cells and spleen scanning;  $^{99}\text{Mo}$  is the source of  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ , the most commonly used radionuclide in nuclear medicine; and  $^{133}\text{Xe}$  is used for lung ventilation studies. These medical radioisotopes can be produced via neutron induced nuclear reactions [1].

In the present study, the cross-sections for the yields of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  by neutron induced nuclear reactions have been calculated. The yield ratios of these nuclei as a function of incident neutron energy have been carried out by using TALYS nuclear reaction code. The results also have been compared with the available data.

### 2. Calculations

In the present study, neutron induced nuclear reactions considered as follows:



The cross-sections of the considered neutron induced reactions have been calculated by using TALYS 1.95 nuclear reaction code [4]. It is an open source software package for the simulation of nuclear reactions. It can simulate nuclear reactions where incident particles are neutrons, photons, protons, deuterons, tritons,  $^3\text{He}$  and alpha-particles, in the 1 keV-200 MeV energy range and target nuclides of mass 12 and heavier. For this, it is implemented a suite of nuclear reaction. TALYS is a software for the simulation of nuclear reactions, which includes many state-of-the-art nuclear models to cover all main reaction mechanisms encountered in light particle-

\*Corresponding Author: t.bayram@gmail.com ORCID: 0000-0003-3704-0818

<sup>a</sup> ORCID: 0000-0002-8996-3385 <sup>b</sup> ORCID: 0000-0001-8355-1307

<sup>c</sup> ORCID: 0000-0001-8166-1385

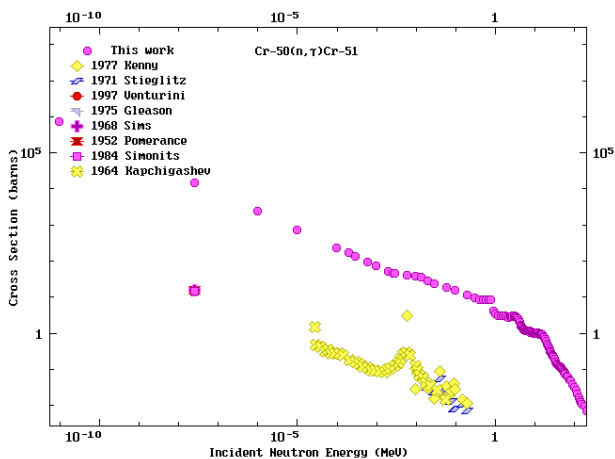


induced nuclear reactions. TALYS provides a complete description of all reaction channels and observables and in particular takes into account all types of direct, pre-equilibrium, and compound mechanisms to estimate the total reaction probability as well as the competition between the various open channels.

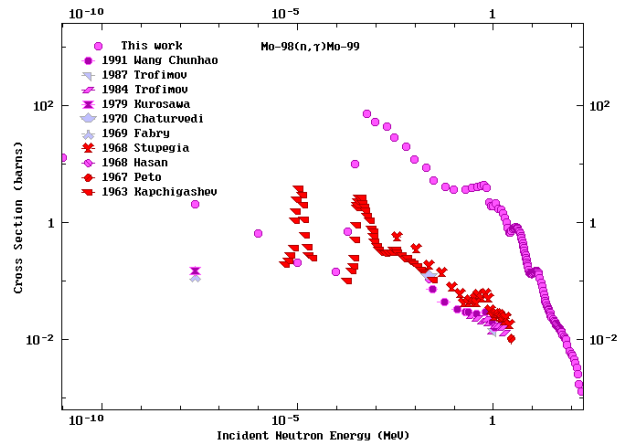
### 3. Results and Discussion

The calculated cross-sections of  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$  reaction are shown in Figure 1 together with the available experimental data taken from Refs. [5-12]. As it can be seen in Figure 1, the cross section of  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$  reaction is decreasing by increasing of incident neutron energy. This is well known fact that neutrons with lower energy interact with nuclei for much more time with respect to neutrons with high energy. This makes the cross-sections bigger for lower neutron energy. In Figure 1, the general tendency of data points calculated with TALYS is similar to those of experimental data. However, two and three order of difference between calculated results and the experimental data are seen.

Much more agreement with the experimental data is obtained for  $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$  reaction which is shown in Figure 2. At about 0.3 keV incident neutron energy, the kink is produced as in agreement with the experimental data even if the value of cross-section (87.8 barns) is quite bigger. The experimental data indicates that 0.3 keV and 0.01 keV neutron energy can be considered as to be the best incident neutron energy for obtaining of  $^{99}\text{Mo}$  radioisotopes because these neutron energies give higher cross-sections for related nuclear reactions.



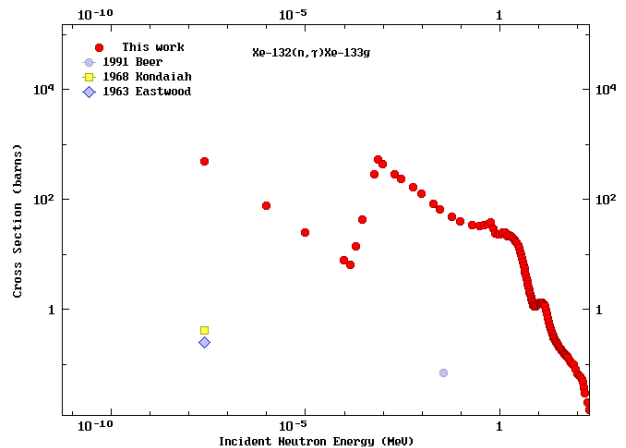
**Figure 1.** The calculated cross-sections of  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$  reaction as a function of incident neutron energy and the available experimental data [5-12].



**Figure 2.** The calculated cross-sections of  $^{98}\text{Mo}(n,\gamma)^{99}\text{Mo}$  reaction as a function of incident neutron energy and the available experimental data [13-22].

We have also calculated the cross-sections of  $^{132}\text{Xe}(n,\gamma)^{133}\text{Xe}$  reaction which are shown in Figure 3. However, there is a limited number of experimental data for the related reaction. It should be noted that neutron with 1 keV energy give highest cross-section value which means that this neutron energy can be best candidate for producing of  $^{133}\text{Xe}$  radioisotope effectively.

In the present study, yield cross-sections of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  radioisotopes via neutron induced reactions have been calculated. The neutron energy for obtaining maximum yield cross sections of  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  via neutron induced reactions has been determined as to be 1 keV.



**Figure 3.** The calculated cross-sections of  $^{132}\text{Xe}(n,\gamma)^{133}\text{Xe}$  reaction as a function of incident neutron energy and the available experimental data [23-25].

#### 4. Summary

In this work the production cross-sections of  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{99}\text{Mo}$  and  $^{133}\text{Xe}$  radioisotopes for neutron induced nuclear reactions have been carried out. For this purpose, TALYS nuclear reaction code has been used. The calculated results have been found to be one more order of experimental data. However, the general tendency of calculated cross-sections through the incident neutron energy is found to be close to the experimental ones.

#### References

- [1] Martin, J. E. (2013). Physics for radiation protection.
- [2] Bailey, D. L., Humm, J. L., Todd-Pokropek, A., & van Aswegen, A. (2014) Nuclear medicine physics.
- [3] NUDAT, <https://www.nndc.bnl.gov/nudat2/> (Accessed: 12 November 2020).
- [4] TALYS, version 1.95 [https://tendl.web.psi.ch/tendl\\_2019/talys.html](https://tendl.web.psi.ch/tendl_2019/talys.html) (Accessed: 12 November 2020)
- [5] Kenny M. J., Allen B. J., de L.Musgrove, A. R., Macklin, R. L., & Halperin, J. (1977). Neutron capture by the chromium isotopes.
- [6] Stieglitz, R. G., Hockenbury, R. W., & Block, R. C. (1971). Neutron Capture and Transmission Measurements on  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$ ,  $^{54}\text{Cr}$ ,  $^{60}\text{Ni}$  and V. *Nuclear Physics A*, 163, 592.
- [7] Venturini, L. & Pecequilo, B. R. S. (1997). Thermal neutron capture cross-section of 48-Ti, 51-V, 50-,52-,53-Cr and 58-,60-,62-,64-Ni. *Applied Radiation and Isotopes*, 48, 493.
- [8] Gleason, G. (1975). Thermal Neutron Cross Sections and (n, $\gamma$ ) Resonance Integrals Part I. *Radiochemical and Radioanalytical Letters*, 23, 317.
- [9] Sims, G. H. E & Juhnke, D. G. (1968). The Thermal Neutron Cross-Sections and Resonance Integrals of  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{109}\text{Ag}$ ,  $^{123}\text{Sb}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{191}\text{Ir}$  and  $^{202}\text{Hg}$ . *Journal of Inorganic and Nuclear Chemistry*, 30, 349
- [10] Pomerance, H. (1952). Thermal Neutron Capture Cross Sections. *Physical Review*, 88, 412.
- [11] Simonits, A., De Corte, F., Moens, L., & Hoste, J. (1984). Critical Evaluation and Experimental Determination of the Nuclear Activation and Decay Parameters for the Reactions:  $^{50}\text{Cr}(n,\gamma)^{51}\text{Cr}$ ,  $^{58}\text{Fe}(n,\gamma)^{59}\text{Fe}$ ,  $^{109}\text{Ag}(n,\gamma)^{110m}\text{Ag}$ . *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 81, 369.
- [12] Kapchigashev, S. P. & Popov, Y. P. (1964). Capture cross sections for neutrons of energy up to 50 keV for Cr,  $^{50}\text{Cr}$ ,  $^{52}\text{Cr}$ ,  $^{53}\text{Cr}$  Nuclei. *Atomnaya Energiya*, 16, 256.
- [13] Chunhao, W., Yijun, X., Xianguan, L., Fuqing, H., Jingfu, Y., Zhihua, Y., Xiufeng, P., Mantian, L., Xiaobing, L., & Hanlin, L. (1991). Measurement and analysis of Mo-98(n, $\gamma$ )Mo-99 reaction cross section. *Conf. on Nucl. Data for Sci. and Technol.* 370.
- [14] Trofimov, Yu N. (1987). Activation cross-sections for 31 nuclei for 2 MeV neutrons. *Vop. At. Nauki i Tekhn.*, 4, 10.
- [15] Trofimov, Yu N. & Nemilov, Yu A. (1984). Neutron radiative capture cross-sections of  $^{98}\text{Mo}$  for 0.3 - 2. MeV. *Vop. At. Nauki i Tekhn.*, 3, 15.
- [16] Kurosawa, M. & Shimizu, K. (1979). Estimation for production of Molybdenum-99 using (n, $\gamma$ ) reaction. *Journal of the Atomic Energy Society of Japan*, 21, 505.
- [17] Chaturvedi, S. N. & Prasad, R. (1970). Measurement of the (n,  $\gamma$ ) cross section by activation technique in the keV region. *Nucl. and Solid State Physics Symp*, 2, 615.
- [18] Fabry, A. & Jacquemin, R. (1969). Integral determination of 2200 m/sec activation cross-sections. *Prog. Report from Euratom-countries + Euratom to EANDC*, 115, 195.
- [19] Stuepegia, D. C., Schmidt, M., Keedy, C. R., & Madson, A. A. (1968). Neutron capture between 5 keV and 3 MeV. *Journal of Nuclear Energy*, 22, 267.
- [20] Hasan, S. S., Chaubey, A. K., & Sehgal, M. L. (1968). Study of the Average Level Spacing from Neutron-Capture Cross-Section, *Nuovo Cimento B*, 58, 402.
- [21] Peto, G., Milligy, Z., & Hunyadi, I. (1967). Radiative capture cross-sections for 3 MeV neutrons. *Journal of Nuclear Energy*, 21, 797.
- [22] Kapchigashev, S. V. & Popov, Yu P. (1964). Capture cross sections in construction materials for neutrons with energies up to 50 keV. *Atomnaya Energiya*, 15, 120.
- [23] Beer, H. (1991). Capture Cross Section Measurements of Krypton and Xenon Isotopes and the Fundamental Parameters of the s-Process. *Astrophysical Journal*, 375, 823.
- [24] Kondaiah, E., Kumar, N. Rana, & Fink, R. W. (1968). Thermal Neutron Activation Cross Sections for Kr and Xe Isotopes. *Nuclear Physics A*, 120, 329.
- [25] Eastwood, T. A. & Brown, F. (1963). Neutron Capture Cross Sections for Kr and Xe Isotopes, *Prog: Canadian report to EANDC*, 16, 6.

