

# Teknik Bilimler Dergisi

Journal of Technical Sciences



## **EDİTÖR KURULU (EDITORIAL BOARD)**

### **Baş Editör (Editor in Chief)**

Prof. Dr. Ali Etem GÜREL, Düzce Üniversitesi, Türkiye

### **Editör Yardımcıları (Editors)**

Doç. Dr. Ümit AĞBULUT, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan YILDIZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

### **Yayın Danışma Kurulu (Editorial Advisory Board)**

Prof. Dr. Ahmet Selim DALKILIÇ, Yıldız Teknik Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Ali Naci ÇELİK, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Asif AFZAL, PA College of Engineering, India

Prof. Dr. B. DEEPANRAJ, Prince Mohammad Bin Fahd University, Saudi Arabia

Prof. Dr. Engin ÖZDEMİR, Kocaeli Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Günnur KOÇAR, Ege Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Hakan Fehmi ÖZTOP, Fırat Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Hitesh PANCHAL, Government Engineering College, India

Prof. Dr. İlhan CEYLAN, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. İsmail EKMEKÇİ, İstanbul Ticaret Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. M.S. GAD, Fayoum University, Egypt

Prof. Dr. Mustafa AKTAŞ, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Onuralp ULUER, Gazi Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Prabhakar SHARMA, Delhi Skill and Entrepreneurship University, India

Prof. Dr. Resul KARA, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. Suat SARIDEMİR, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Prof. Dr. T. N. VERMA, Maulana Azad National Institute of Technology Bhopal, India

### **Alan Editörleri (Section Editors)**

#### **Bilgisayar Mühendisliği ve Bilimleri**

Dr. Öğr. Üyesi Enver KÜÇÜKKÜLAHLI, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. Muhammet Sinan BAŞARSLAN, İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Türkiye

### **Elektrik-Elektronik Mühendisliği**

Prof. Dr. Murat KARABACAK, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Yunus BİÇEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Sait Eser KARLIK, Bursa Uludağ Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin BAKIR, Doğuş Üniversitesi, Türkiye

---

### **Endüstri Mühendisliği**

Doç. Dr. Melike ERDOĐAN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

### **Enerji Sistemleri Mühendisliği**

Doç. Dr. Alper Ergün, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Zafer CİNGİZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

### **İmalat Mühendisliği**

Doç. Dr. Engin NAS, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Şenol ŞİRİN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Erman ZURNACI, Kastamonu Üniversitesi, Türkiye

---

### **İnşaat Mühendisliği ve Mimarlık**

Doç. Dr. Ümit YURT, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. İsmail İsa ATABEY, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Halil YILMAZ, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Türkiye

---

### **Mekatronik Mühendisliği**

Doç. Dr. Ferzan KATIRCIOĐLU, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

### **Otomotiv Mühendisliği**

Doç. Dr. Mustafa KARAGÖZ, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Cüneyt UYSAL, Karabük Üniversitesi, Türkiye

Doç. Dr. Murat Kadir YEŞİLYURT, Bozok Üniversitesi, Türkiye

---

### **Tarım ve Ormancılık**

Doç. Dr. Akif KETEN, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

### **Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği**

Dr. Öğr. Üyesi Filiz Dursun, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

### **Teknik Editörler**

Öğr. Gör. Seymen ÇİFTÇİ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

Arş. Gör. Beyzanur YAVUZ, Düzce Üniversitesi, Türkiye

---

## Genel Bilgiler (General Informations)

### Yayıncı (Publisher)

Düzce Üniversitesi/Düzce University

---

### Web Sayfası (Web Page)

<https://dergipark.org.tr/en/pub/duted>

---

### Cilt (Volume)

1

---

### Sayı (Issue)

1

---

### Yıl (Year)

2023

---

### Basım Tarihi (Date of Publication)

Aralık 2023/December 2023

---

### Yayın Dili (Language)

Türkçe ve İngilizce/Turkish and English

---

### Yayın Periyodu (Publication Period)

Yılda iki kez yayımlanır/Published two times in a year

---

### Yayın Türü (Type of Publication)

Sürelili Yayın/Periodical

---

### e-ISSN

XXXX-XXXX

---

### Yazışma Adresi (Correspondence Address)

Düzce Meslek Yüksekokulu, Uzunmustafa Mahallesi, 81010, Merkez/Düzce

+90 380 524 00 98

[duted@duzce.edu.tr](mailto:duted@duzce.edu.tr)

---

# İÇİNDEKİLER

---

Sayfa	Araştırma Makalesi (Research Article)
1-10	Parametric Analyses of Finned Heatsink Filled with Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /water Regarding Thermodynamic Irreversibility <i>Hayati Kadir PAZARLIOĞLU</i>
11-21	DP600 Çeliğinin Farklı Süre ve Sıcaklıklarda Temperlenmesinin Mukavemet ve Delik Genişletme Oranına Etkisi <i>Süreyya ALBAYRAKOĞLU, Nuri ŞEN, Tolgahan CİVEK ve Oktay ELKOCA</i>
22-28	Türksat 3A Uydu Proje Kapsamında Türksat Teknoloji Transfer Programı <i>Murat BULUT ve Nedim SÖZBİR</i>
29-38	3D Yazıcı ile Üretilen Elmas Şekilli Antenin Kablosuz Haberleşme Sistemlerindeki Performans Analizi <i>Mehmet DUMAN, Mustafa DUMAN ve Volkan BERK</i>
39-54	Machinery Sector Problems and Solution Suggestions: Düzce Example <i>Ali Etem GÜREL Hüseyin AYDIN ve Gökhan YILDIZ</i>
55-63	Investigation of Drilling Performance of Hardened 32CRMOV12-10 Tool Steel on Electro EDM Machine <i>Gökhan BEDİR ve Engin NAS</i>
	<b>Derleme Makalesi (Review Article)</b>
64-74	Tıbbi Bir Tekstil Olarak; TheraTogs ve Uygulamaları <i>Filiz DURSUN</i>

Research Article

## ***Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su ile Doldurulmuş Kanatlı Soğutucunun Termodinamik Tersinirlik Açısından Parametrik Analizi***

*Hayati Kadir Pazarlioglu<sup>a\*</sup>*

<sup>a</sup>University of Stuttgart, Institute of Aerospace Thermodynamics, Stuttgart, Germany

\* Sorumlu Yazar: [hayati-kadir.pazarlioglu@itlr.uni-stuttgart.de](mailto:hayati-kadir.pazarlioglu@itlr.uni-stuttgart.de)

### **ÖZET**

Elektronik bir cihazda aşırı yüklenen ısının tatmin edici bir şekilde dağıtılması verimli bir soğutma sistemine bağlıdır. Bu noktada mühendisler ve araştırmacılar, güvenilir çalışma davranışları ve dayanıklılıkları nedeniyle bir ısı kuyusu kullanmayı tercih ederler. Soğutucunun akışkan karakteristiğini ve ısı performansını artırmak basittir çünkü tasarımındaki herhangi bir küçük değişiklik, hidrotermal özelliklerinde bir artışın yolunu açar. Burada, ferronanoakışkan (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su; φ=%2) akan farklı kanatlı (dairese, kare ve altıgen) ısı kuyularının termo-hidrolik performansını araştırmak için laminer rejim (1000≤Re≤2000) altında parametrik sayısal çalışmalar yapılmıştır. Genel olarak, temel duruma göre en yüksek başarı rakamı (FOM), nanoakışkansız ısı kuyusunda kare kanat tipi kullanılarak Re=1500'de gözlenirken, aynı geometrik konfigürasyonda en düşük toplam entropi üretimi ve en yüksek konvektifisi transferi performansı Re=2000 ve φ=%2'de sergilendi. Ayrıca, nanoakışkanla doldurulmuş ısı kuyusunda kare kanat tipi kullanımının Re=2000'de ortalama Nusselt sayısını (Nu) baz duruma göre %18,41 artırdığı ve aynı karşılaştırma için basınç düşüşünü %59 civarında artırdığı sonucuna varılmıştır. Son olarak, Re=2000 ve φ=%2'de kare kanatlı tip ısı kuyusu kullanılarak toplam entropi üretiminin baz duruma göre %7,71 oranında azaldığı görüldü.

**Anahtar Kelimeler:** Entropi Üretimi, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/su, Isı Kuyusu, İğne Kanatçık, Taşınım Isı Transferi.

## ***Parametric Analyses of Finned Heatsink Filled with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water Regarding Thermodynamic Irreversibility***

### **ABSTRACT**

Satisfactory distribution of the over loaded heat in an electronic device depends on an efficient cooling system. In this point, engineers and researchers prefer using a heatsink due to their reliable operation behaviour and durability. To enhance fluid characteristic and thermal performance of the heatsink is simple since any small change in its design paves the way for an increase in its hydrothermal characteristics. Herein, parametric numerical studies were performed under laminar regime (1000≤Re≤2000) to investigate thermo-hydraulic performance of the different finned (circular, square, and hexagonal) heatsinks flowing ferro-nanofluid (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water; φ=2%). Overall, the highest figure of merit (FOM) over base case were observed at Re=1500 by utilizing square fin type in the heatsink without nanofluid whilst the lowest total entropy generation and the highest convective heat transfer performance were exhibited at the same geometric configuration at Re=2000 and φ=2%. Besides, it was concluded that the use of square fin type in the heatsink filled with nanofluid augmented average Nusselt number (Nu) by 18.41% compared with base case at Re=2000 and increased pressure drop around 59% for the same comparison. Finally, it was seen that total entropy generation by using square fin type heatsink at Re=2000 and φ=2% was decreased by 7.71% over base case.

**Anahtar Kelimeler:** Convective Heat Transfer, Entropy Generation, Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/water, Heatsink, Pin Fin.

## I. INTRODUCTION

Since electronic devices are becoming smaller, their operating temperature is rising, so their operational temperature and accumulating heat over them should safely be distributed to environment (Algburi et al., 2021). Generally, safety running temperature of electronic devices are considered around 85°C. Therefore, to keep lower than this temperature is essential for any electronic devices (Shahsavari et al., 2021a; Shahsavari et al., 2022a). In this point, heatsinks are usually preferred removing heat from electronic equipment. A period of twenty years, combination of the water and nanoparticles has a great power as a working fluid due to their prestigious thermal properties compared to other conventional working fluids (Pazarlıoğlu et al., 2023a; Pazarlıoğlu et al., 2023b). Furthermore, extended surfaces have a great advantage due to their vivid characteristics on enhancement of the heat transfer rate (Gürsoy et al., 2023; Pazarlıoğlu et al., 2021). In this regard, the use of pin fins present opportunity for researchers and engineers due to their high hydrodynamic behaviour compared to other extended surface types (Ateş et al., 2023; Chen et al., 2020). Next, as can be seen from the literature, low pressure drop and high convective heat transfer rate can be obtained by using pin fin, which leads to higher FOM (Figure of Merit) which is one of the most important parameters for RIC (Research, Investigation, and Commercialization) (Ateş et al., 2022; Pazarlıoğlu et al., 2022a). Parlak et al. (Parlak et al., 2022) have experimentally and numerically investigated micro heatsink with high aspect ratio to optimize it to reach an efficient geometric design parameter. After completion numerical studies, optimum channel height was found as 2 mm. Also, experimental studies showed very good agreement with numerical data obtained from CFD results. Shahsavari et al. (Shahsavari et al., 2022b) numerically performed parametric analyses using silver/water nanofluid under turbulent flow regime. Then, rifled inlet section was used to observe its hydrothermal augmentation. As a result of the study, rifled inlet section has increased FOM considerably. Shahsavari et al. (Shahsavari et al., 2023) was analysed a heatsink filled with nanofluid and applied surface vibration for enhancement of the heat transfer rate. Analyses were performed under laminar regime while the surface vibration method to enhance heat transfer was applied for the first time on a heatsink. It is reported that the use of surface vibration is the effective method for the heat transfer enhancement. Ghazizade-Ahsaei et al. (Ghazizade-Ahsaei et al., 2023) numerically investigated a heatsink analyses for observation of the effect of the inlet velocity profiles under laminar regime. It is reported that the use of non-uniform velocity profile was led to obtaining higher FOM than uniform velocity profile.