## Seçici Lazer Ergitme Yöntemi ile Üretilen Mikro Kafes Yapıların Yüzeyinde Meydana Gelen Kusurların Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi

Altuğ UŞUN<sup>\*1</sup>, Recep GÜMRÜK<sup>1a</sup>

<sup>1</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon

(Alınış / Received: 30.11.2020, Kabul / Accepted: 10.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

Mikro Kafes Yapılar  
Seçici Lazer Ergitme  
Hücre Malzemeler  
Eklemeli İmalat  
Sonlu Elemanlar Yöntemi

**Özet:** Bu çalışmada seçici lazer ergitme yöntemi ile üretilen mikro kafes yapılarda meydana gelen boşluklar, yüzeye yapışan tozlar ve geometrik çarpılmalar gibi kusurların mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir. Mikro kafes yapılar 316L paslanmaz çelik malzemesinden, hacim merkezli kübik (BCC) yapı şeklinde, 200 µm çapında tellerden meydana gelecek şekilde üretilmiştir. Taramalı elektron mikroskopu görüntüleri kullanılarak yüzeyde meydana gelen kusurlar gerçeğe yakın katı modellenmiştir. Kafes yapıların mekanik özellikleri deneysel ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak basma testleri ile incelenmiştir. Yapılan testler sonucunda hücre sayısının artırılması, buna bağlı olarak tel sayısının artırılması ile sonlu elemanlar sonuçlarının deneysel verilere yakınsadığı gözlemlenmiştir. Sıkışma bölgesinin gerçeğe yakın modellenmesinde, analiz süresi ve deneysel sonuçlara yakınsama göz önüne alındığında en az iki yarım hücrenin modellenmesi gerektiği görülmüştür. Parça üzerine yapışan mikro tozların gerilme değeri üzerinde çok etkisinin olmadığı görülse de erken temas bölgeleri oluşturmaları sebebi ile birim şekil değişiminin gerçeğe daha yakın hale getirdiği saptanmıştır.

## Investigation of the Effects of Discontinuities on the Mechanical Properties of Micro Lattice Structures Produced by the Selective Laser Melting Method

### Keywords

Micro Lattice Structures  
Selective Laser Melting  
Cellular Materials  
Additive Manufacturing  
Finite Element Analysis

**Abstract:** In this study, the effects of defects such as dust, voids and geometric distortions occurring in micro lattice structures produced by selective laser melting on mechanical properties were investigated. Micro lattice structures are made of 316L stainless steel material, in the form of a body-centered cubic (BCC) structure, with struts of 200 µm diameter. Defects occurring on the surface was modeled realistically using the scanning electron microscope images. The mechanical properties of the structure were examined by using the experimental and finite element method with compression tests. As a result of the tests carried out, it was observed that the finite element results converged to the experimental data by increasing the number of cells and increasing the number of wires accordingly. In the realistic modelling of the compression tests, considering the analysis time and the convergence to the experimental results, it is found out that at least two half-cells should be modeled. Although it is seen that the micro powders adhering on the part do not have much effect on the stress value, it has been determined that the strain value change makes it more realistic due to the early contact areas.

### 1. Giriş

Hüresel malzemeler yüksek mukavemet/ağırlık oranı, özgül termal özellikler, darbe ve titreşim

sönümleyebilme gibi birçok özelliğe sahiptirler. Bu sebeple havacılık, uzay, otomotiv, taşımacılık ve sağlık gibi birçok sektörde giderek daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadırlar. Hüresel malzemelerin

\*İlgili yazar: altug@ktu.edu.tr

ORCID: 0000-0003-0773-9548

<sup>1a</sup> ORCID: 0000-0002-1447-523X

mekanik, termal ve akustik özellikleri, sahip oldukları topolojik yapıya göre değişmektedir. Fakat karmaşık topolojik yapıya sahip hücresel malzemelerin konvansiyonel üretim yöntemleri ile imal edilmeleri nerdeyse imkansız veya çok zordur. Bu zorluğun aşılmasında eklemeli üretim yöntemlerinin gelişmesi önemli rol oynamıştır. Örneğin seçici lazer ergitme (Selective Laser Melting, SLM) [1,2], lazer sinterleme [3-5], ultrasonik eklemeli imalat [6-8], eriyik yığıma modelleme (Fused Deposition Modeling, FDM) [9,10] vb. birçok eklemeli imalat yönteminin gelişmesine paralel günümüzde mikro ve makro ölçekte karmaşık yapıları hücresel malzemelerin üretimi mümkün olmaktadır.

Seçici lazer ergitme yöntemi, metalik mikro yapıların üretiminde kullanılan en önemli üretim yöntemlerinden biri olma potansiyeline sahip teknoloji olarak ortaya çıkmaktadır [11,12]. Bu teknolojiyi kullanarak Ushijima vd. [13] ve Gümrük vd. [14-16], hacim merkezli kübik (Body Centered Cubic, BCC) yapıya sahip, paslanmaz çelik mikro kafes

blokları üretmiştir. Üretilen yapıların basma ve diğer yüklemeye koşulları altındaki mekanik özellikleri araştırılmıştır.

SLM ile üretilen kafes yapılar, oldukça karmaşık bir geometriye sahiptirler. Mikro tellerin yüzeyine yapışmış ergimemiş veya yarı ergimemiş tozlar, mikro tellerin geometrik kusurları, iç yapıdaki mikro çatlaklar ve boşluklar, gerçek geometrinin modellenmesini zorlaştırmaktadır. Bu sebeple kafes yapıların modellenmesi için, literatürdeki çalışmalarda, çeşitli geometrik kabuller yapılmıştır. Mikro tellerin modellenmesinde yaygın olarak uygulanan yöntemler Şekil 1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada ise katı modelin oluşturulmasında taramalı elektron mikroskobu (Scanning Electron Microscope, SEM) kullanılarak gerçek geometrinin minimum kabul ile modellenmesi gerçekleştirilecektir. Bunun sonucunda geometrik çarpıklıkların ve tel üzerindeki yarı ergimemiş tozların mekanik özelliklere etkileri incelenmiştir.

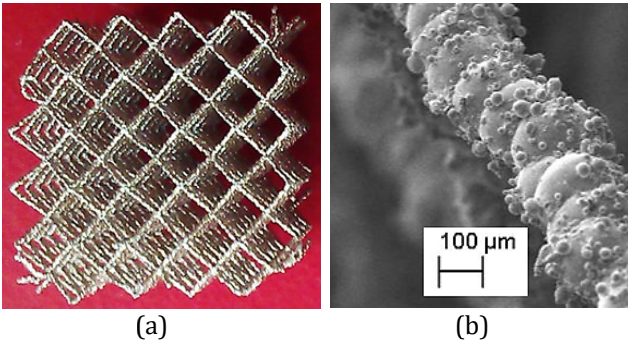
Şematik Gösterim	Açıklama	Nitelikler			
		Deneysele olarak elde edilen ortalama tel çapının modellenmesi	Değişken kesit alanı	Tel uzunluğu boyunca gerilme konsantrasyonlarını yakalama	Merkez eksenden kaçıklıklar
	Ortalama tel çapı bulunarak, bu çap değerine göre kusursuz model çizilmesi ile elde edilir [17,18]	✓	×	×	×
	Çeşitli kesit alanına sahip kirişlerin yan yana dizilmesi ile elde edilir [19]	✓	✓	✓	×
	N adet düğüm noktasına sahip eğrinin, bir eksen etrafında döndürülmesi ile elde edilir [20]	✓	✓	✓	×
	N adet kürenin bir araya gelmesi ile elde edilir [21]	✓	✓	✓	✓

Şekil 1. Hücresel yapıdaki kusurların oluşturulma yöntemlerinin karşılaştırılması

## 2. Yapılan Çalışmalar

### 2.1. Mikro Kafeslerin Üretimi

Testlerde kullanılan mikro kafes yapılar Liverpool Üniversitesinde, SLM MCP 250 Realizer II makinası tarafından üretilmiştir. Bu yöntemde mikro kafes yapıların SLM ile üretilmesindeki kullanılan parametreler; optimum lazer gücü 90W, katman kalınlığı 50  $\mu\text{m}$  ve lazer tatbik süresi (laser exposure time) 1000  $\mu\text{s}$ 'dir. Üretim yöntemi ise tek nokta lazer (single spot laser) yaklaşımıdır. Mikro kafes bloklar 2.5 mm'lik hücre boyutuna sahip 5 hücreden meydana gelmekte ve toplam kenar uzunluğu 12.5 mm olan kübik şekilde imal edilmişlerdir. Mikro tellerin nominal çapları yaklaşık 180-200  $\mu\text{m}$ 'dir. Üretilen mikro kafes yapının görüntüsü Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. SLM ile üretilen numunenin görüntüleri; a) BCC mikro kafes yapı ve b) mikro telin SEM görüntüsü

### 2.2. Mikro Kafeslerin Basma Testleri

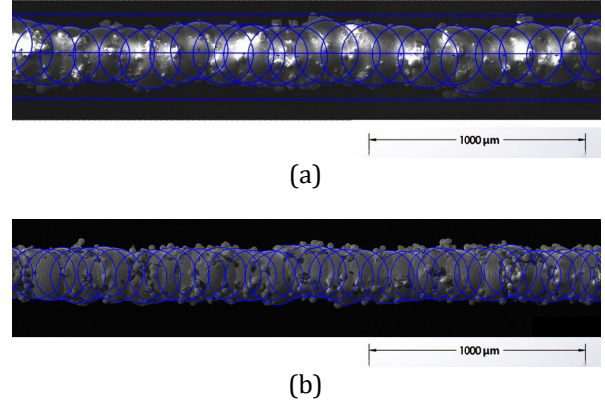
12.5 mm<sup>3</sup> boyutlarındaki kafes yapılar Instron servo-hidrolik test cihazında basma testine tabi tutulmuştur. Yükleme hızı 0.5 mm/dakika alınmıştır ve bunun sonucunda birim şekil değişimi hızı  $6.66 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$  değerine tekabül etmektedir. Basma gerilmesi; uygulanan kuvvetin, kafesin şekil değişiminden önceki yüzey alanına (12.5x12.5 mm<sup>2</sup>) bölünmesi ile hesaplanmıştır. Kafes birim şekil değişimi ise baskı kafasının yer değiştirme eğrisinin, boğun ilk yüksekliğine (12.5 mm) bölünmesi ile elde edilmiştir. Paslanmaz çeliğin yoğunluğu 8000 kgm<sup>-3</sup>'tür. Kafeslerin yoğunluğu, kafes blokların imal edildiği 316L paslanmaz çelik malzemenin yoğunluğuna (8000 kgm<sup>-3</sup>) bölünerek spesifik yoğunluğu elde edilmiştir. Spesifik mekanik değerleri spesifik yoğunluk değerlerine bölünerek elde edilmiştir.