Based on the literature review, the use of the different shape of pin fins on heatsink (circular, rectangular, and hexagonal) are rather scarce that is why the use of these type of pin fins in heatsink under laminar flow regime are decided to observe thermal and fluid characteristics and investigate total entropy generation of the proposed system. To the best author knowledge, investigating different fin shapes have a crucial effect for the mass production companies since adding a fin to the system will lead to increase in pressure drop which is not desired effect in the system (Li et al., 2011). Therefore, defining a good fin shape presenting lower pressure drop compared to others will be beneficial for such systems. Besides, the mass production machines are loaded with high thermal residuals during production process. To remove this unneeded effect using a well-designed heatsink enhanced by well-structured pin fins has a considerable effect. In this study, to define therefore the optimum fin geometry for heatsinks which is great opportunity for removing heat from electronic devices will be highlighted, and these outputs will shed light on the literature to understand what types of pin fins are better to use such a system.

## II. MATERIAL AND METHOD

Fig. 1. presents geometrical information about proposed heatsink. In this study, ANSYS Fluent 2020 R2 using Finite Volume Method to discretization of governing equations were used to numerically investigate proposed geometry and parametric inputs. The uniform heat flux of  $q'' = 80000 \text{ W/m}^2$  for bottom side and non-uniform velocity profile for inlet section were conducted on the heatsink while other walls were kept as adiabatic boundary conditions. Also, no-slip boundary conditions were selected for all geometry's wall, and pressure outlet boundary conditions were applied for the outlet section. Then, the

parametric studies were performed under laminar flow regime taking into account steady-state conditions, single phase approach, and Newtonian fluid. The thermal properties of working fluids can be seen from Table 1.

Table 1. Thermo-physical properties of water and Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> at T=300 K (Tekir et al., 2022).

	Water	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /water & φ=2%
ρ [kg/m <sup>3</sup> ]	998	5180	1083
cp [J/kg.K]	4182	670	4122
k [W/m.K]	0.598	80.4	0.6186
μ [Pa.s]	1e-03	-	1.26e-03

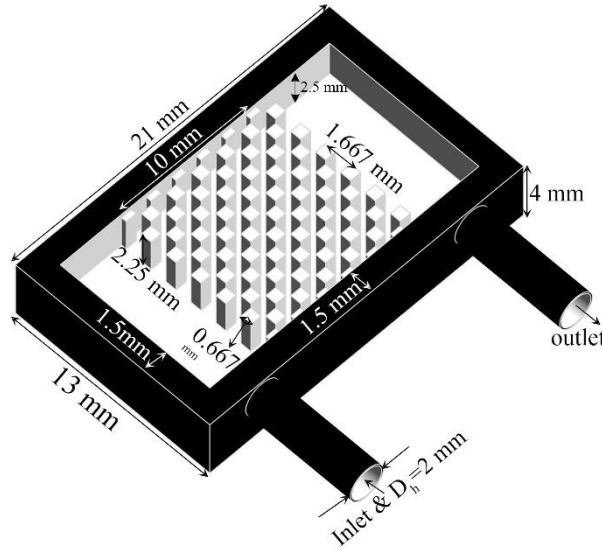


Fig. 1. Dimensions of proposed heatsink.

Then, the definition of the cases was named according to following information; circular pin finned heatsink: Case 1, square pin finned heatsink: Case 2, and hexagon pin finned heatsink: Case 3. It is noted that Case 1 & water is the base case for this study. Moreover, the governing equations (continuity, momentum, and energy) was discretised to observe hydrothermal characteristics of the proposed system.

Continuity (Kays et al., 2004) :

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \tag{1}$$

Momentum (Kays et al., 2004) :

$$\rho \left( (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{V} \right) = -\nabla P + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{V} \tag{2}$$

Energy (Kays et al., 2004) :

$$\text{For fluid: } \rho c_p \left( (\vec{V} \cdot \nabla) \vec{T} \right) = k_f \nabla^2 \vec{T} \tag{3}$$

$$\text{For solid: } k_s \nabla^2 \vec{T} = 0 \tag{4}$$

After solving these governing equations, these findings should be converted meaningful numbers, so following formulations can be used for this regard:

Reynolds number (Re) (Jiji, 2009):

$$\text{Re} = \frac{\rho V_{avg} \cdot D_h}{\mu} \tag{5}$$

Convective heat transfer coefficient (h) (Jiji, 2009):



$$h = \frac{q''}{T_{CPU_{avg.}} - T_{bulk}} \quad (6)$$

Average Nusselt number (Nu) (Jiji, 2009):

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (7)$$

Temperature uniformity ( $\theta$ ) (Shahsavari et al., 2021a):

$$\theta = \frac{T_{CPU_{max}} - T_{CPU_{min}}}{q''} \quad (8)$$

Thermal resistance (R) (Shahsavari et al., 2021b):

$$R = \frac{T_{CPU_{avg.}} - T_{in}}{q''} \quad (9)$$

Figure of merit (FOM) (Pazarlıoğlu et al., 2022b)

$$FOM = \frac{h_{enhanced} / h_{base}}{(\Delta P_{enhanced} / \Delta P_{base})^{1/3}} \quad (10)$$

Thermodynamic irreversibility can be calculated by using below equations (Shahsavari et al., 2021b):

$$\dot{S}_{ff}'' = \frac{\mu}{T} \left\{ 2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right. \\ \left. + \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right)^2 \right\}$$

$$\dot{S}_{ff} = \iiint \dot{S}_{ff}'' dV$$

$$\dot{S}_{th}'' = \frac{k}{T^2} \left[ \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right]$$

$$\dot{S}_{th} = \iiint \dot{S}_{th}'' dV$$

$$\dot{S}_{total} = \dot{S}_{ff} + \dot{S}_{th}$$

$$Be = \dot{S}_{th} / \dot{S}_{total} \quad (11)$$

To solve mentioned above governing equations correctly, the most important parameter in finite volume analyses is to create well mesh distribution on geometry. In this study, five different mesh structure were applied on geometry to obtain optimum mesh structure over the body. In the mesh independency studies, the denser mesh should be carried out which region is the most important to observe hydrothermal behaviour of it whereas the other region can be meshed less than important region to take an advantage in terms of computational time. In this study, the denser mesh structure was conducted for finned region, heated surface, inlet, and outlet section due to having high priority for designing a heatsink. While the mesh convergency study can be seen from Table 2, the decided mesh structure (M3) can be seen from Fig. 2.

Table 2. Mesh independency study at Re=2000 for Case 2.

Mesh No	M1	M2	M3	M4	M5
Node	798901	1487976	2687954	3543013	4145810
Nu	42.3	48.87	50.36	50.45	50.30

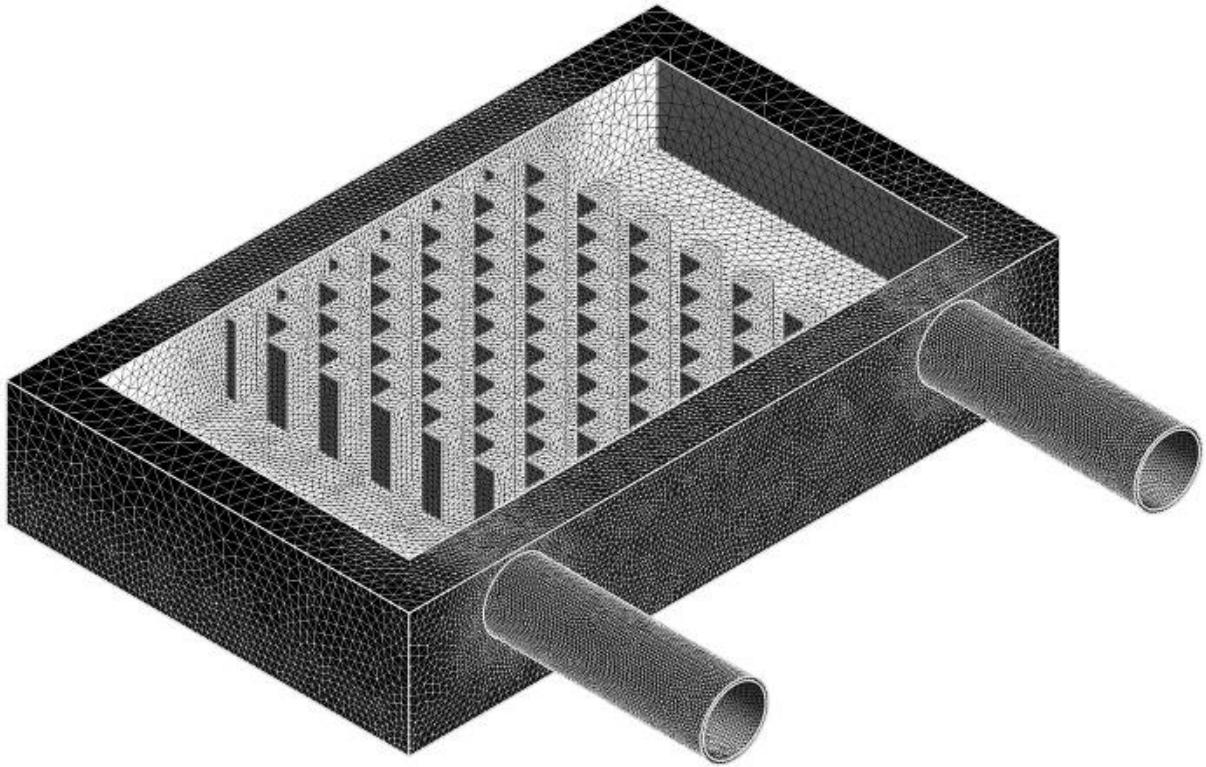


Fig. 2. Mesh structure on heatsink (Case 2).

Before starting analyses of the proposed system, the verification study with the literature should be performed. Therefore, this numerical study was compared with Shahsavari's study (Shahsavari et al., 2021a). This verification can be seen from Table 3.

Table 3. Verification study with a study published in the literature.