### 2.3. Mikro Tel Üzerindeki Geometrik Kusurların Modellenmesi

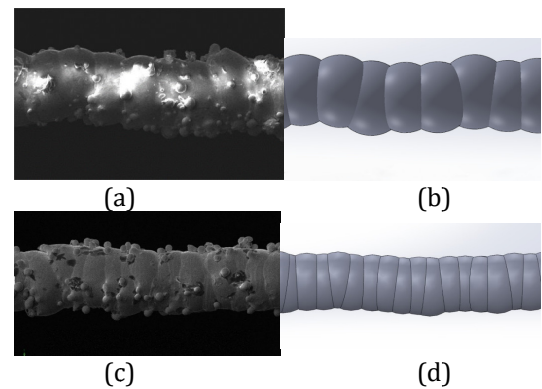
SLM ile üretilen mikro kafes yapılarında mikro boşluklar, ergimemiş tozlar, yarı ergimemiş tozlar, geometrik çarpıklıklar ve tekdüze olmayan çap değişimleri gibi birçok kusur bulunmaktadır. Bu

kusurlar mikro kafes yapıların mekanik özelliklerini etkilemektedir. Bu amaçla geometrik kusurların, gerçeğe yakın modellenebilmesi için, gerçek tellerin SEM görüntüleri üzerinden kusur dağılımlarının belirlenmesi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 3'te 90° ve 35° açı ile üretilen iki mikro telin SEM görüntüleri verilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde 35°deki mikro tel 90°'ye göre daha kompleks yapıdadır. Şekilden görüldüğü üzere her iki mikro tel kürelerin yan yana dizilmesi ile temsil edilebilmektedir. Bu çalışmada, katı modelin oluşturulmasında, teli oluşturan boğunların tam daire ve kusursuz olduğu kabul edilmiştir. Bu yaklaşım ilk defa Ravari ve Kadhodaei [21] tarafından uygulanmıştır. Her bir kürenin çapı ve kürelerin merkez koordinatlarının belirlenmesinde SolidWorks programından yararlanılmıştır. SolidWorks programına SEM resimleri aktarılmış ve Şekil 3'te gösterildiği gibi her küreye bir daire çizilmiştir. Sonra her bir dairenin çapı ve merkez koordinatları ölçülmüştür.



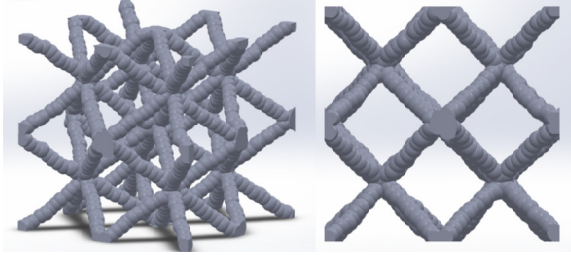
Şekil 3. Mikro tellerin SEM görüntüsü üzerinde SolidWorks programı ile daire uydurulması; a) 35° ve b) 90° üretim açısına sahip mikro tel



Şekil 4. SolidWorks makrosu ile oluşturulan geometrilerin, gerçek geometriler ile karşılaştırılması a) 35° üretim açısına sahip mikro telin SEM görüntüsü, b) 35° üretim açısına sahip mikro telin katı modeli, c) 90° üretim açısına sahip mikro telin SEM görüntüsü ve d) 90° üretim açısına sahip mikro telin katı modeli

Mikro tel benzetilmesi yapıldıktan sonra oluşturulan dairelerin çapları ( $r_1, r_2, \dots$ ) şekil üzerinden

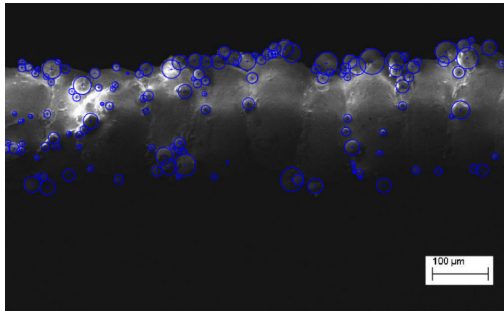
ölçülmüştür. İki küre arasındaki mesafeler de ölçülerek elde edilen veriler listelenmiştir. Aynı işlemler 35° ve 90°'de üretilmiş teller için ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Elde edilen sayısal değerleri kullanarak Solidworks programı içerisinde mikro tellerin katı modelini oluşturulacak bir makro geliştirilmiştir. Makro yardımı ile üretilen tellerin görüntüleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere makro ile oluşturulan katı modeller gerçek mikro tellere oldukça benzemektedir.



**Şekil 5.** Makro ile oluşturulmuş mikro teller ile kafes yapısının katı modellenmesi

#### 2.4. Mikro Tel Üzerindeki Tozların Modellenmesi

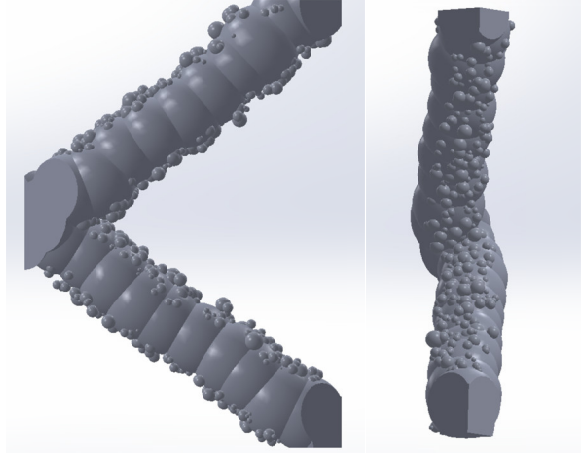
Şekil 1b'de görüldüğü üzere mikro kafes yapı ve mikro tellerin üzerinde çok sayıda erimemiş tozlar bulunmaktadır. Bu erimemiş tozların, kafes yapı deformasyonuna ve mekanik özelliklerine etkilerinin incelenmesi bu bölümde amaçlanmıştır. Fakat tozların modellenmesi oldukça zordur. Literatürde  $\mu$ -CT tarama yöntemi ile gerçek geometrinin alındığı çalışmalar bulunmaktadır [22,23]. Fakat bu çalışmalarda mikro yüzeyleri düzeltmek amacıyla uygulanan filtreleme yöntemleri tozların modellenen çıkarılmasına veya tam modellenememesine sebep olmaktadır. Tozların modellenmesi için bu çalışma kapsamında SolidWorks programında bir makro yazımı gerçekleştirilmiştir. Bu makronun uygulanabilmesi için tel üzerindeki tozlar sayılmış ve boyutları not edilmiştir.



**Şekil 6.** Mikro teller üzerinde tozların dağılımını ve boyutlarının SEM görüntüsü üzerinden belirlenmesi

Toplamda 4500  $\mu$ m uzunluğundaki tel üzerinden tozların sayımı gerçekleştirilmiştir. Bu sayım sonucunda 100  $\mu$ m uzunluğundaki bir mikro tel üzerinde ortalama 19.86 adet erimemiş veya yarı erimemiş toz bulunduğu görülmüştür. Ortalama toz boyutu 20-25  $\mu$ m arasında olduğu görülmüştür.

Eklenecek tozlar yüzeyde oluşturulacak ağ yapısını ciddi oranda etkilemektedir. Bu sebeple ağ yapısının oluşturulmasını kolaylaştırmak ve analiz süresinden tasarruf edebilmek amacıyla tellerin yan yüzeylerindeki tozlar modele dahil edilmemiştir. Böylece sadece birbirine veya tele temas ederek mekanik özellikleri etkileyebilecek tozların modellenmesi gerçekleştirilmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Mikro tel üzerine eklenen tozların katı model görüntüsü

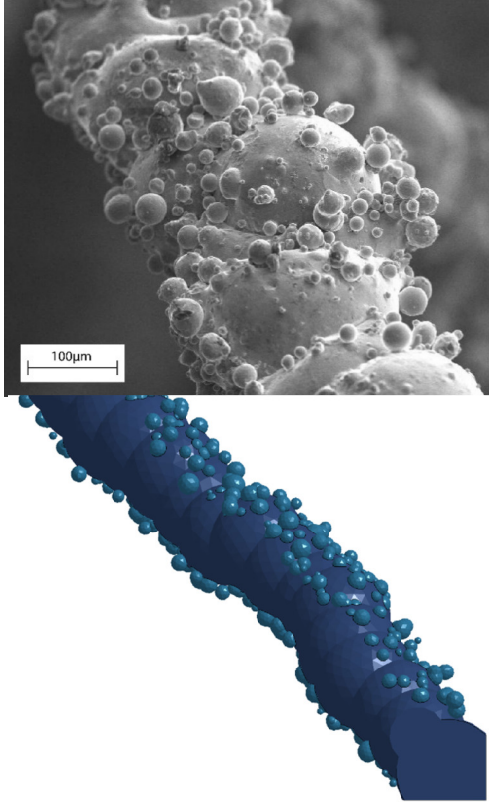
#### 2.5. Sonlu Elemanlar Modelinin Oluşturulması

Kusurlu yapıda üretilen modelin ağ yapısının oluşturulmasında dört yüzlü (tetrahedral) elemanlar kullanılmıştır. Düzgün dört yüzlü elemanların belirli bölgelerde yığılmasını engellemek amacıyla model hassas şekilde temizlenmiş ve gereksiz köşe çizgilerinden arındırılmıştır. Kusurlu model üzerinde oluşturulan ağ yapılarında eleman boyutunun küçük seçilmesi, hatalı eleman olasılığını ve analiz süresini artırırken, büyük eleman seçimi ise yüzeydeki kusurların yetersiz modellenmesine sebep olacaktır. Bu sebeple optimum eleman boyutunun belirlenmesinde yakınsama analizi yapılmıştır.

Kafes yapısındaki her telde meydana gelen kusurlar birbirinden farklı olmaktadır. Bu sebeple oluşturulan farklı hücrelerin aynı mekanik özelliği sergilemesi beklenemez. Bu sebeple gerçeğe yakın bir davranışın, tek bir telin analizi ile elde edilmesi mümkün olmamaktadır. Kusursuz modelde yapının aksine gerçeğe yakın geometrinin analizinde birden fazla farklı telin modellenmesi gerekmektedir. Bu sebeple, gerçeğe yakın sonuçların elde edilmesinde gerekli olan en az tel sayısının belirlenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Çeyrek ve yarım kafesten oluşan modeller oluşturulmuş ve 1, 2 ve 3'er tane hücrenin üst üste gelmesi ile çeşitlendirilmiştir. Yapılan modellerde farklı geometrik kusurlara sahip tellerin kullanılmasına dikkat edilmiştir.