Re	Present Study	(Shahsavari et al., 2021a)	Deviation rate (%)
-	T <sub>cpu</sub> [K]	T <sub>cpu</sub> [K]	-
1000	308.301	307.4	0.293103448
1500	306.944	307.1	0.050797786
2000	306.127	306.7	0.186827519

### III. RESULTS

In this section, thermal characteristics and hydraulic behaviour of the finned heat sink have widely been discussed under different circumstances. Fig. 3(a) depicts Nu values for different cases and working fluids under laminar flow conditions. While Case 3&water presented the lowest Nu, Case 2&NF showed the highest Nu for all Re. Especially, the highest rising ratio has been achieved at Re=2000 for Case 2&NF. It is noted that working fluid can be moved around square fins due to wider surface area than other fin types that is why the highest Nu is obtained for this case. Also, this finding is consistency with the study of (Shahsavari et al., 2021a). Pressure drop distribution for different cases can be seen in Fig. 3(b). As can be seen from this figure, the minimum pressure drop value has been faced for Case 1&water at Re=1000 whilst the maximum one has been obtained for Case 3&NF at Re=2000. Case 3 has the widest surface area compared to other cases, so this phenomenon leads to an increase in pressure drop dramatically. Then, using of nanofluid as a working fluid may lead to increase in pressure drop value (Tekir et al., 2022). Fig. 3(c) explains temperature uniformity in terms of different cases and working fluids under same boundary conditions. It can be seen that temperature uniformity decreases as Re increases due to diminishing the temperature of heat sink. Especially, the lowest temperature uniformity is obtained at Re=2000 due to hitting the bottom in terms of temperature of heat sink. Fig. 3(d) shows thermal resistance of finned heat sink for all cases at different Re. While the highest thermal resistance is obtained for Case 1&water,

the lowest thermal resistance is handled for Case 2&NF. Case 2&NF presents a better approach for thermal resistance due to effective cooling for finned heatsink for all Re.

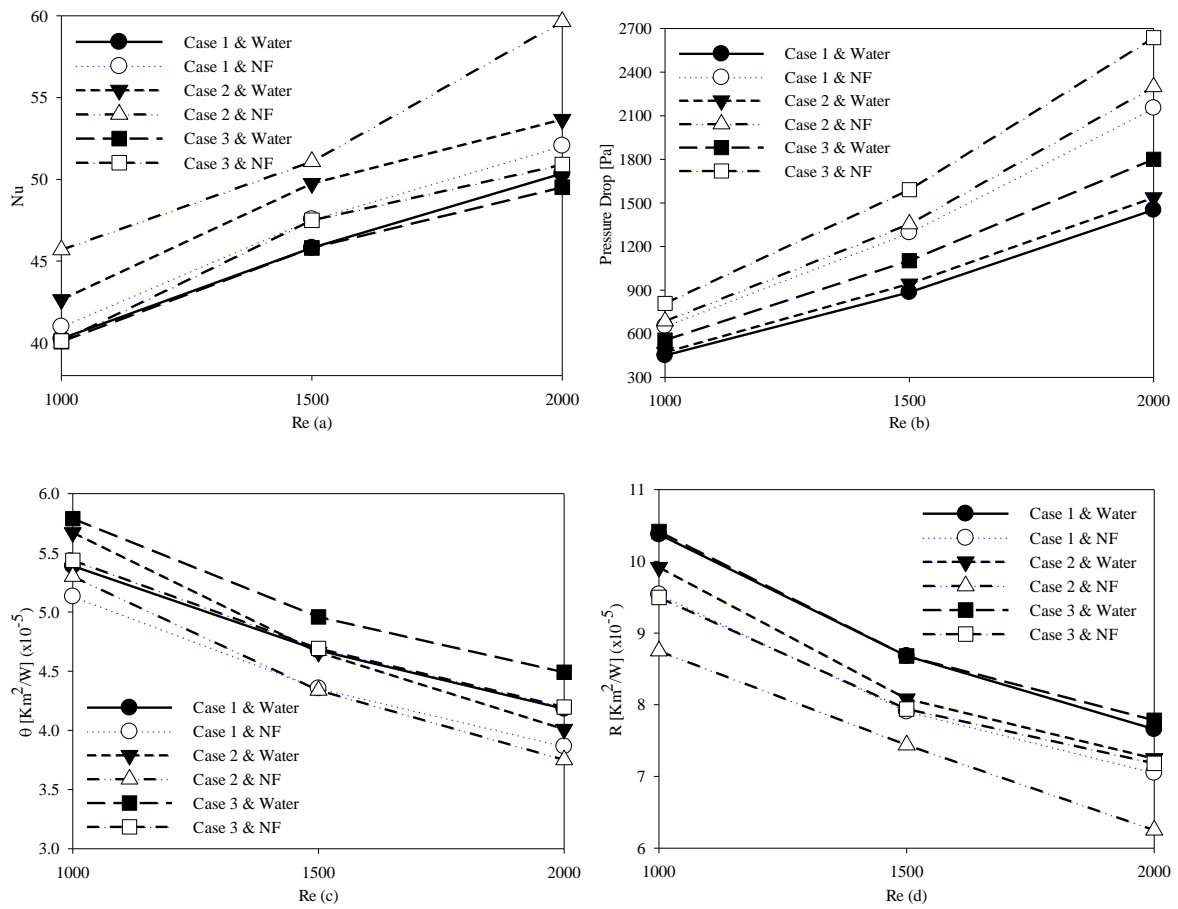


Fig. 3. Hydrothermal characteristics of the proposed system, a) Nu, b) Pressure drop, c) Temperature uniformity, d) Thermal resistance.

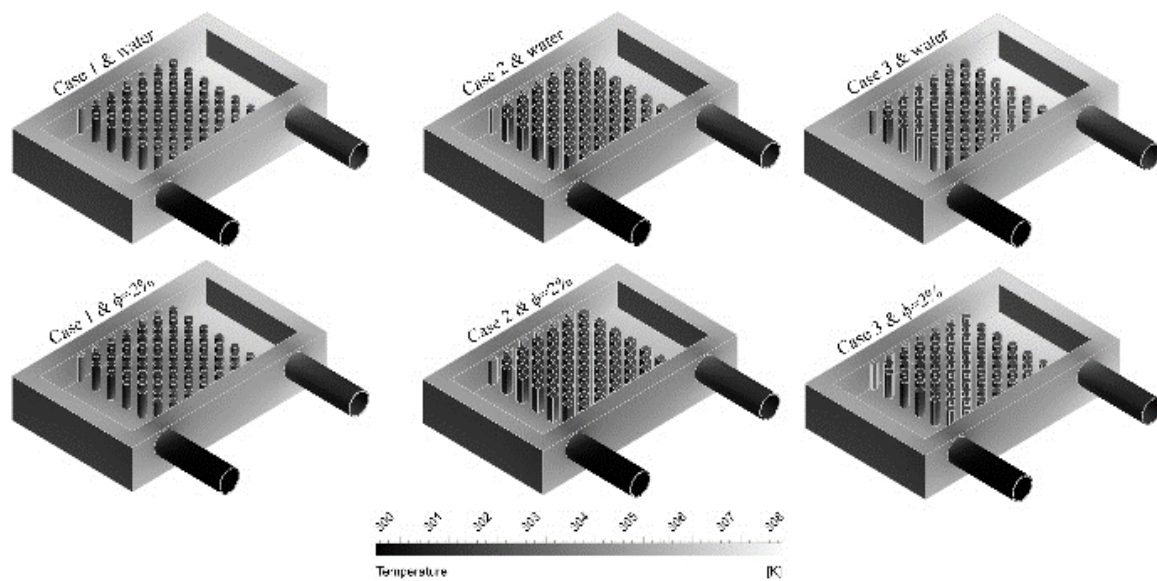


Fig. 4. Temperature distribution on heatsink for different fin designs at Re=2000 and  $\phi=2\%$ .

Fig. 4 presents temperature distribution for all cases at  $Re=2000$ . As can be seen in this figure, inlet section and finned area are cooler than outlet section. The reason of that the acceleration of fluid is higher in that region than outlet section. Also, in the finned section, cooler surface was obtained due to increasing in surface area. As can be seen from this figure, using of fin at the middle of the heatsink leads to less cooling efficiency a region which is close to outlet section. However, for overall efficiency, using of find inside heatsink is better approximation for cooler surfaces. Furthermore, Case 2 & NF with  $\phi=2\%$  shows the maximum efficiency in terms of cooling.

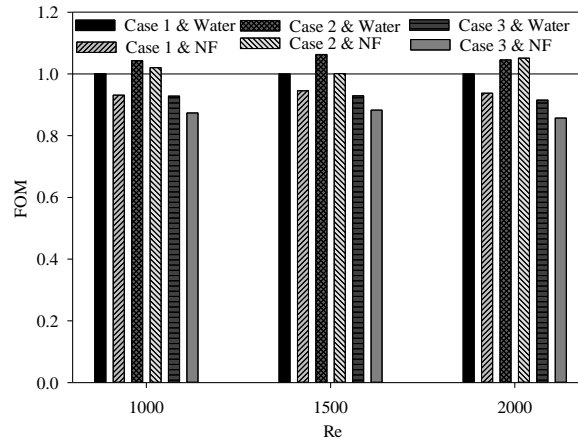


Fig. 5. Figure of merit (FOM) for all proposed design and working fluid parameters.

FOM defines applicability of proposed design considering all parameters. As can be seen in Fig. 5, the maximum FOM was handled using Case 2 & NF while the minimum one belongs to Case 3 & NF due to higher pressure drop value. The main negative parameter is the pressure drop for FOM that is why Case 3 presents lower FOM number than other proposals.

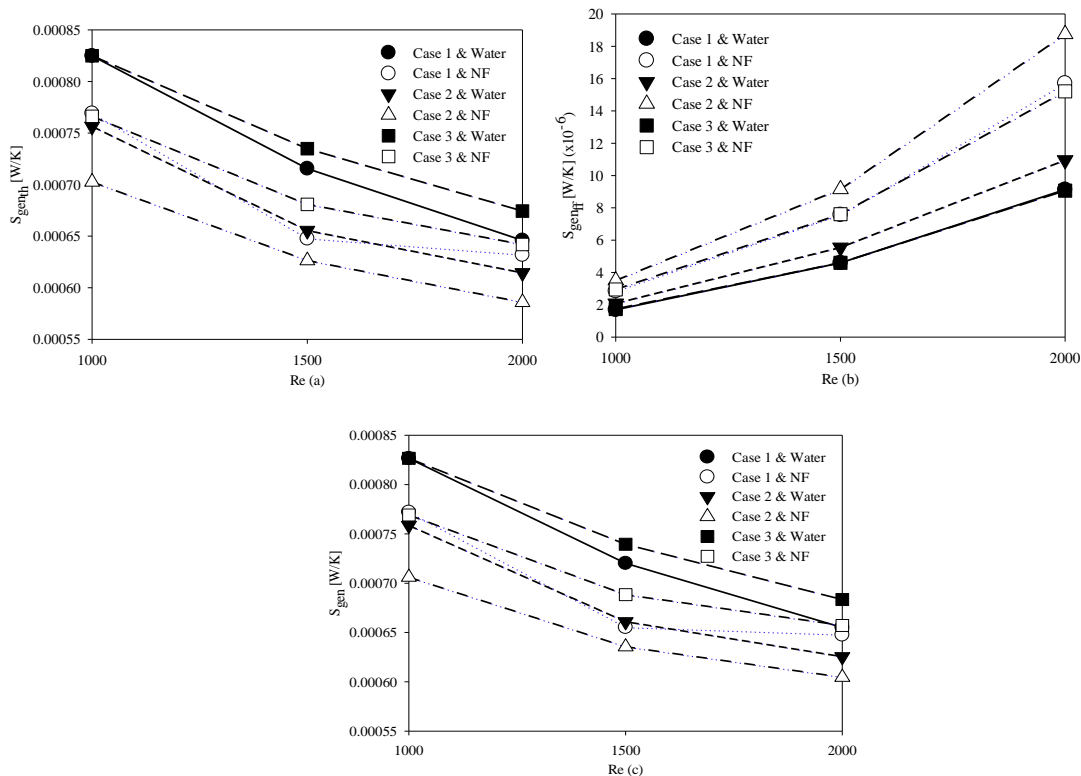


Fig. 6. Entropy generation due to a) thermal irreversibility, b) frictional irreversibility, c) total.

Fig. 6 (a, b, c) highlights entropy generation for all cases. Fig. 6a presents entropy generation in terms of thermal irreversibility. As can be seen from this figure, the use of NF affects positively in terms of thermal irreversibility. For example, the use of Case 3 & water presents the highest thermal irreversibility whilst Case 2 & NF gives the lowest one which is better in terms of entropy generation. It is known that using of nanofluids causes the higher thermal performance, so their capabilities on entropy generation is enhanced, so they lead to decrease in thermal entropy generation. In Fig. 6b denotes frictional irreversibility for all cases. The minimum one was obtained for Case 3 & water, and the maximum one was seen for Case 2 & NF. Overall, total entropy generation can be seen in Fig. 6c for all cases. The best one is Case 2 & NF in terms of total entropy generation.

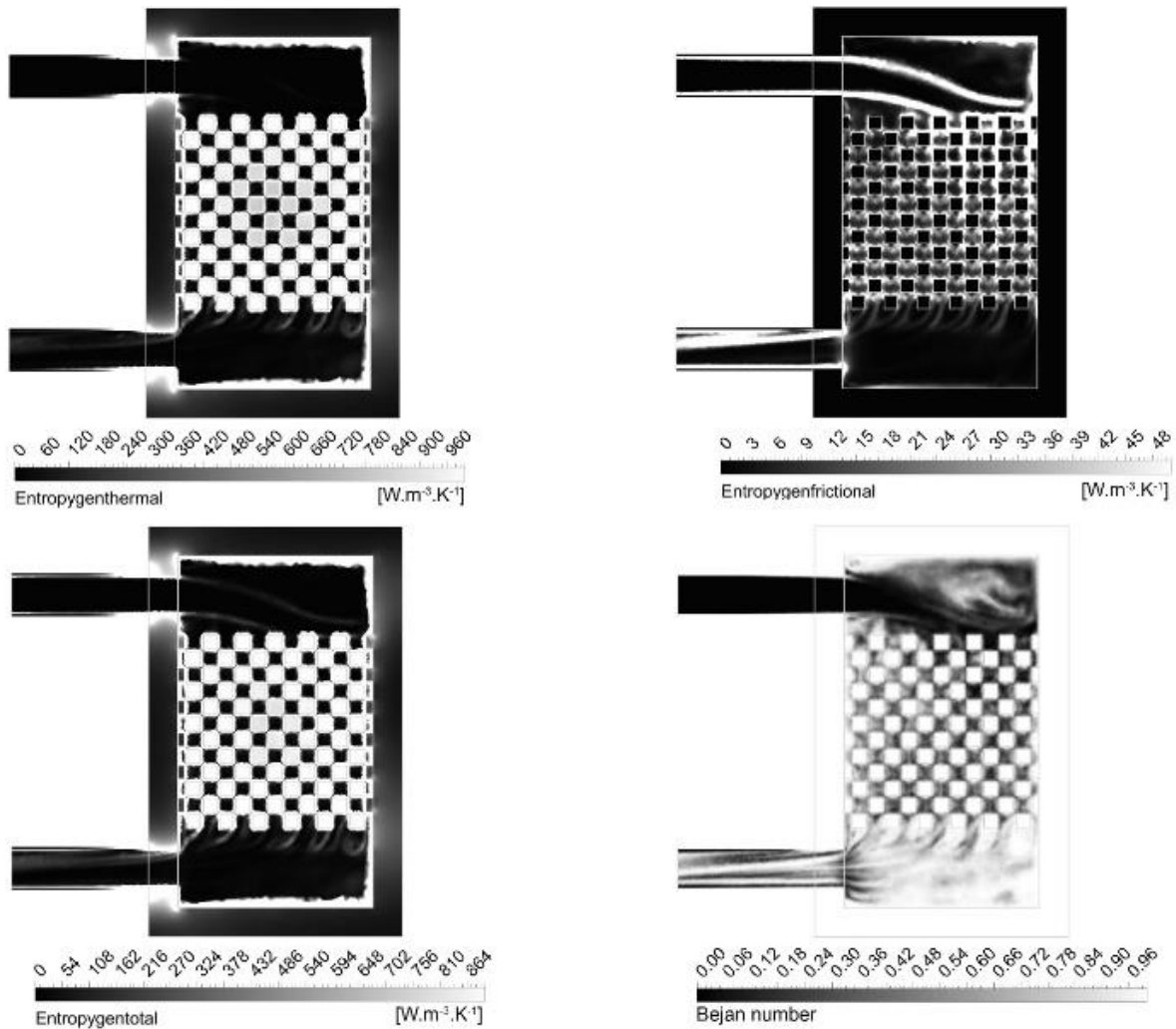


Fig. 7. Entropy generation in volume and Bejan number distribution for square pin finned heatsink at  $Re=2000$  and  $\phi=2\%$ .

Fig. 7 (a, b, c, d) presents entropy generation contours for the best-case name Case 2 & NF. As can be seen from this figure, the maximum thermal entropy generation occurs heatsink's and fin boundaries due to the fact that  $Nu$  is higher in these areas than other zones. Also, the frictional entropy generation is higher at inlet section and fins boundaries due to the fact that pressure drop is the high in these areas. While total entropy generation is similar to thermal irreversibility since thermal entropy generation is dominant for this case. Bejan number is the lowest around the inlet section, but it is the higher toward fin and outlet section since the thermal irreversibility is higher at these regions.

#### IV. CONCLUSION

In this study, finned heatsink was extensively analysed in terms of first and second law of thermodynamics. Herein, 2 different working fluids and 3 different design parameters were determined for 3 Res(1000-1500-2000). The main findings of this study can be seen below:

1. The use of square pin fin inside heatsink is a satisfied approach for achieving a well-designed thermo hydraulic characteristics for removing heat from electronic devices.
2. The Nu was enhanced by 18.41% using Case 2 & NF compared to Case 1 & water at Re=2000 while pressure drop was dramatically increased around %59 for the same comparison at Re=1000.
3. FOM reached its best value at Re=1500 for Case 2 & water since FOM criticise both thermal achievements and hydraulic penalties.
4. Total entropy generation was obtained with its minimum value for Case 2 & NF for all Res.
5. Finally, Case 2 & NF was obtained as the best offer for both energy and entropy generation compared to other cases.

For future studies, the same pin fin arrangements should be designed for different size and placement zone to define optimum distances among pin fins and their number inside heat sink. Then, exergy efficiency, economical aspect, environmental issues should be taken into account for this study as well as energy and entropy generation.

#### NOMENCLATURE

$D_h$	Hydraulic Diameter [m]
$f_f$	Friction factor
FOM	Figure of Merit
Nu	Average Nusselt Number
NF	Nanofluid
gen	Generation
th	Thermal
T	Temperature [K]
Re	Reynolds number
S	Entropy [W/K]
$q''$	Heat flux [W/m <sup>2</sup> ]
$\rho$	Density [kg/m <sup>3</sup> ]
$\mu$	Dynamic viscosity [Pa.s]
$\varphi$	Nanoparticle volumetric concentration (%)

#### REFERENCES

- Algburi, N. I. H., Pazarlıoğlu, H. K., & Arslan, K. (2021). Effect of Pitch Ratio and Diagonal Length of Pin Fin of Heat Sink on Convective Heat Transfer for Turbulent Flow Condition. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28(28), 643–652. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.1009980>
- Ateş, A., Çelik, S., Yağcı, V., Çağlar Malyemez, M., Parlak, M., Sadaghiani, A. K., & Koşar, A. (2023). Flow boiling of dielectric fluid HFE – 7000 in a minichannel with pin fin structured surfaces. *Applied Thermal Engineering*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.120045>
- Ateş, A., Parizad Benam, B., Yağcı, V., Çağlar Malyemez, M., Parlak, M., Sadaghiani, A. K., & Koşar, A. (2022). On the effect of elliptical pin Fins, distribution pin Fins, and tip clearance on the performance of heat sinks in flow boiling. *Applied Thermal Engineering*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118648>
- Chen, L., Brakmann, R. G. A., Weigand, B., Poser, R., & Yang, Q. (2020). Detailed investigation of staggered jet impingement array cooling performance with cubic micro pin fin roughened target plate. *Applied Thermal Engineering*, 171, 115095.
- Ghazizade-Ahsae, H., Shahsavari, A., Askari, I. B., & Damghani, H. (2023). The effect of inlet velocity profile on entropy generation and hydrothermal performance of a pin-fin heatsink with biologically prepared silver/water nanofluid coolant: Two-phase mixture model. *Engineering Analysis with Boundary Elements*, 150, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2023.02.026>

- Gürsoy, E., Pazarlıoğlu, H. K., Gürdal, M., Gedik, E., & Arslan, K. (2023). Entropy generation of ferrofluid flow in industrially designed bended dimpled tube. *Thermal Science and Engineering Progress*, 37, 101620. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2022.101620>
- Jiji, L. M. (2009). Heat convection: Second edition. *Heat Convection: Second Edition*, 1–543. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-02971-4>
- Kays, W. M., Crawford, M. E., & Weigand, B. (2004). *Convective heat and mass transfer* (4th ed., Vol. 4). McGraw-Hill (Tx).
- Li, D., Zhuang, J., Liu, T., Lu, Z., & Zhou, S. (2011). The pressure loss and ribbon thickness prediction in gap controlled planar-flow casting process. *Journal of Materials Processing Technology*, 211(11), 1764-1767.
- Parlak, M., Özsunar, A., & Koşar, A. (2022). High aspect ratio microchannel heat sink optimization under thermally developing flow conditions based on minimum power consumption. *Applied Thermal Engineering*, 201. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117700>
- Pazarlıoğlu, H. K., Ekiciler, R., & Arslan, K. (2021). Numerical Analysis of Effect of Impinging Jet on Cooling of Solar Air Heater with Longitudinal Fins. *Heat Transfer Research*, 52(11), 47–61. <https://doi.org/10.1615/HEATTRANSRES.2021037251>
- Pazarlıoğlu, H. K., Ekiciler, R., Arslan, K., & Adil Mohammed Mohammed, N. (2023a). Exergetic, Energetic, and entropy production evaluations of parabolic trough collector retrofitted with elliptical dimpled receiver tube filled with hybrid nanofluid. *Applied Thermal Engineering*, 223, 120004. <https://doi.org/10.1016/J.APPLTHERMALENG.2023.120004>
- Pazarlıoğlu, H. K., Gürsoy, E., Gürdal, M., Tekir, M., Gedik, E., Arslan, K., & Taşkesen, E. (2023b). The First and Second Law Analyses of Thermodynamics for CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>O Flow in a Sudden Expansion Tube Inserted Elliptical Dimpled Fins. *International Journal of Mechanical Sciences*, 108144. <https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2023.108144>
- Pazarlıoğlu, H. K., Tepe, A. Ü., & Arslan, K. (2022a). Optimization of Parameters Affecting Anti-Icing Performance on Wing Leading Edge of Aircraft. *European Journal of Science and Technology*, 34(34), 19–27. <https://doi.org/10.31590/EJOSAT.1062495>
- Pazarlıoğlu, H. K., Tepe, A. Ü., Tekir, M., & Arslan, K. (2022b). Effect of new design of elongated jet hole on thermal efficiency of solar air heater. *Thermal Science and Engineering Progress*, 36, 101483. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2022.101483>
- Shahsavari, A., Ghazizadeh-Ahsaei, H., Baniasad Askari, I., & Setareh, M. (2023). Numerical feasibility study of using ultrasonic surface vibration as a new technique for thermal management of the electronic devices. *Energy Conversion and Management*, 276. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116481>
- Shahsavari, A., Roohani, S., & Jahangiri, A. (2022a). Evaluation of the effect of rifled inlet on the hydrothermal performance and entropy generation of biological silver/water nanofluid-cooled heatsink. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(20), 11561–11575. <https://doi.org/10.1007/s10973-022-11342-3>
- Shahsavari, A., Shahmohammadi, M., Arıcı, M., & Ali, H. M. (2022b). Extensive investigation of the fluid inlet/outlet position effects on the performance of micro pin-fin heatsink through simulation. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*, 44(4), 9489–9505. <https://doi.org/10.1080/15567036.2022.2134518>
- Shahsavari, A., Shahmohammadi, M., & Askari, I. B. (2021a). CFD simulation of the impact of tip clearance on the hydrothermal performance and entropy generation of a water-cooled pin-fin heat sink. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105400>
- Shahsavari, A., Shahmohammadi, M., & Baniasad Askari, I. (2021b). The effect of inlet/outlet number and arrangement on hydrothermal behavior and entropy generation of the laminar water flow in a pin-fin heat sink. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105500>
- Tekir, M., Gedik, E., Arslan, K., Pazarlıoğlu, H. K., Aksu, B., & Taskesen, E. (2022). Hydrothermal behavior of hybrid magnetite nanofluid flowing in a pipe under bi-directional magnetic field with different wave types. *Thermal Science and Engineering Progress*, 34, 101399. <https://doi.org/10.1016/J.TSEP.2022.101399>