Tozların eklenmesi ile yüzey geometrisinde çok fazla geçiş bölgesi ve ağ yapısında hataya sebep olabilecek yüzey çizgileri oluşmaktadır. Bu durumda 2.5 mm

hücre boyutuna sahip tozsuz çeyrek kafes yapı modelinde eleman sayısı 16,000-17,000 civarında olurken, tozlu modelde 300,000-400,000 sayılarına ulaşmaktadır. Bu ciddi artışa tozların tel ile birleşim yerlerinde, eleman boyutlarının aşamalı olarak küçültülmesi sebep olmaktadır. Geçiş bölgesi elemanları, sayısal çözüm süresini uzatmakla beraber boyutları sebebiyle yüksek deformasyon durumlarında sayısal hatalara sebep olma olasılığı yüksektir. Eleman sayısını, analiz süresini ve hatalı olabilecek elemanları azaltmak amacıyla farklı tekniklerle ağ yapısı oluşturma ihtiyacı doğmuştur. Tel ve tozların ağ yapısının ayrı ayrı oluşturulması hataların azaltılmasında etkili bir yöntem olmuştur. Ayrı ayrı ağ yapısı oluşturulan toz ve mikro tel, sonrasında LS-DYNA içerisinde birbirlerine AUTOMATIC\_TIED\_CONTACT kartı ile yapıştırılarak eleman sayısı ~200,000 değerlerine düşürülmüştür. Elde edilen model Şekil 8'de gösterilmiştir.



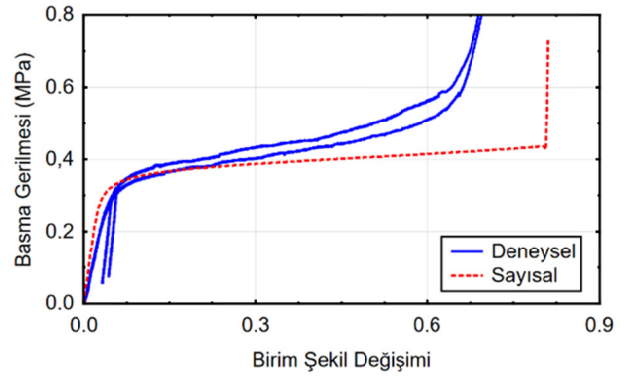
Şekil 8. Oluşturulan sonlu elemanlar modeli ile SEM resimlerinin karşılaştırılması

### 3. Bulgular ve İrdeleme

#### 3.1. Mikro Kafes Yapılarda Basma Testi Sonuçları

Mikro kafes yapılara uygulanan basma testine ait gerilme-birim şekil değişimi eğrileri, 2.5 mm hücre boyutuna sahip BCC kafes yapılar için Şekil 9'da verilmiştir. Testlerin tekrarlanabilirliğini göstermek için iki adet numuneye ait sonuçlar verilmiştir. Kafes yapılar belli bir yüke kadar elastik yüklendikten sonra yaklaşık 0.36 MPa başlangıç çökme gerilmesi değerinde plastik deformasyona uğramaya

başlamıştır. Deformasyon devam ettikçe gerilme değerlerinde lineer bir artış göstermektedirler ve en son aşamada gerilmelerde ciddi bir artış meydana gelmektedir. Bu artış kafesin maksimum sıkışma (compaction) miktarına yaklaştığını göstermektedir ve kafesin artık enerji sönümleyemeyeceğini göstermektedir. Genel olarak bakıldığında mikro kafes yapıların gerilme-birim şekil değiştirme davranışı dört bölgeden oluşmaktadır. Bu bölgeler; elastik yükleme bölgesi, elastoplastik yükleme (başlangıç çökme gerilmesinin başladığı bölge), lineer yükleme bölgesi ve sıkışma bölgesi olarak sıralanabilir [14]. Şekil 9'dan görüldüğü üzere; mikro tel için analizde maksimum sıkışma bölgesine kadar deneysel verilere yakın sonuçlar elde edilmiştir. Eğrinin devamında meydana gelen iraksamanın, parça yüzeyinde bulunan kusurlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



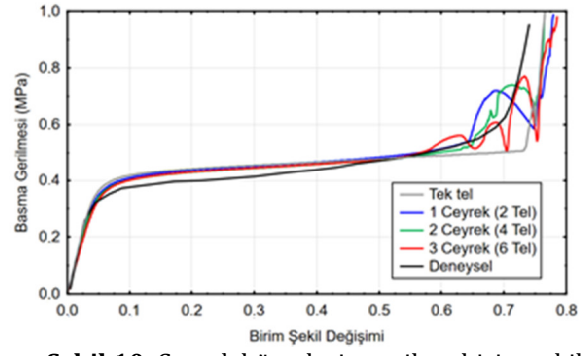
Şekil 9. BCC mikro kafes yapıların basma testinden elde edilen gerilme-birim şekil değişimi eğrileri

#### 3.2. Hücre Sayısının Mekanik Özelliklere Etkisi

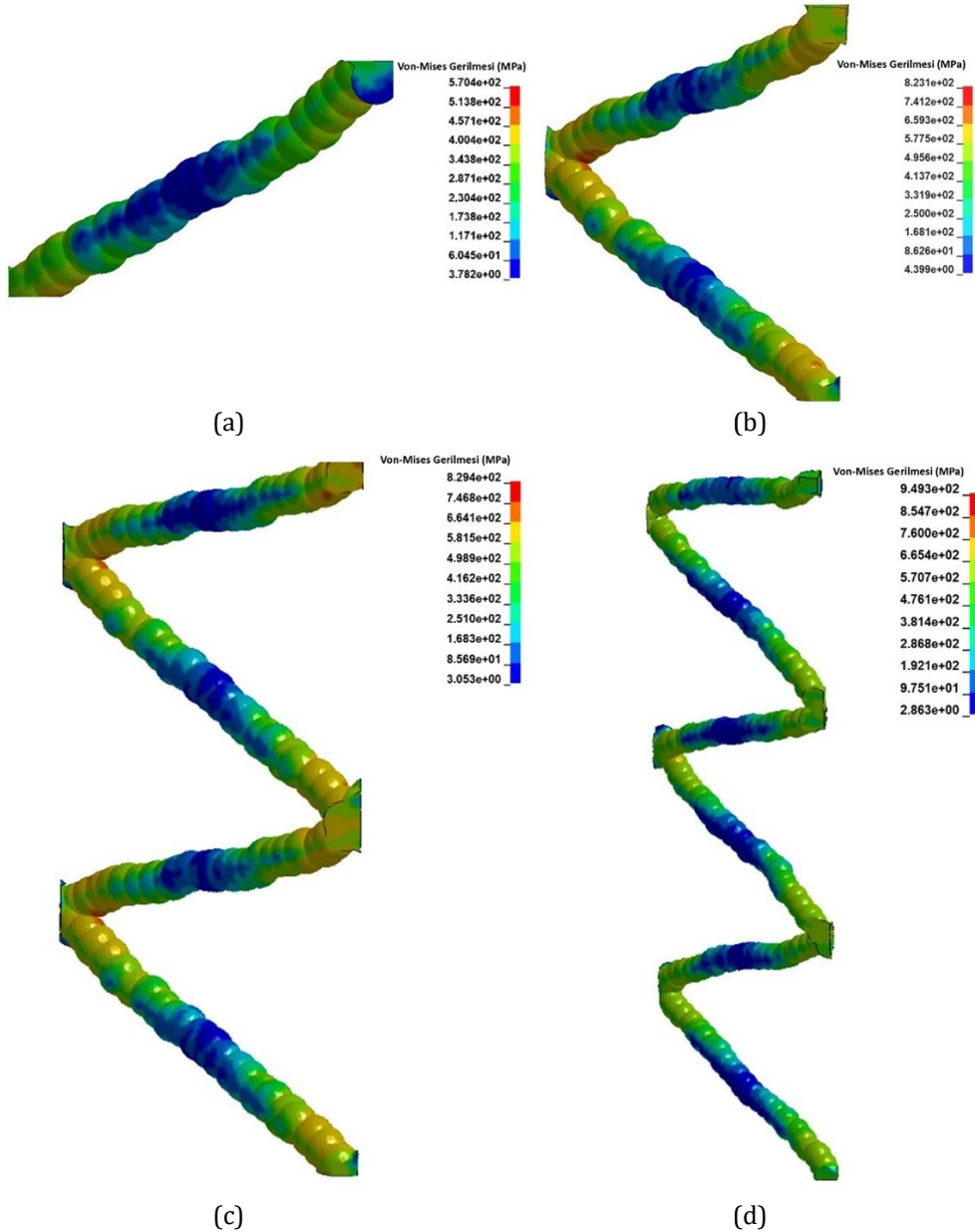
Mikro kafes yapılarda telin geometrik yapısındaki kusurlar Şekil 9'dan görüldüğü üzere sayısal değerlerin, deneysel verilerden iraksamasına sebep olmaktadır. Bu farkın sebebi tel geometrisinin düzgün silindirik bir geometriden çok uzak olmasıdır. Deneysel ve sayısal eğriler arasındaki farkları azaltabilmek için çeyrek ve yarım hücreler modellendi. Tek bir mikro tel modelinin yetersiz kalacağı düşünüldüğünden, gerçeğe yakın sonuç için kullanılması gereken minimum mikro tel sayısını belirlemek için, hücreler üst üste konarak modeldeki kusurlar arttırıldı.

Çeyrek hücrelere ait gerilme-birim şekil değiştirme davranışı sonuçları Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere tüm tel sayıları için akma gerilmesi değeri deneysel sonuçların üzerinde çıkmıştır. Hücrelerin sıkışması 0.6 birim şekil değişiminden sonra başlamaktadır. Bu sebeple, hücrelerin birbirine temas etmesi sonucunda salınımlı bir artış gözlemlenmiştir. Bu salınımlı artışın deneysel değere daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. Fakat artan tel sayısı ile birlikte sıkışma bölgesinde daha fazla bir yakınsama gözükmemektedir. Bu sebeple çeyrek modelin, gerçeğe yakın bir mekanik göstermede

yetersiz kaldığı söylenebilir. Şekil 11'de ise çeyrek hücreler için von-Mises gerilme dağılımları verilmiştir. Buradaki dağılımlarda kusur sayısının artması ile bazı lokal bölgelerde ufak farklar görülmektedir. Fakat bunun haricinde farklı hücre sayısına sahip modellerde gerilme dağılımları birbirlerine oldukça benzemektedir.