Araştırma Makalesi

## ***DP600 Çeliğinin Farklı Süre ve Sıcaklıklarda Temperlenmesinin Mukavemet ve Delik Genişletme Oranına Etkisi***

*Nuri Şen<sup>a,\*</sup>, Tolgahan Civek<sup>a</sup>, Oktay Elkoca<sup>a</sup>, Süreyya Albayrakoğlu<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

\* Sorumlu Yazar: [nurisen@duzce.edu.tr](mailto:nurisen@duzce.edu.tr)

### **ÖZET**

Gelişmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler, araç gövdelerinin yüksek mukavemetli parçalardan üretilmesine olanak sağlayarak toplam araç ağırlığının azaltılmasına önemli bir katkı sağlamaktadır. Bu çeliklerin mikroyapılarında bulunan çeşitli fazların birbirleri arasındaki yüksek mukavemet farklılıkları, şekillendirme işlemleri sırasında kenar yırtılma problemlerinin sıklıkla görülmesine yol açmaktadır. Çift fazlı (DP) çelikler, mikro yapılarında sertlik dereceleri birbirlerinden oldukça farklı olan ferrit ve martenzit fazlarından oluşan bir çelik olması sebebiyle kenar yırtılma problemlerinin sıklıkla görüldüğü bir AHSS çelik türüdür. Bu çalışmada, malzemenin mukavemetini önemli bir ölçüde korurken fazlar arasındaki mukavemet farkını azaltmak için DP600 çeliğine ılık sıcaklıklarda (75 °C, 375 °C) 300s, 900s, 1800s ve 3600s süreyle temperleme işlemi uygulanmıştır. Uygulanan temperleme işleminin DP600 çeliğinin mukavemetine ve delik genişleme oranına etkisini gözlemlemek amacıyla çekme testleri ve delik genişletme testleri yapılmıştır. DP600 çeliğinin 375 °C'de 900 saniye tavlınmasıyla delik genişleme oranının yaklaşık %55,12 oranında arttığı ve mukavemet azalmasının ise sadece %10,60 civarında olduğu saptanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Çekme Testi, Delik genişletme testi, DP çeliği, Temperleme,

## ***The Effect of Tempering Process at Various Temperatures ve Hold Times on the Strength ve Hole Expansion Ratio of DP600***

### **ABSTRACT**

Advanced High Strength Steels (AHSSs) provide a significant contribution for the weight reduction in vehicles by enabling to form the body-in-white parts of vehicles from high strength products. However, the high strength differences in their multiple phase microstructures, frequently causes the sheared edge tearing problems to be observed during forming operations. Dual phase (DP) steels, are one type of AHSSs that consist of ferrite and martensite phases in their microstructures, whose strengths are significantly different from one another, and thus, are one type of steels that the edge tearing problems are commonly observed. In this study, a tempering process for the DP600 steel has been implemented at warm temperatures (75 °C, 375 °C) for 300s, 900s, 1800s ve 3600s to reduce the strength difference in between the phases while preserving the strength of the material. The tensile tests and hole expansion tests have been conducted to observe the effects of the applied tempering process on the strength and hole expansion ratio of the DP600 steel. It has been shown that the hole expansion ratio of DP600 has improved by about 55.12% and the strength reduction has been only 10.60 % by tempering the steel at 375 °C for 900s.

**Keywords:** DP steel, Hole expansion ratio, Tempering, Tensile test

**Makale Bilgileri/Article Info**

Geliş/Received: 16/11/2023, Revizyon/Received in revised form: 06/12/2023, Kabul/Accepted: 15/12/2023



## I. Giriş

Geliştirilmiş Yüksek Mukavemetli Çelikler (GYMÇ), sağlamış oldukları oldukça yüksek mukavemet ve makul şekillendirilebilirlik seviyeleri sayesinde günümüzde Orijinal Ekipman Üreticileri (OEM) tarafından sıklıkla tercih edilen bir malzeme haline gelmiştir (Demeri, 2013; Cora ve Koç, 2014). GYMÇ'lerin mikroyapılarında farklı faz türlerinin bir arada yer alabilmesi özelliği, bu çeliklerin çok farklı özellikler sergileyen çeliklerin üretilebilmesini sağlamaktadır. Böylelikle farklı amaçlar için farklı GYMÇ'ler üretilebilmektedir (Sen ve Civek, 2022). (DP) çeliklerin mikroyapısı ferrit ve martenzit fazlarından oluşmaktadır. Bu çeliğin yapısında bulunan ferrit fazı, çeliğe şekillendirilebilirlik özellikleri sağlarken, martenzit fazı ise çeliğin mukavemetini sağlamaktadır (Senuma, 2001; Queiroz, Cunha ve Gonzalez, 2012; Bayramin, Şimşir ve Efe, 2017). DP çeliğinde farklı oranlarda ferrit ve martenzit fazı oluşturularak, farklı mukavemet ve şekillendirilebilirlik özellikleri sergileyen DP çelikleri (DP600, DP700, DP1000, vs.) üretilebilmektedir (Keeler, Kimchi ve Mooney, 2017; Balisetty, Chakkingal ve Venugopal, 2021). DP çeliklerinin makul bir şekillendirilebilirlik ve kaza esnasında yüksek enerji sönümleme özelliklerine sahip olması sebebiyle, araç gövdelerinde sıklıkla tercih edilmektedir (Mallick, 2010). Ancak, DP çeliğinin içyapısında yer alan ferrit ve martenzit fazlarının arasında oldukça yüksek bir mukavemet farklılığının olması, bu iki faz arasında yüksek gerilme yığılmalarına sebep olmakta ve bu durum kenar yırtılması olarak nitelendirilen bir probleme yol açmaktadır (Azuma ve ark., 2012). Karşılaşılan bu problem, birçok parçanın şekillendirilmesinde sorunlara yol açıp DP çeliğinin kullanım alanının kısıtlanmasına sebep olmaktadır.

Şekillendirme esnasında yırtılma problemlerinin azaltılabilmesi için farklı çelik üreticileri çeşitli GYMÇ türleri üretmişlerdir. Bu çelikler arasında karmaşık fazlı çelik (CP) ve TRIP Destekli DP çelikleri (DH) yer almaktadır. CP çeliğinin iç yapısında ferrit, beyrit ve martenzit yapılarının bir arada bulunması, fazlar arasındaki sertlik farkının belirli bir oranda dengelenmesini sağlamaktadır (Karelova ve ark., 2009). Karelova ve ark. (Karelova ve ark., 2009), yapmış olduğu çalışmada CP çeliğinin delik genişletme oranının DP çeliğine göre daha yüksek olduğu saptamışlardır. DH çeliğinin içyapısında ise ferrit ve martenzit fazlarının yanı sıra içyapıda kalıntı östenit fazı da bulunmaktadır (Mirhosseini ve ark., 2022). Bu kalıntı östenit yapısı deformasyonla birlikte martenzit fazına dönüşerek çeliğin ekstra bir şekillendirilebilirlik kazanmasını sağlamaktadır. Kenar yırtılma problemine yol açan birçok etken olsa da, uygulanan sac kesim yöntemi sebebiyle sac kenarında oluşan pürüzlülük ve hasar, bu probleme doğrudan etki eden parametreler arasında yer almaktadır. Örneğin Balisetty ve ark. (Balisetty, Chakkingal ve Venugopal, 2021), dört farklı delik hazırlama yönteminin (Elektroerozyon, delme, delme + raybalama ve zımbalama) delik genişletme oranına etkisini incelemiş ve elektroerozyon yöntemi ile en yüksek delik genişletme oranının elde edildiği sonucuna varmışlardır. Benzer şekilde Xu ve ark. (Xu ve ark., 2012), farklı kesim yöntemlerinin (zımbalama, elektroerozyon, lazer kesim) DP980 çeliğinin delik genişletme oranına etkisini araştırmış ve elektroerozyon yöntemi ile yapılan delik genişletme testinin diğer kesim yöntemlerine göre en yüksek oranı sağladığı görülmüştür. Hance ve ark. (Hance, Comstock ve Scherrer, 2013), lazer kesim, su jeti ve zımbalama yöntemlerinin DP980 çeliğinin delik genişletme oranı üzerindeki etkisini incelemiş ve en yüksek oranın lazer kesim yöntemi ile elde edildiğini gözlemlemişlerdir. Şen ve ark. (Şen, Helimergin ve Taşdemir, 2021), DP600 ve DP800 sacların kesimi işleminde hassas kesme yöntemini uygulamışlar ve elde ettikleri kesim yüzeylerini incelemişlerdir. Yazarlar çalışmada, hassas kesme yöntemi ile yapılan kesme işleminde kesim yüzey kalınlığının %90 oranında kesildiğini ve herhangi bir hasar yüzeyi görülmediğini belirtmişlerdir. Genel olarak uygulanan kesim yönteminin sac kenarı üzerinde pürüzsüz bir yüzey oluşturması ve daha az hasar oluşturması delik genişletme testinde önemli pozitif bir etki yaratmaktadır.