Şekil 10. Çeyrek hücrelerin gerilme-birim şekil değişimi davranışları

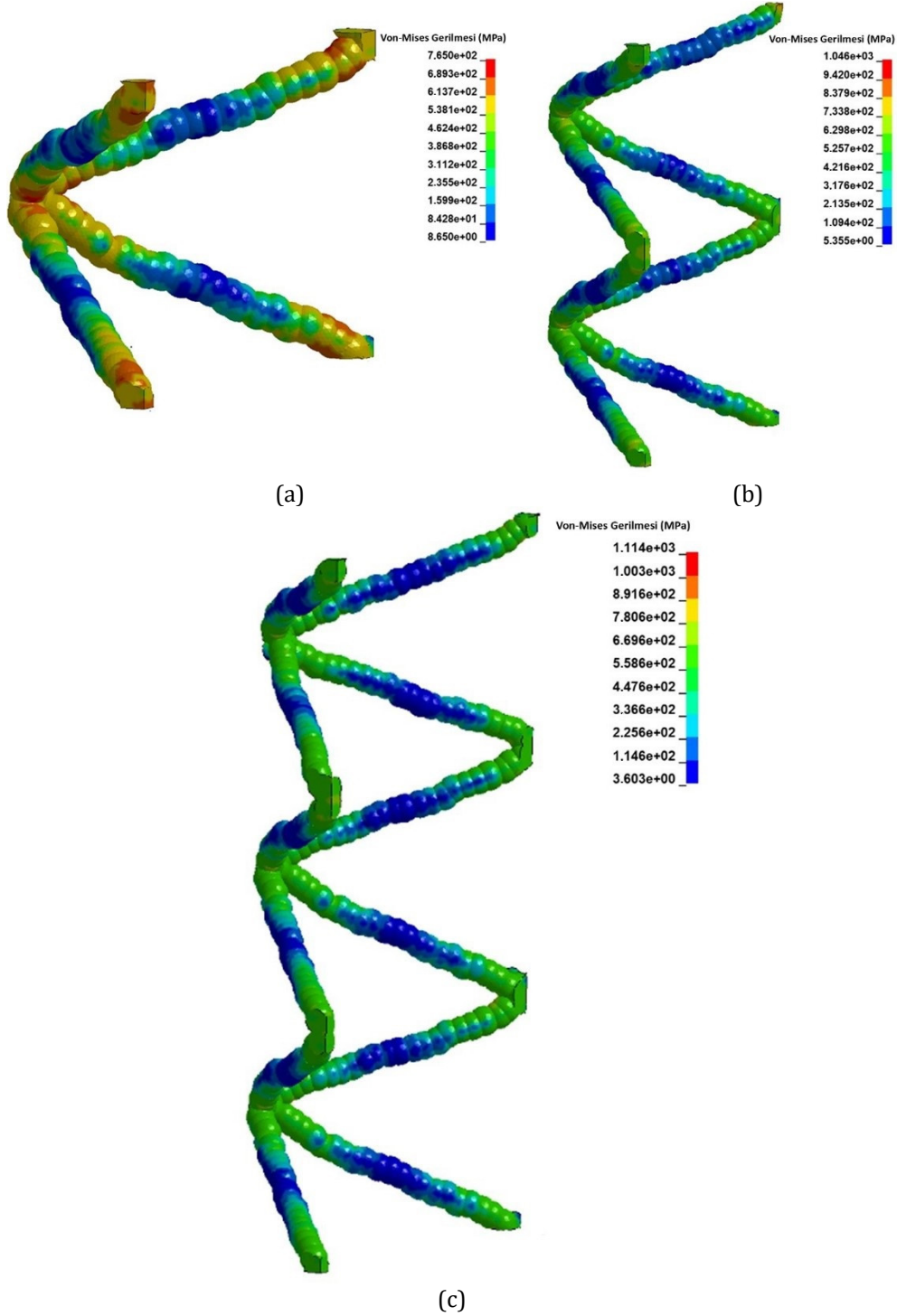


Şekil 11. Çeyrek hücre analizlerinde  $\epsilon=0.3$  değeri için von-Mises gerilme dağılımları; a) tek tel, b) 1 çeyrek hücre (2 tel), c) 2 çeyrek hücre (4 tel) ve d) 3 çeyrek hücre (6 tel)

Çeyrek hücrelerin deneysel verilerin elde edilmesinde yetersiz kalması sebebiyle yarım hücrelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Yarım hücre, iki çeyrek hücrenin yan yana dizilmesi ile elde

edilmiştir. Yarım hücre dört adet mikro telden meydana gelmektedir. Yarım modeller üst üste dizilerek mikro tel sayısı artırılmış ve deneysel verilere yakınsaması incelenmiştir.



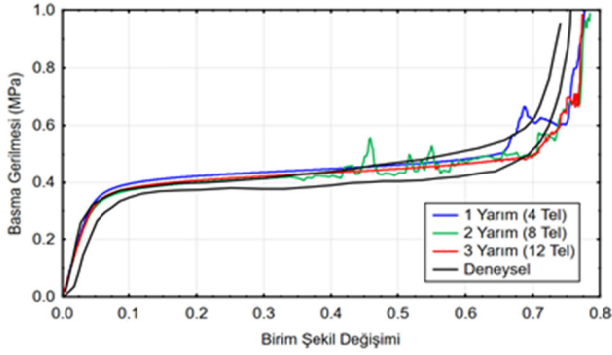


**Şekil 12.** Yarım hücre analizlerinde  $\varepsilon=0.3$  değeri için von-Mises gerilme dağılımları; a) bir yarım hücre (4 tel), b) iki yarım hücre (8 tel) ve c) üç yarım hücre (12 tel)

Yarım hücelere ait gerilme-birim şekil değişimi eğrileri Şekil 13'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, yarım hücreli modeller akma gerilmesinde deneysel testlere çok yakın sonuçlar vermiştir. Sıkışmanın başladığı 0.5 birim şekil değişimine kadar elde edilen gerilme-birim şekil değerleri, deneysel testler ile neredeyse aynıdır. Sıkışma bölgesindeki davranışta da iyileşmeler görülmektedir. Maksimum birim şekil değişiminin, deneysel verilerden daha yüksek olmasının, yüzeye yapışmış tozlardan

meydana geldiği tahmin edilmektedir. Sıkışma bölgesinin eğri karakteristiği 3 yarım hücrede sayısal değerin karakteristiğine oldukça yakındır. Benzer bir davranış 2 yarım hücre ile yakalanmış olsa da kusurların rastgeleliğini de göze alarak doğru sıkışma davranışının yakalanmasında en az üç adet yarım hücrenin modellenmesi gerektiği söylenebilir. Şekil 12'de yarım hücrelerin gerilme dağılımları verilmiştir. Çeyrek hücreli analizlerde olduğu gibi gerilmeler yerel kusurların haricinde eşit olarak

dağılmaktadır ve momentin maksimum olmasından dolayı tellerin kesişim bölgesi yakınlarında artmaktadır.

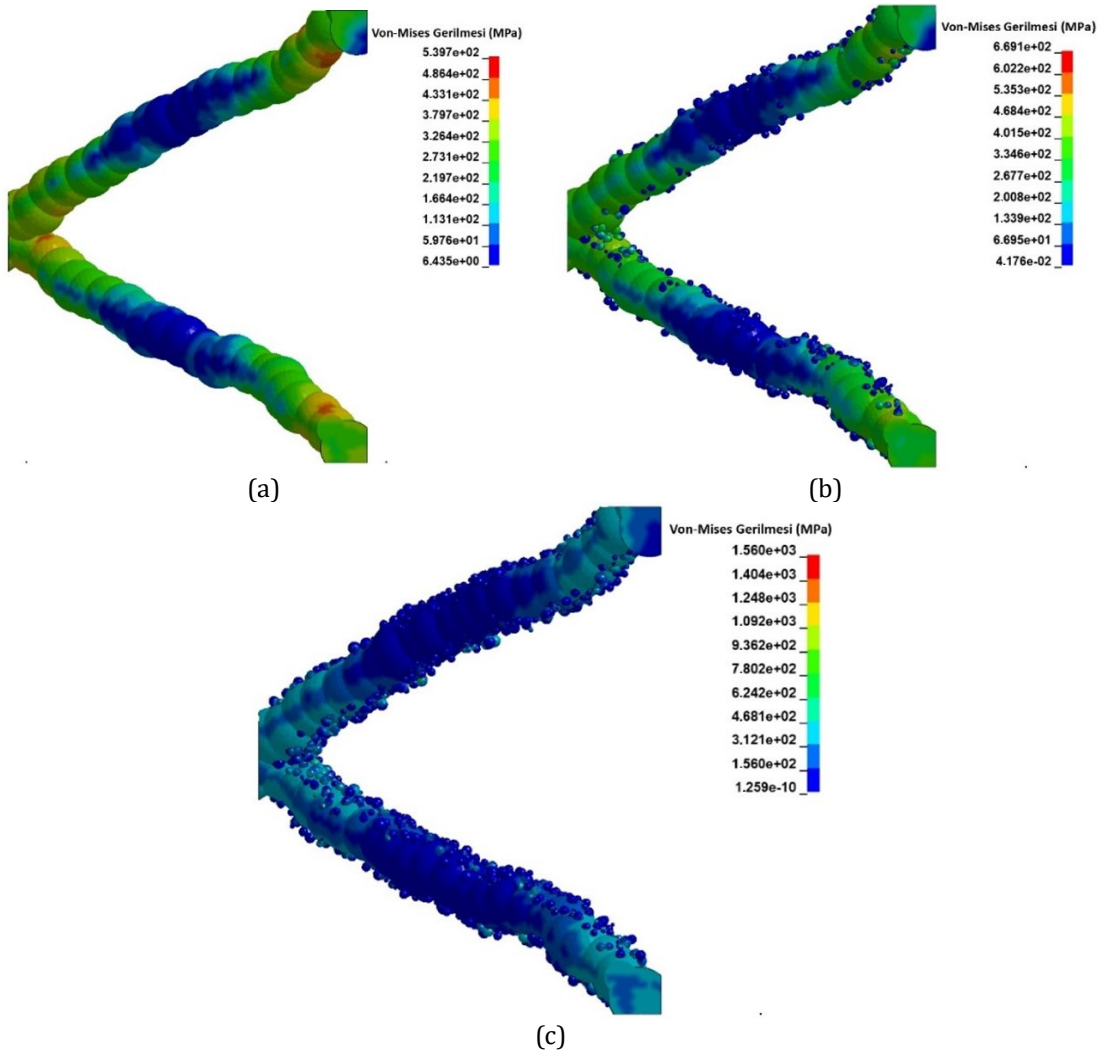


**Şekil 13.** Yarım hücreler için basma gerilmesi-birim şekil değişimi eğrilerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması

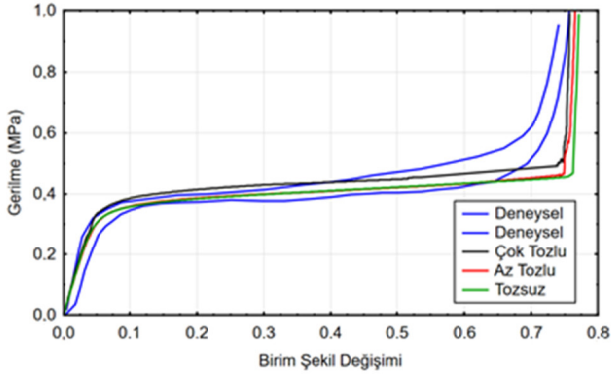
### 3.3. Yarı Ergimiş Tozların Mekanik Özelliklere Etkisi

Bu bölümde yarı ergimiş veya ergimemiş tozların, mikro kafes yapılarda meydana getirdiği mekanik etkiler araştırılmıştır. Tozlar iki adet mikro tele sahip

çeyrek hücrelerin yüzeyinde modellenmiştir. Yarım hücre kullanılmamasının sebebi, mikro tel yüzeyine eklenen tozların, sonlu elemanlar düğüm noktası sayısında ciddi bir artışa sebep olmasıdır. Bu durum bilgisayar gücünün yetersiz kalmasına sebep olmaktadır. Mikro tellerin yan yüzeylerindeki tozların mekanik davranışa etkisi olmayacağından, sadece birbirine temas eden yüzeylerdeki tozların modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Tozlu modellerin von-Mises gerilme dağılımları Şekil 14'te verilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere, tüm toz oranları için mikro tellerdeki von-Mises gerilmeleri benzerlik göstermektedir (~350 MPa). Fakat artan toz oranı ile birlikte maksimum von-Mises gerilmelerinde de artışlar gözlemlenmiştir. Bu fark, iki tel arasında ezilen tozlardan kaynaklanmaktadır. Toz yoğunluğuna bağlı olarak gerilme-birim şekil değişimi Şekil 15'te verilmiştir. Şekilden az tozlu ile tozsuz modelin gerilme değerlerinde neredeyse hiçbir farkın olmadığı gözlemlenmiştir. Fakat az tozlu modelin maksimum birim şekil değişimi deneysel sonuçlara daha yakındır. Çok tozlu modelde ise maksimum eğrinin deneysel verilere oldukça benzediği görülmektedir.