DP çeliğinin mikroyapısındaki ferrit ve martenzit faz oranlarının değişimi de çeliğin kenar yırtılma davranışına önemli bir etkisi olmaktadır. Balisetty ve ark. (Balisetty, Chakkingal ve Venugopal, 2021), yapmış oldukları çalışmada DP çeliğinde bulunan martenzit oranının %22 civarından %45 civarına arttırılmasının delik genişletme oranını düşürdüğü sonucuna varmışlardır. Ayrıca Terrazas ve ark. (Terrazas, Findley ve Van Tyne, 2017), yapmış oldukları çalışmada DP çelik yapısındaki martenzit

morfolojisinin delik genişletme oranına etkisi olduğu anlaşılmış, homojen bir dağılım gösteren martenzit yapısına sahip DP çeliklerin daha yüksek delik genişletme oranına sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Literatürde incelenen birçok çalışma DP çeliklerin mikroyapısında bulunan ferrit ve martenzit fazları arasındaki yüksek sertlik farkının bu çeliğin delik genişletme testinde gözlemlenen hasarın ana etkenlerinden birisi olduğu belirtilmektedir (Azuma ve ark., 2012; Hu ve ark., 2013; Gao ve ark., 2019; Chen ve ark., 2020). DP çeliklerde sıklıkla görülen kenar yırtılma problemi, yüksek bir enerji sönümleme özelliğine sahip olan bu çeliğin karmaşık geometrilerde kullanımını sınırlamaktadır. Bu sebeple DP çeliğinin mukavemetinden önemli bir ölçüde ödün vermeden, kenar yırtılma kapasitesinin geliştirilmesi bu çeliğin daha karmaşık geometriler için kullanım alanlarının önemli ölçüde genişletilmesini sağlayacaktır. Bu çalışmada DP600 çelik yapısında bulunan iki farklı faz arasındaki sertlik farkının düşürülmesi ve böylelikle daha yüksek bir delik genişletme oranının elde edilmesi amacıyla 75 °C ve 375 °C sıcaklıklarda 300s, 600s ve 900s süreyle tavlama işlemi uygulanmıştır. Temperleme işleminin ardından çekme testleri ve delik genişletme testleri yapılarak, uygulanan temperleme işleminin DP600 çeliğin mukavemeti ve delik genişletme oranına olan etkileri incelenmiştir.

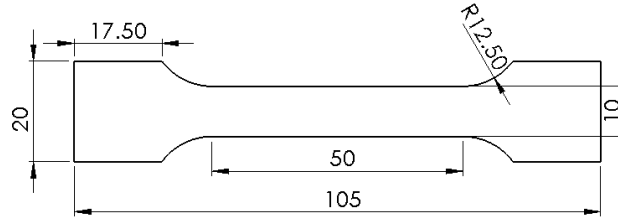
## II. MATERYAL METOT

### A. Malzeme

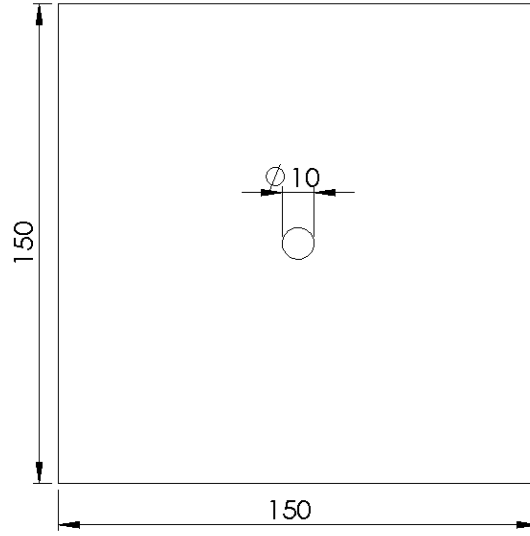
Bu çalışmada 1 mm kalınlığındaki, SSAB çelik firmasından temin edilmiş, DP çelik malzemeler kullanılmıştır. Çeliğin kimyasal bileşimi Tablo 1. 'de verilmiştir. Sac malzemeden ISO 6892-1 standartlarında çekme testi numunesi ve ISO 16630 standartlarında delik genişletme test numunesi zımba ile kesilmiştir. Çekme testi numuneleri hadde yöneliminde kesilmiştir. Çekme testi ve delik genişletme test numunelerinin ölçüleri Şekil 1. ve Şekil 2.'de verilmiştir.

Tablo 1. DP600 çeliğinin kimyasal bileşimi

Malzeme	Fe	C	Si	Mn	P	S	Al	Ti	Nb	V
DP600	98,2	0,108	0,195	0,878	0,0129	0,0024	0,0454	0,0008	0,0160	0,0167



Şekil 1. Çekme test numunesinin teknik ölçüleri (ölçüler mm cinsindedir)



Şekil 2. Delik genişletme testi numune ölçüleri

#### B. Numunelerin Temperlenmesi ve Test Edilmesi

Şekil 1. ve Şekil 2.'de gösterilen numunelerin kesilmesinin ardından numuneler atmosfer kontrollü ısıtma fırınında 75 °C ve 375 °C sıcaklıklarda 300s, 900s, 1800s ve 3600s süreyle tavlansmıştır. Fırından çıkartılan numuneler havada soğutulmuştur. Temperlenen çekme test numuneleri Zwick/Roell çekme cihazı kullanılarak ISO 6892-1 standartlarına uygun olarak test edilmiştir. Elde edilen verilerden temperlenen DP600 numunelerinin akma mukavemeti, çekme mukavemeti ve toplam uzama değerleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Temperlenen delik genişletme test numuneleri, ISO 16630 standartlarına uygun olarak, Şekil 3.'de gösterilen Zwick/Roell BUP600 cihazında 60° açılı bir konik zımba kullanılarak genişletilmiştir. Delik genişletme işlemi sırasında BUP600 cihazının üst kısmında yer alan kameralar aracılığı ile anlık görüntüler alınmış ve delik etrafında ilk boyuna çatlak görüldüğünde test durdurulmuştur. Delik genişletme oranı Eş.1'de gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\frac{D_s - D_i}{D_i} \times 100 \quad (1)$$

Burada,  $D_s$  ve  $D_i$  delik genişletme test numunesinde bulunan sırasıyla son ve ilk çap boyutunu temsil etmektedir.



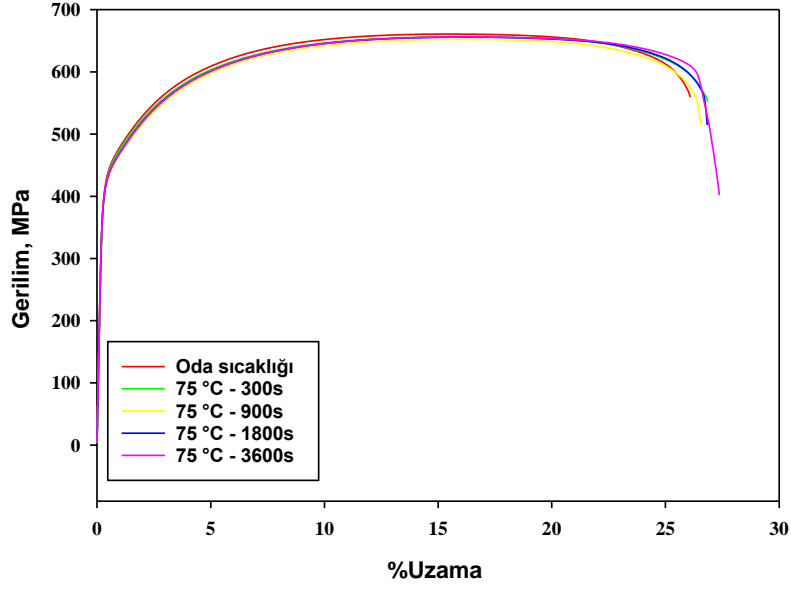
Şekil 3. Zwick/Roell BUP600 delik genişletme test cihazı

### III. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

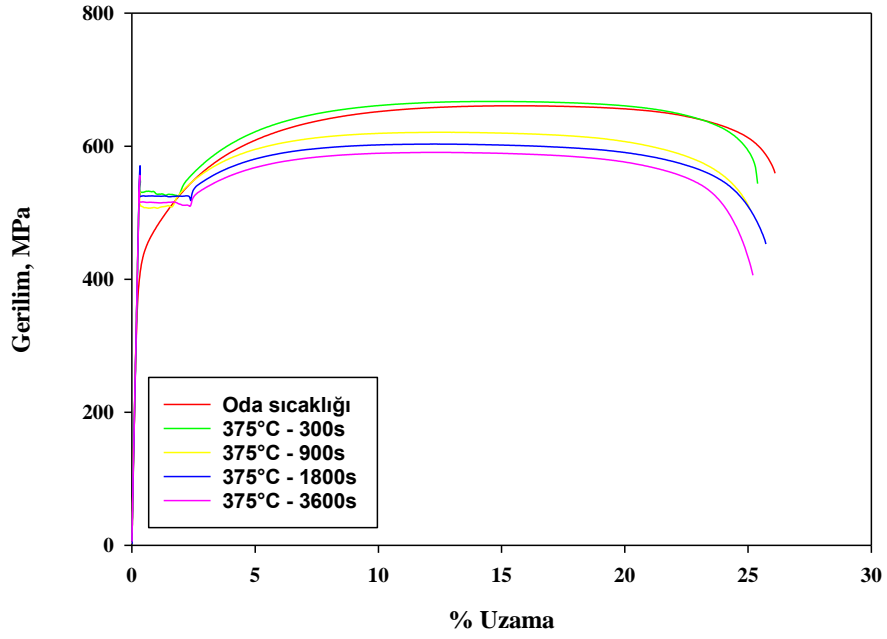
#### A. *Temperleme Uygulamasının Mekanik Özelliklere Olan Etkisi*