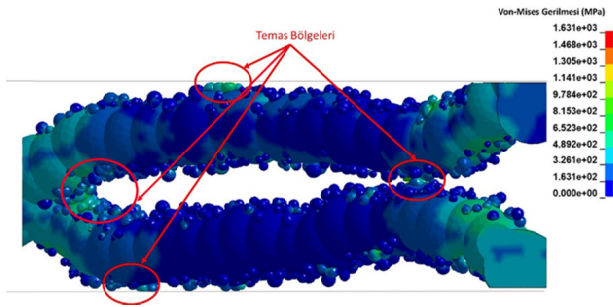


**Şekil 14.** Toz oranına göre von-Mises gerilme dağılımları a) tozsuz, b) az tozlu ve c) çok tozlu



**Şekil 15.** Toz yoğunluğuna bağlı olarak gerilme-birim şekil değişimi eğrileri

Literatürde  $\mu$ -CT tarama yardımı ile gerçek geometrinin modellenmesi üzerine bazı çalışmalar mevcuttur [22,24]. Bu çalışmalarda  $\mu$ -CT tarama ile oluşturulan modeller üzerinde herhangi bir geometrik kabul (Şekil 1) yapılmamaktadır. Fakat yüzey pürüzlerini azaltmak ve ağ yapısının oluşturulması kolaylaştırmak amacıyla katı model üzerine filtreler uygulanmıştır. Uygulanan filtreleme işlemi, tozların etkilerini de ortadan kaldırdığı için, bu çalışmalarda maksimum birim şekil değişimi değeri deneysel eğrilerin üstünde kalmıştır. Tozların maksimum birim şekil değişimini etkileyen temas noktaları Şekil 16'da verilmiştir. Çeyrek hücre yerine çoklu kafes yapısının modellenmesi durumunda, temas noktaları çok daha fazla olacaktır. Bu sebeple gerçeğe yakın bir modelde tozların maksimum birim şekil değişimini azaltacağı kolaylıkla söylenebilir. Buradan yola çıkarak deneysel kafes yapıların çok daha düşük birim şekil değişimi değerinde sıkışma göstermesinin nedeninin tozlar olduğu söylenebilir.



**Şekil 16.** Tozlu modelin çökme durumunda meydana gelen temas bölgelerinin gösterimi

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada mikro kafeslerin mekanik özelliklerinin araştırılması ve seçici lazer ergitme yönteminde meydana gelen geometrik kusurların modellenmesi üzerine çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar SLM ile üretilmiş 316L paslanmaz çelik mikro kafesler için gerçekleştirilmiştir.

• Sıkışma bölgesinin gerçeğe yakın modellenmesi için iki yarım hücre yeterli olacağı görülmüştür. Fakat mikro kafes yapıların gerçek davranışı tam yakalayabilmek için en az üç yarım hücrenin gerekli olduğu belirlenmiştir. Çeyrek hücrelerin analizlerinde ise yakınsama gözlemlenmemiştir. Yani yarım kafes olarak modellenen analizin çeyrek kafese göre çok daha gerçeğe yakın sıkışma davranışı sergilediği görülmüştür.

• Tellerin üzerine yapışan tozların gerilme değeri üzerine çok etkisi olmadığı saptanmıştır. Erken temas bölgeleri oluşturmaları sebebi ile tozların gerçeğe daha yakın sıkışma birim şekil değişimi verdiği tespit edilmiştir. Toz oranının ve tel sayısının artması ile bu değerlerin gerçeğe daha da yaklaşacağı ön görülmüştür.

#### Kaynakça

- [1] Tsopanos S, Mines RAW, McKown S, Shen Y, Cantwell WJ, Brooks W, et al. The Influence of Processing Parameters on the Mechanical Properties of Selectively Laser Melted Stainless Steel Microlattice Structures. J Manuf Sci Eng 2010;132:041011.
- [2] Gümrük R, Altuğ UŞ. Akımsız nikel kaplanmış mikro kafes yapıların mekanik özelliklerinin incelenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2020 Oct 1;35(4):1783-98.
- [3] Cerardi A, Caneri M, Meneghello R, Concheri G, Ricotta M. Mechanical Characterization of Polyamide Cellular Structures Fabricated Using Selective Laser Sintering Technologies. J Mater 2012.
- [4] Yan C, Hao L, Hussein A, Young P, Raymond D. Advanced lightweight 316L stainless steel cellular lattice structures fabricated via selective laser melting. Mater Des 2014;55:533-41.
- [5] Yan C, Hao L, Hussein A, Young P, Huang J. Materials Science & Engineering A Microstructure and mechanical properties of aluminium alloy cellular lattice structures manufactured by direct metal laser sintering. Mater Sci Eng A 2015;628:238-46.
- [6] Hahnlen R, Dapino MJ. Composites : Part B NiTi – Al interface strength in ultrasonic additive manufacturing composites. Compos PART B 2014;59:101-8.
- [7] Dehoff RR, Babu SS. Characterization of interfacial microstructures in 3003 aluminum alloy blocks fabricated by ultrasonic additive manufacturing. Acta Mater 2010;58:4305-15.
- [8] Friel RJ, Harris RA. Ultrasonic additive manufacturing A hybrid production process for novel functional products. Procedia - Soc Behav Sci 2013;6:35-40.

- [9] Karamooz Ravari MR, Kadkhodaei M, Badrossamay M, Rezaei R. Numerical investigation on mechanical properties of cellular lattice structures fabricated by fused deposition modeling. *Int J Mech Sci* 2014;88:154–61.
- [10] Rezaie R, Badrossamay M, Ghaie A, Moosavi H. Topology optimization for fused deposition modeling process. *Procedia - Soc Behav Sci* 2013;6:522–7.
- [11] Xiong J, Mines R, Ghosh R, Vaziri A, Ma L, Ohrndorf A, et al. Advanced Micro-Lattice Materials. *Adv Eng Mater* 2015;17:1253–64.
- [12] Poon B, Rittel D, Ravichandran G. An analysis of nanoindentation in linearly elastic solids. *Int J Solids Struct* 2008;45:6018–33.
- [13] Ushijima K, Cantwell WJ, Mines RAW, Tsopanos S, Smith M. An investigation into the compressive properties of stainless steel micro-lattice structures. *J Sandw Struct Mater* 2011;13:303–29.
- [14] Gümrük R, Mines RAW. Compressive behaviour of stainless steel micro-lattice structures. *Int J Mech Sci* 2013;68:125–39.
- [15] Gümrük R, Uşun A, Mines RAW. Enhancement of the Mechanical Performance of Stainless Steel Micro Lattice Structures Using Electroless Plated Nickel Coatings. *Proceedings* 2018;2:494.
- [16] Gümrük R, Mines RAW, Karadeniz S. Static mechanical behaviours of stainless steel micro-lattice structures under different loading conditions. *Mater Sci Eng A* 2013;586:392–406.
- [17] Ptochos E, Labeas G. Elastic modulus and Poisson's ratio determination of micro-lattice cellular structures by analytical, numerical and homogenisation methods. *J Sandw Struct Mater* 2012;14:597–626.
- [18] Gorny B, Niendorf T, Lackmann J, Thoene M, Troester T, Maier HJ. In situ characterization of the deformation and failure behavior of non-stochastic porous structures processed by selective laser melting. *Mater Sci Eng A* 2011;528:7962–7.
- [19] Campoli G, Borleffs MS, Amin Yavari S, Wauthle R, Weinans H, Zadpoor AA. Mechanical properties of open-cell metallic biomaterials manufactured using additive manufacturing. *Mater Des* 2013;49:957–65.
- [20] Karamooz Ravari MR, Kadkhodaei M, Badrossamay M, Rezaei R. Numerical investigation on mechanical properties of cellular lattice structures fabricated by fused deposition modeling. *Int J Mech Sci* 2014;88:154–61.
- [21] Karamooz Ravari MR, Kadkhodaei M. A Computationally Efficient Modeling Approach for Predicting Mechanical Behavior of Cellular Lattice Structures. *J Mater Eng Perform* 2015;24:245–52.
- [22] Lozanovski B, Leary M, Tran P, Shidid D, Qian M, Choong P, et al. Computational modelling of strut defects in SLM manufactured lattice structures. *Mater Des* 2019;171:107671.
- [23] Lei H, Li C, Meng J, Zhou H, Liu Y, Zhang X. Evaluation of compressive properties of SLM-fabricated multi-layer lattice structures by experimental test and  $\mu$ -CT-based finite element analysis. *Mater Des* 2019;169:107685.
- [24] Araya-Calvo M, López-Gómez I, Chamberlain-Simon N, León-Salazar JL, Guillén-Girón T, Corrales-Cordero JS, et al. Evaluation of compressive and flexural properties of continuous fiber fabrication additive manufacturing technology. *Addit Manuf* 2018;22:157–64.

## Karanfil, Nane ve Sarımsak Yağlarının Elektronik Burun ile Tespiti

Bilge Han Tozlu\*<sup>1a</sup>, Cemalettin Şimşek<sup>2</sup>, Önder Aydemir<sup>3b</sup>

<sup>1</sup> Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Çorum, Türkiye

<sup>2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

<sup>3</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Of Teknoloji Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, Trabzon, Türkiye

(Alınış / Received: 23.12.2020, Kabul / Accepted: 29.12.2020, Online Yayınlanma / Published Online: 31.12.2020)

### Anahtar Kelimeler

Elektronik burun  
Koku sınıflandırma  
Aromatik yağ sınıflandırma

**Özet:** Bitkilerden elde edilen aromatik özlerin insanın beden, ruh ve zihin sağlığına etkileri olduğu yüzyıllardır bilinmektedir. Bu özlerle hazırlanan aromatik yağlar; gerek yiyecek ve içeceklerle vücuda alınarak gerek cilde uygulanarak gerekse sadece koklanarak insanlarda psikolojik ve fizyolojik etkiler gösterebilmektedir. Ayrıca bitkilerden elde edilen uçucu yağlar, eklem bacaklı zararlılara karşı da oldukça etkili ürünler olarak değerlendirilmektedir. Gelişen teknoloji ile son 20-30 yıldır kokuyu tanıyan cihaz olarak elektronik burunlar üretilmektedir. Bu çalışmada aromatik yağlardan karanfil, nane ve sarımsak yağlarının bir elektronik burun ile tanınması amaçlanmıştır. Çalışma için 18 gaz algılayıcısı ve 1 nem algılayıcısından oluşan bir elektronik burun imal edilmiştir. Üretilen elektronik burun ile karanfil ve nane yağları birbirinden %91.67, sarımsak ve nane yağları birbirinden %92.83, karanfil ve sarımsak yağları ise birbirinden %57.67 doğrulukla ayrılmıştır.

## Detection of Clove, Peppermint and Garlic Oils with Electronic Nose

### Keywords

Electronic nose  
Odor classification  
Aromatic oil classification

**Abstract:** It has been known for centuries that aromatic extracts obtained from plants have effects on human body, spirit and mental health. Aromatic oils prepared with these extracts; It can show psychological and physiological effects on people by taking it into the body with food and drink, applying it to the skin or just by smelling it. In addition, essential oils obtained from plants are highly effective products against arthropod pests. With the developing technology, electronic noses have been produced as a device that recognizes the smell for the last 20-30 years. In this study, it was aimed to distinguish aromatic oils such as clove, mint and garlic with an electronic nose. An electronic nose consisting of 18 gas sensors and 1 humidity sensor was manufactured for the study. With the electronic nose produced clove and mint oils were separated from each other with 91.67% accuracy, garlic and mint oils 92.83%, clove and garlic oils 57.67% from each other.

### 1. Giriş

İnsanoğlu yüzyıllardır bitkilerden doğal olarak çıkarılan aromatik yağları sağlığını desteklemek için kullanmıştır [1]. Birçok hastalığın tedavisi için yapılan masajlarda bu yağların kullanılmasının

psikolojik ve fizyolojik süreçlere etkisi olduğu yapılan akademik çalışmada da gösterilmiştir [2]. Linalol isimli kimyasal bileşeni zengin olan aromatik yağların solumada gevşemeye ulaşmak ve kaygıya karşı koymak için yararlı olabileceği önerisi de yine yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur [3]. Kadınlarda meme

kanseri ameliyatlarından sonra tekrar ortaya çıkabilecek lenfödemlerin önlenmesi için yapılan basit lenf drenajı masajının aromatik yağlarla yapılmasının daha etkili olabileceğinin düşünüldüğü ifade edilmiştir [4]. Esansiyel yağ terapisi olarak anılan aromaterapi, beden, ruh ve zihnin sağlığını uyumlu hale getirmek, dengelemek ve desteklemek için bitkilerden doğal olarak çıkarılan aromatik özleri kullanma ustalığı ve bilimi olarak nitelendirilebilir [5]. Karanfil yağının anti-viral, anti-bakteriyel, anti-kanser, anti-diyabetik, ağrı kesici, nane yağının antiseptik, antiviral, uyarıcı, sarımsak yağının da gaz giderici, uyarıcı ve dezenfektan özellikleri olduğu bilimsel olarak ortaya konmuştur [6]. Bitkilerden elde edilen bu uçucu yağların eklem bacaklı zararlılara karşı etkisi de yine bilimsel olarak açıklanmıştır [7]. Ayrıca bu yağlar birçok ürünün üretiminde de kullanılmaktadır. Şampuan, sakız, çay, diş macunu ve dondurma gibi pek çok endüstriyel ürünün üretiminde nane yağı kullanıldığı gibi yine diş macunu, sabun ve şampuan imalatlarında da karanfil yağı kullanılmaktadır.

Kokunun bir cihazla tanınması öngörüsü ilk defa 1923'te ortaya konulsa da [8], ilk elektronik burun 1964'te yapılmış [9], ancak elektronik burun çalışmalarının literatürde yaygınlaşması 2000'li yıllarda olmuştur. Elektronik burunlar gaz algılayıcılarla oluşturulan bir algılayıcı blok tarafından koku içindeki farklı kimyasal gazların tespit edilmesi ve bu bilgilerin bilgisayara iletilmesi neticesinde, birçok farklı algoritma ile bu kokuların bilgisayara öğretilmesi ve daha sonra tekrar aynı koku geldiğinde bu kokuyu önceki verilerle karşılaştırarak tespit eden cihazlardır. Elektronik burun ile gıda alanında; yiyecek-içeceklerin türlerini [10], tazeliklerini [11], kalitelerini [12] ve aromalarını [13] tespit etmeye yönelik birçok çalışma yapılmıştır. Elektronik burunla yapılmış çokça çevresel uygulama çalışması da mevcuttur [14]. Ayrıca hastalıkların elektronik burun kullanılarak nefesten teşhisi üzerine de oldukça başarılı sonuçların elde edildiği çokça çalışma mevcuttur [15-17].

Bu çalışmada elektronik burun ile literatürde henüz çalışılmamış karanfil, sarımsak ve nane yağlarının kaydedilen sinyallerinin sınıflandırılması işlenmiştir. İstatistiksel yöntemler ile çıkarılan öznelikler k-en yakın komşuluk (k-EYK) algoritması ile sınıflandırılmıştır.

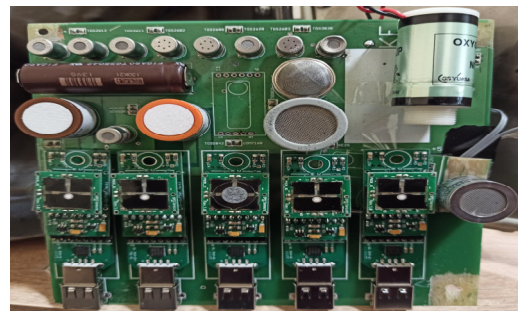
## 2. Materyal ve Metod

Bu çalışmada; farklı gazları algılayan 18'i kimyasal gaz algılayıcı ve 1'i nem algılayıcı olmak üzere toplam 19 algılayıcının kullanıldığı bir elektronik burun üretilmiştir. Bu algılayıcılar ve bunların algılayabildiği gazlar Tablo 1'de verilmiştir.

**Tablo 1.** Gaz Algılayıcı Ünitesinde Kullanılan Gaz Algılayıcılar

Algılanan Gaz	Gaz Algılayıcı Marka ve Modeli
Ozone (O3)	Spec Sensors DGS 968-039 O3
Hydrogen Sulfide (H2S)	Spec Sensors DGS 968-036 H2S
Carbon monoxide (CO)	Spec Sensors DGS 968-034 CO
Sulfur dioksidi (SO2)	Spec Sensors DGS 968-038 SO2
Nitrogen dioksidi (NO2)	Spec Sensors DGS 968-037 NO2
Methane (CH4), Ethanol (C2H5OH), Isobutane (C4H10), Hydrogen (H2)	Figaro TGS-2610
CH4, C4H10, Propane (C3H8)	Figaro TGS-2612
CH4, C2H5OH, C4H10, H2	Figaro TGS-2611
H2, Ammonia (NH3), Toluene (C7H8), C2H5OH, H2S	Figaro TGS-2602
H2, CO, CH4, C2H5OH, C4H10	Figaro TGS-2600
Alcohol, Solvent vapors, CO, H2, C2H5OH, C4H10	Figaro TGS-2620
Trimethylamine(C2H9N), Methanethiol (CH4S).	Figaro TGS-2603
Chlorofluorocarbons	Figaro TGS-3830
H2	Figaro TGS-821
Chlorofluorocarbons	Figaro TGS-832
Oxygen (O)	Figaro KE-25
Carbon dioxide (CO2)	Sensortech INIR-CD-5%
NH3	Figaro TGS-2444
Humidity and Temperature	Nem

Tablo 1'de verilen algılayıcıları çalıştıran bir algılayıcı blok oluşturulmuş ve bu blok kapağı kapatıldığında dışarıyla hava alışverişi yapmayan bir kutu içerisine sabitlenmiştir. Blok ve koku kutusunun fotoğrafı Şekil 1'de verilmiştir.



**Şekil 1.** Gaz algılayıcı blok ve koku kutusu

Spec Sensors markalı gaz algılayıcılarından elde edilen elektrik sinyalleri algılayıcının kendi kiti sayesinde dijitalleştirilerek algılayıcının usb bağlantısı ile bilgisayara aktarılırken, diğerlerinden elde edilen elektrik sinyalleri bir daq kart kullanılarak bilgisayara alınmıştır. Labview programında hazırlanan bir yazılım ile bilgisayara alınan sinyaller kaydedilmiştir. Daha sonra kaydedilen verilerden Matlab programında hazırlanan bir algoritma ile; 19 algılayıcıdan elde edilen verilere sırasıyla basıklık, çarpıklık, ortalama ve farkların kovaryansı işlemleri uygulanarak toplam 76 öznitelik elde edilmiştir. Öznitelik çıkartmak için kullanılan yöntemler Tablo 2'deki denklemlerde sırasıyla açıklanmıştır.

**Tablo 2.** Öznitelik Çıkartma Yöntemleri

Basıklık	$\frac{\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (x_i - \bar{x})}{\left(\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (x_i - \bar{x})^2\right)^{1/2}}$
Çarpıklık	$\frac{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^3}{\left(\sqrt{\frac{1}{L} \sum_{i=1}^L (x_i - \bar{x})^2}\right)^3}$
Ortalama	$\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (x_i)$
Farkların Kovaryansı	$\frac{1}{L} \sum_{n=1}^L (x'_i - \bar{x}')^2$

Bu tabloda;

- $x_i$  : bir  $x$  sinyalinin  $i$ 'nci değerini,
- $\bar{x}$  : ise  $x$  sinyalinin ortalama değerini,
- $x'$  :  $x$  in türevini,
- $x'_i$  :  $x'$  nin  $i$ 'nci değerini,
- $\bar{x}'$  :  $x'$  nin ortalama değerini,
- $L$  : bir sinyalin uzunluğunu ifade etmektedir.

Daha sonra çıkarılan öznitelikler ile k-EYK ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırıcı eğitiminde ileri öznitelik seçme algoritması ile etkin öznitelikler belirlenmiştir. Öznitelik seçme işlemi eğitim kümesi içerisinde 30 kez tekrar edilmiş ve en çok kullanılan özniteliklerin kullanım sayısının yarısından fazla sayıda kullanılan öznitelikler, yapılan sınıflandırma işleminde etkin öznitelikler olarak belirlenmiştir.

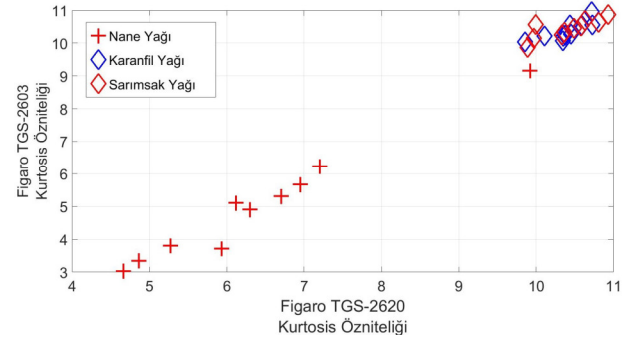
Çalışmada %100 saflıkta üretilen karanfil yağı, sarımsak yağı ve nane yağı kullanılmıştır. Her bir yağ, koku kutusu içerisine konularak gaz algılayıcılarının değerleri 1 dakika boyunca bilgisayara kaydedilmiş ve daha sonra koku kutusu tekrar havalandırılmak suretiyle gaz algılayıcı değerlerinin ilk halini alması sağlanmıştır. Bu şekilde her bir kokudan toplam 30 veri alınmıştır.

### 3. Sınıflandırma Sonuçları

Bu çalışmada her bir yağdan alınan 30 ayrı verinin 20'ser tanesi eğitim için, kalan 10'ar tanesi de test verisi olarak kullanılmıştır. Önerilen yöntemin kararlılığın gösterilmesi amacıyla eğitim ve test kümeleri 30 kez yeniden oluşturularak her biri için sınıflandırma doğruluğu hesaplanmıştır. Tüm sonuçların ortalaması verilerle yöntemin kararlılığı gösterilmiştir. Karanfil -Nane - Sarımsak yağlarına ait verilerin çoklu-sınıf sınıflandırılması ile bunları ikili kombinasyonlarının sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Aşağıda, belirtilen yağlar için yapılan sınıflandırmaların sonuçları ve bu sınıflandırmalarda verisi kullanılan yani bu yağların kokularına tepki veren gaz algılayıcıları ile bu algılayıcılardan elde edilen verilere hangi öznitelik çıkarma yöntemlerinin uygulandığı detaylı bir şekilde sunulmuştur.