DP çeliklerin üretiminde genellikle çelik ara kritik sıcaklık bölgeye ısıtılır (Ac1 – Ac3), bu bölgede belirli bir süre bekletilerek ferritik-östenitik yapının elde edilmesi sağlanır ve sonrasında hızlı bir şekilde çeliğin soğutulması ile yapıdaki östenitin martenzite dönüştürülmesi sağlanır (Li ve ark., 2015; Tisza, 2021; Selova ve ark., 2023). Böylelikle ferrit ve martenzit yapısından oluşan çift fazlı bir çelik elde edilir. Elde edilen martenzit yapısının sertliğinin ferrit fazına göre çok fazla olması, deformasyon sırasında ferrit martenzit tane sınırlarında gerilme yığılması oluşturarak, bu bölgelerde boşluk oluşumlarına neden olmaktadır. Temperleme işlemi, malzemelerde genellikle su verilme işleminden sonra oluşan aşırı sertliğin veya gevrekliğin giderilmesi amacıyla, yeniden kristalleşme sıcaklıklarının altında uygulanan bir ısıtım işlemidir. Şekil 4. ve 5.'de DP600 çeliğine sırasıyla 75 °C ve 375°C'de farklı sürelerde uygulanan temperleme işleminin çekme testi sonuçlarına etkisi gösterilmiştir. Şekil 4'de görüldüğü üzere 75 °C 'de 3600s süreye kadar uygulanan temperleme işleminin çeliğin mekanik özelliklerine önemli bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Buna karşın, Şekil 5'de gösterildiği gibi 375°C'de uygulanan temperleme işleminde, temperleme süresinin ciddi bir etkisi olduğu görülmektedir. 375°C'de temperleme süresinin artması ile birlikte çeliğin çekme mukavemetinin gözle görülür bir seviyede düştüğü anlaşılmaktadır. Bununla birlikte çeliğin 375°C'de temperlenmesiyle birlikte malzemenin elastik deformasyondan plastik deformasyona geçişinde farklılık olduğu görülmektedir. DP çeliği oda sıcaklığında ve 75 °C'de tüm temperleme süreleri sonunda sürekli bir akış gösterirken, çeliğin 375 °C'de temperlenmesiyle birlikte çeliğin süresiz akma davranışı göstermeye başladığı görülmüştür. Bilindiği üzere östenit fazı yüzey merkezli kübik yapıya sahip iken, martenzit yapısı hacim merkezli tetragonal yapıya sahiptir (Guerrero ve ark., 2021). Çift fazlı çeliğin üretimi sırasında östenitik fazın (yüzey merkezli kübik yapının), martenzit yapıya (hacim merkezli tetragonal yapıya) dönüşmesi ile birlikte bir miktar hacim genişlemesi meydana gelmektedir (Moyer ve Ansell, 1975). Bu durum ferrit ve martenzit taneleri arasında "geometrik olarak gerekli" olarak adlandırılan dislokasyonların oluşmasına sebep olur (Kundu ve Field, 2016). DP çeliğin baz hali deformasyon öncesinde bir çok dislokasyon barındırdığı için sürekli bir akma davranışı gösterir (Li ve ark., 2015; Basoeki, 2018). Fakat uygulanan temperleme işlemi ile birlikte bu dislokasyonların dağılması, süresiz akma davranışının görülmesine neden olacaktır. Kamp ve ark. (Kamp, Celotto ve Hanlon, 2012), DP çeliğine uygulamış oldukları temperleme işleminde çeliğin süresiz bir akma davranışı göstermeye başladığını not etmişlerdir. Şekil 4'de gösterilen çekme testi eğrilerinde çeliğin tüm durumlarda sürekli akma gösterdiği görülmektedir. Bu durumda uygulanan 75 °C sıcaklığın DP çelik yapısındaki dislokasyonların dağılması için yeterli bir sıcaklık olmadığı anlaşılmaktadır. Şekil 5'de gösterildiği üzere, 375 °C sıcaklığın ise DP çelik yapısındaki dislokasyonların dağılması için yeterli olduğu ve bu sebeple çeliğin süresiz bir akma gösterdiği anlaşılmaktadır. Şekil 6. ve Şekil 7.'de sırasıyla 75 °C ve 375 °C uygulanan temperleme işlemi neticesinde çekme testleri sonucunda elde edilen % uzama değerleri gösterilmiştir. Her iki sıcaklık seviyesi içinde uygulanan temperleme işlemi ile birlikte % uzama değerlerinde ciddi bir değişim görülmemiştir. 75 °C'de temperleme neticesinde DP600 çeliğin % uzama değerlerindeki değişim 300s, 900s, 1800s ve 3600s için sırasıyla %3,90, %2,73, %3,90 ve %2,73 olarak elde edilmiştir. 375 °C'de temperleme neticesinde bu değerler sırasıyla %1,95, %-0,39, %0,39 ve %2,34 olarak elde edilmiştir. Şekil 8. Ve Şekil 9.'da temperleme işlemi neticesinde DP600 çeliğin çekme mukavemeti üzerindeki etkisi gösterilmiştir. 75 °C'de temperleme neticesinde DP600 çeliğin çekme mukavemetinde önemli bir değişim gözlemlenmezken, 375 °C'de temperleme işleminde süreye bağlı olarak çekme mukavemetinde önemli bir değişim meydana geldiği görülmüştür. 375 °C'de çeliğin 300s temperlenmesi, çeliğin mukavemetinde bir düşüşe sebep olmazken, temperleme süresinin artması ile birlikte, 3600s'ye kadar çekme mukavemetinin lineer bir şekilde düştüğü gözlemlenmiştir. 375 °C'de uygulanan temperleme işlemi neticesinde, yapıda bulunan martenzit fazının temperlenmesi, bu düşüşün temel sebeplerinden birisi olabilir. Şen ve ark. (Sen ve Civek, 2022), DP600 ve DP800 çelikleriyle ilgili uygulamış oldukları ılık sıcaklık çekme testlerinde de mukavemet değerlerinin 375 °C sıcaklıktan itibaren düşmeye başladığını gözlemlemişlerdir. 75 °C'de maksimum çekme mukavemetindeki düşüş

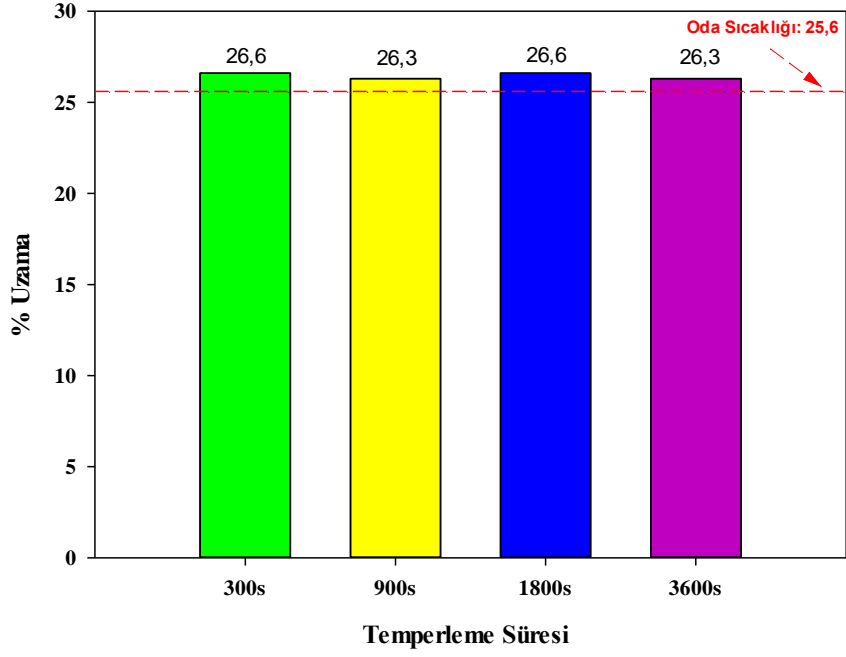
%1,36 olarak kaydedilirken, 375 °C'de çekme mukavemetindeki maksimum düşüş 3600s bekleme süresinde %10,59 olarak kaydedilmiştir.



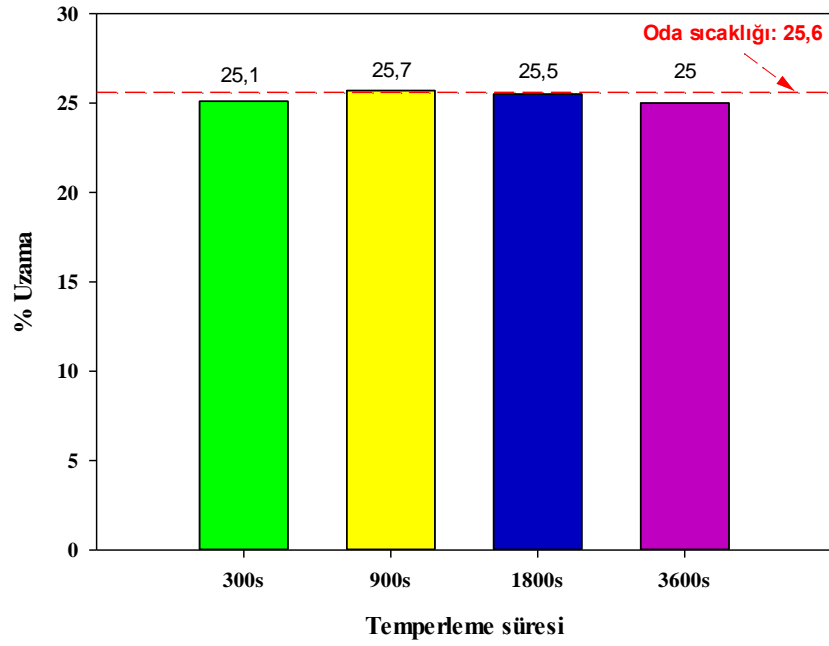
Şekil 4. 75 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin çekme testi grafiği



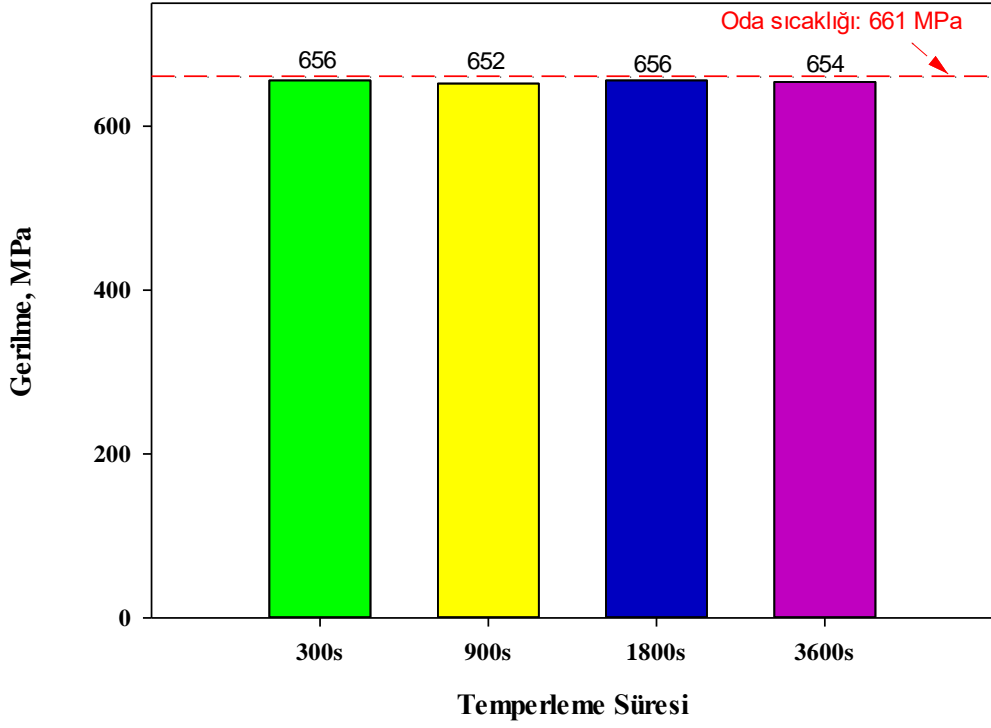
Şekil 5. 375 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin çekme testi grafiği



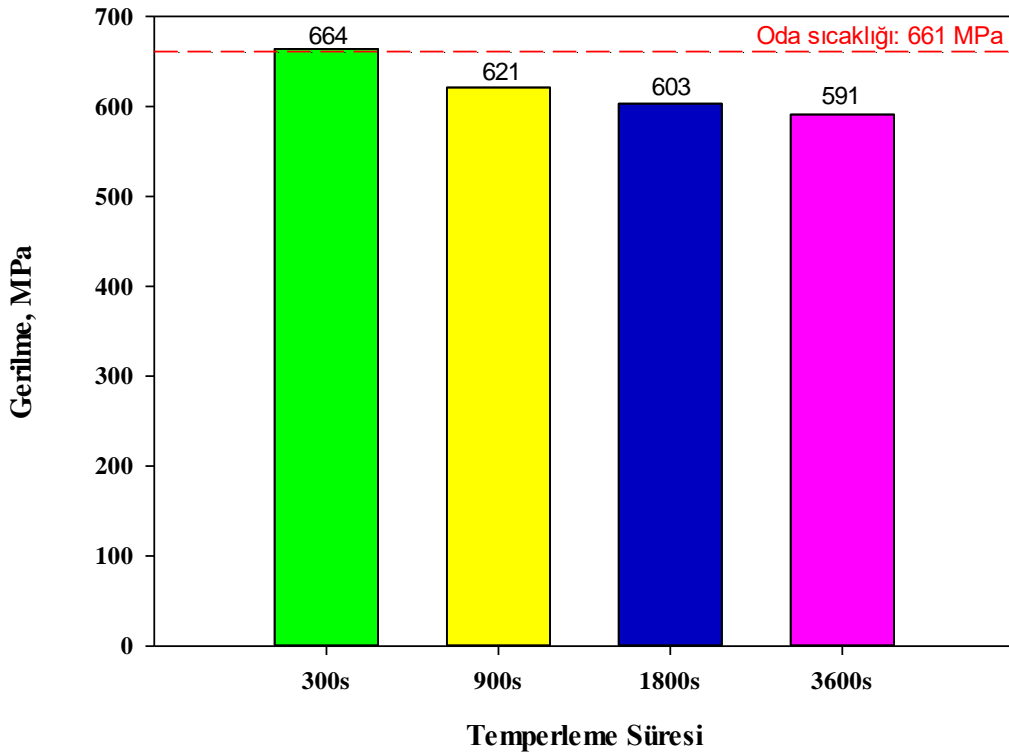
Şekil 6. 75 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin % uzama değerlerindeki değişim