#### 3.1. Karanfil -Nane - Sarımsak

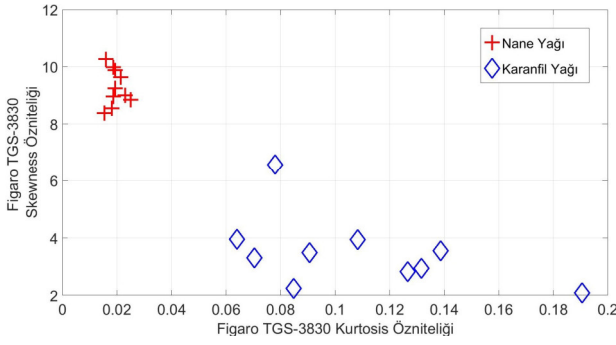
Karanfil, nane ve sarımsak yağı verilerinin sınıflandırılmasında en çok kullanılan 2 öznitelik, TGS-2620 ve Figaro TGS-2603 gaz algılayıcı verilerine uygulanan basıklık yöntemi ile belirlenmiştir. Şekil 2'de karanfil yağı, nane yağı ve sarımsak yağı kokuları test verilerinin yukarıda belirtilen özniteliklere göre elde edilen dağılım grafiği verilmiştir. Bu özniteliklerle ortalama %56.67 sınıflandırma doğruluğu elde edilmiştir.



**Şekil 2.** Karanfil-nane-sarımsak yağı test verilerinin seçilen özniteliklere göre dağılımı

#### 3.2. Karanfil-Nane

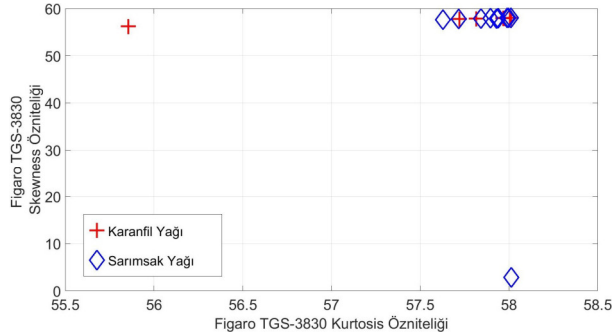
Karanfil-Nane yağlarına ait verilerle yapılan sınıflandırmada en çok kullanılan 2 öznitelik, TGS-3830 gaz algılayıcı verilerine uygulanan basıklık ve çarpıklık yöntemleri ile belirlenmiştir. Şekil 3'te karanfil yağı ve nane yağı kokularından elde edilen verilerin yukarıda belirtilen özniteliklere göre elde edilen dağılım grafiği verilmiştir. Çıkarılan öznitelikler ile ortalama %91.00 sınıflandırma başarımları, %91.67 duyarlılık ve %90.33 özgüllük elde edilmiştir.



**Şekil 3.** Karanfil yağı ve nane yağı test verilerinin seçilen özneliklere göre grafiği

### 3.3. Karanfil-Sarımsak

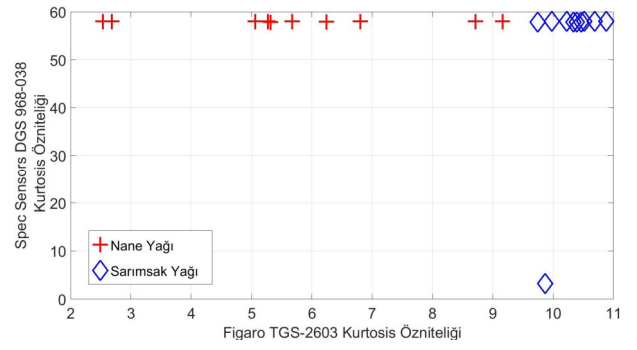
Karanfil-Sarımsak yağlarına ait elde edilen veriler ile yapılan sınıflandırmada en çok kullanılan 2 öznelik, Spec Sensors DGS 968-039 O3 ve Spec Sensors DGS 968-038 SO<sub>2</sub> gaz algılayıcı verilerine uygulanan basıklık yöntemleri ile belirlenmiştir. Şekil 4'te karanfil yağı ve sarımsak yağı kokularından elde edilen verilerin yukarıda belirtilen özneliklere göre elde edilen dağılım grafiği verilmiştir. Bu özneliklerle yapılan sınıflandırmaların sonucunda ortalama %57.67 sınıflandırma başarımı, %55.33 duyarlılık ve %60.01 özgüllük elde edilmiştir.



**Şekil 4.** Karanfil yağı ve sarımsak yağı test verilerinin seçilen özneliklere göre grafiği

### 3.4. Sarımsak-Nane

Sarımsak-Nane yağlarına ait elde edilen veriler ile yapılan sınıflandırmada en çok kullanılan 2 öznelik, Figaro TGS-2603 ve Spec Sensors DGS 968-038 SO<sub>2</sub> gaz algılayıcı verilerine uygulanan basıklık yöntemleri ile belirlenmiştir. Şekil 5'de sarımsak yağı ve nane yağı kokularından elde edilen verilerin yukarıda belirtilen özneliklere göre elde edilen dağılım grafiği verilmiştir. Bu öznelikler ile elde edilen sınıflandırmanın sonucunda ortalama %92.83 sınıflandırma başarımı, %91.67 duyarlılık ve %94.00 özgüllük elde edilmiştir.



**Şekil 5.** Sarımsak yağı ve nane yağı test verilerinin seçilen özneliklere göre grafiği

## 4. Sonuç ve Yorum

Sınıflandırma sonuçlarından da açıkça görüleceği üzere mevcut elektronik burun ile, karanfil ve sarımsak yağları birbirinden ayıramadığı için, bu üç yağın birlikte olduğu üç sınıflı bir sınıflandırmada da başarılı bir sonuç alınamamıştır. Ancak üretilen elektronik burun ile karanfil ve nane yağları birbirinden %91.67 doğrulukla ayrılmıştır. Yine sarımsak ve nane yağları verileri %92.83 gibi oldukça yüksek bir doğrulukla sınıflandırılmışlardır.

Bitki özü yağlarının bir elektronik burun vasıtası ile kokudan tespit edilebilmesi teknolojisinin; giriş bölümünde bahsedilen endüstriyel ürünlerin üretim aşamalarında bir karar mekanizması veya bir kalite kontrol yöntemi olarak kullanılabilmesi gibi, ortam hava kalitesi düzenleyici olarak çalışacak bir sistemin yapı taşı olarak da kullanılabilmesi düşünülmektedir. İnsan sağlığına faydalı farklı etkileri olan bu yağların elektronik olarak tanınması, özellikle alternatif tıp veya geleneksel ve tamamlayıcı tıp olarak nitelendirilen fizik tedavi, egzersiz, masaj gibi pek çok uygulamanın yapıldığı merkezlerde akıllı ortam havalandırması için yapılacak bir otomasyonun temelini teşkil edecektir.

## Teşekkür

Bu çalışma Hitit Üniversitesi tarafından ODMYO19001.15.004 numaralı BAP Projesi ile desteklenmiştir.

## Kaynakça

- [1] A. K. Sharma, R. K. Keservani, and S. P. Gautam, Herbal Product Development: Formulation and Applications. CRC Press, 2020.
- [2] F. Rafii, F. Ameri, H. Haghani, and A. Ghobadi, "The effect of aromatherapy massage with lavender and chamomile oil on anxiety and sleep quality of patients with burns," Burns, vol. 46, no. 1, pp. 164–171, 2020, doi: 10.1016/j.burns.2019.02.017.



- [3] V. M. Linck, A. L. da Silva, M. Figueiró, E. B. Caramão, P. R. H. Moreno, and E. Elisabetsky, "Effects of inhaled Linalool in anxiety, social interaction and aggressive behavior in mice," *Phytomedicine*, vol. 17, no. 8, pp. 679–683, Jul. 2010, doi: 10.1016/j.phymed.2009.10.002.
- [4] A. Gül and F. E. Aslan, "Meme Kanseri Ameliyatlarından Sonra Lenfödemin Önlenmesinde Basit Lenf Drenajı Masajı İle Aromatik Yağlarla Yapılan Basit Lenf Drenajı Masajının Etkisinin Karşılaştırılması," *Meme Sağlığı Dergisi, The Journal of Breast Health*, vol. 3, no. 2, pp. 75–81, 2007.
- [5] T. Kanat, "Aromaterapi," *Journal of Biotechnology and Strategic Health Research*, vol. 3, pp. 67–73, Sep. 2019, doi: 10.34084/bshr.548407.
- [6] T. Bansal, "Benefits of essential oil," *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, pp. 143–149, Jan. 2016.
- [7] R. A. Cloyd, C. L. Galle, S. R. Keith, N. A. Kalscheur, and K. E. Kemp, "Effect of Commercially Available Plant-Derived Essential Oil Products on Arthropod Pests," *Journal of Economic Entomology*, vol. 102, no. 4, pp. 1567–1579, Aug. 2009, doi: 10.1603/029.102.0422.
- [8] M. Lumbreras and M. Siadat, "Electronic Noses and Applications," *Sensors & Transducers*, vol. 27, May 2014.
- [9] C. Sánchez, J. P. Santos, and J. Lozano, "Use of Electronic Noses for Diagnosis of Digestive and Respiratory Diseases through the Breath," *Biosensors*, vol. 9, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2019, doi: 10.3390/bios9010035.
- [10] S. Güney and A. Atasoy, "Study of fish species discrimination via electronic nose," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 119, pp. 83–91, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.compag.2015.10.005.
- [11] R. Dutta, E. L. Hines, J. W. Gardner, D. D. Udrea, and P. Boilot, "Non-destructive egg freshness determination: an electronic nose based approach," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 14, no. 2, pp. 190–198, Jan. 2003, doi: 10.1088/0957-0233/14/2/306.
- [12] B. Tozlu, H. I. Okumus, and C. Simsek, "Online Quality Classifying With Electronic Nose For Black Tea Production," *IJAR*, vol. 6, no. 4, pp. 158–163, Jul. 2014, doi: 10.7813/2075-4124.2014/6-4/A.21.
- [13] J. Lozano, J. P. Santos, and M. C. Horrillo, "Classification of white wine aromas with an electronic nose," *Talanta*, vol. 67, no. 3, pp. 610–616, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.talanta.2005.03.015.
- [14] T. Zarra, C. Cimatoribus, V. Naddeo, M. Reiser, V. Belgiorno, and M. Kranert, "Environmental odour monitoring by Electronic Nose," *Global NEST Journal*, vol. 3, no. 30, pp. 664–668, 2018, doi: <https://doi.org/10.30955/gnj.002794>.
- [15] A. D'Amico et al., "An investigation on electronic nose diagnosis of lung cancer," *Lung Cancer*, vol. 68, no. 2, pp. 170–176, May 2010, doi: 10.1016/j.lungcan.2009.11.003.
- [16] K. Witt et al., "Electronic nose detects heart failure from exhaled breath," *Biomed Tech (Berl)*, vol. 58 Suppl 1, 2013, doi: 10.1515/bmt-2013-4145.
- [17] V. N. E. Schuermans et al., "Pilot Study: Detection of Gastric Cancer From Exhaled Air Analyzed With an Electronic Nose in Chinese Patients," *Surg Innov*, vol. 25, no. 5, pp. 429–434, Oct. 2018, doi: 10.1177/1553350618781267.