Şekil 7. 375 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin % uzama değerlerindeki değişim



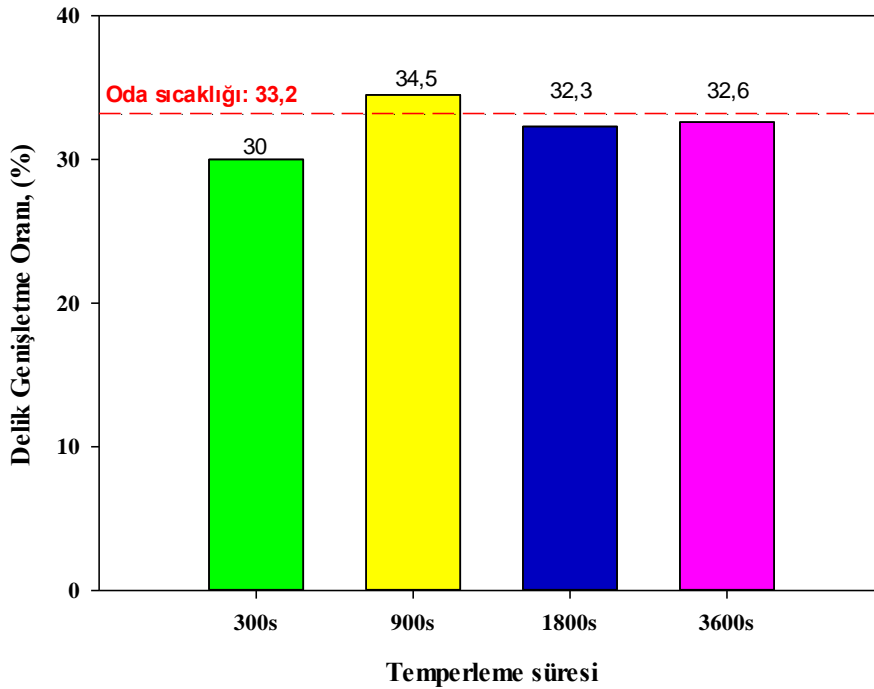
Şekil 8. 75 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin çekme gerilmesi değerlerindeki değişim



Şekil 9. 375 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin çekme gerilmesi değerlerindeki değişim

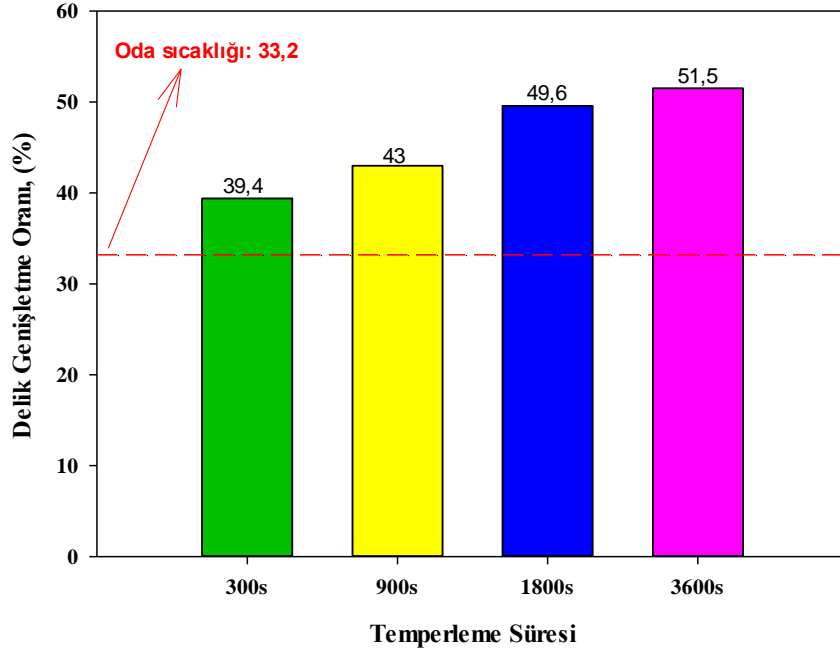
### B. Temperleme Uygulamasının Delik Genişletme Oranına Olan Etkisi

DP çeliklerin mikroyapısında bulunan ferrit ve martenzit yapıların arasındaki yüksek sertlik farkı bu çeliklerin şekillendirilmesi sırasında kenar yırtılma problemlerinin karşılaşılmasına sebep olmaktadır. İki yapı arasındaki sertliğin düşürülmesi, bir başka ifade ile daha homojen bir yapının elde edilmesi sağlanarak bu problem bir miktar azaltılabilmektedir (Terrazas, Findley ve Van Tyne, 2017). Şekil 10. ve Şekil 11.'de sırasıyla 75 °C ve 375 °C'de farklı bekleme sürelerinde uygulanan temperleme işlemi neticesinde delik genişletme testlerinde elde edilen delik genişletme oranları gösterilmiştir. Şekil 10'da görüldüğü üzere, 75 °C'de uygulanan temperleme işleminin DP600 çeliğin delik genişletme oranına önemli bir etkisi olmamıştır. Temperleme işlemi neticesinde delik genişletme oranının yaklaşık %32,3 değerinde bir değişim gösterdiği görülmüştür. 375 °C'de ise bekleme süresinin artması ile birlikte delik genişletme oranında da lineer bir artışın meydana geldiği görülmüştür. 375 °C'de çeliğin 3600s temperlenmesi sonucunda delik genişletme oranının %51,50 olarak elde edildiği görülmüş ve oda sıcaklığı değerine göre (%33,2) delik genişletme oranının %55,12 artış gösterdiği anlaşılmıştır. Elde edilen bu durumun sebebi, çeliğin temperleme işlemi neticesinde elde edilen çekme mukavemeti değerleri kıyaslandığında anlaşılabilir. Şekil 8.'de gösterildiği gibi 75 °C'de DP600 çeliğinin çekme mukavemetinde önemli bir değişim meydana gelmemekle birlikte, 375 °C'de ise bekleme süresine dayalı olarak çeliğin çekme mukavemetinde düşüş meydana geldiği gözlemlenmiştir. 75 °C sıcaklık, çeliğin martenzit yapısında yeterli temperleme etkisini oluşturamamış olurken, 375 °C sıcaklıkta bekleme süresine dayalı olarak martenzit yapısının temperlendiği ve buna dayalı olarak da çekme mukavemetinde düşüş (maksimum %10,59) ve delik genişletme oranında artış (maksimum %55,12) meydana gelmiş olabilir.



Şekil 10. 75 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin delik genişletme oranlarındaki değişim





Şekil 11. 375 °C'de farklı sürelerde temperlenen DP600 çeliğinin delik genişletme oranlarındaki değişim

#### IV. ÇIKARIM (CONCLUSION)

Bu çalışmada DP600 çeliğine 75 °C ve 375 °C'de 300s, 900s, 1800s ve 3600s süre ile temperleme işlemi uygulanmıştır. Temperlenen DP600 çeliğinin mekanik özellikleri çekme testi ile incelenmiş ve temperlenen DP600 çeliğin kenar yırtılma hassasiyeti delik genişletme testi uygulanılarak araştırılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen çıkarımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Çekme testi sonuçlarına göre 75 °C'de temperlenen DP600 çeliğin çekme mukavemeti değerlerinde herhangi bir değişim görülmemiştir.
- Çekme testi sonuçlarına göre 375 °C'de temperlenen DP600 çeliğin çekme mukavemeti değerlerinde, temperlenme süresine dayalı olarak düşüş gözlemlenmiştir.
- Çekme mukavemetindeki maksimum düşüş (%10,56) çeliğin 375 °C'de 3600s süreyle temperlenmesi sonucu meydana gelmiştir.
- Her iki sıcaklık seviyesi için de, çeliğin % uzama değerlerinde önemli bir değişim görülmemiştir.
- 75 °C'de temperlenen DP600 çeliğinin delik genişletme oranlarında herhangi bir değişim görülmezken, 375 °C'de temperlenen DP600 çeliğin, temperlenme süresine dayalı olarak artış göstermiştir.
- Delik genişletme oranında maksimum artış (%55,12) DP600 çeliğinin 375 °C'de 3600s boyunca temperlenmesi neticesinde gerçekleşmiştir.

#### KAYNAKLAR

- Azuma, M. ve ark. (2012) 'Effect of hardness of martensite ve ferrite on void formation in dual phase steel', *Materials Science ve Technology (United Kingdom)*, 28(9-10), 1092-1100.
- Balisetty, V., Chakkingal, U. ve Venugopal, S. (2021) 'Evaluation of stretch flangeability of dual-phase steels by hole expansion test', *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 114(1-2), 205-217.
- Basoeki, P. D. (2018) 'Effects of DP steel microstructure on the disappearance of discontinuous yielding', *MATEC Web of Conferences*, 204, 1-8.
- Bayramin, B., Şimşir, C. ve Efe, M. (2017) 'Dynamic strain aging in DP steels at forming relevant strain rates ve temperatures', *Materials Science ve Engineering A*, 704(July), 164-172.
- Chen, C. Y. ve ark. (2020) 'A novel technique for developing a dual-phase steel with a lower strength difference between ferrite ve martensite', *Materials Today Communications*, 23(January), 100895.

- Cora, Ö. N. ve Koç, M. (2014) 'Promises ve Problems of Ultra/Advanced High Strength Steel (U/AHSS) Utilization in Automotive Industry', *7th Automotive Technologies Congress (OTEKON 2014)*, (May), 1–8.
- Demeri, M. Y. (2013) *Advanced High-strength Steels: Science, Technology, ve Applications*. 1st edn. Ohio: ASM International.
- Gao, B. ve ark. (2019) 'A high-strength heterogeneous structural dual-phase steel', *Journal of Materials Science*, 54(19), 12898–12910.
- Guerrero, L. M. ve ark. (2021) 'Strategies to increase austenite FCC relative phase stability in High-Mn steels', *Journal of Alloys ve Compounds*, 854, 156971.
- Hance, B. M., Comstock, R. J. ve Scherrer, D. K. (2013) 'The influence of edge preparation method on the hole expansion performance of automotive sheet steels', *SAE Technical Papers*, 2.
- Hu, J. ve ark. (2013) 'Microstructures ve mechanical properties of a new as-hot-rolled high-strength DP steel subjected to different cooling schedules', *Metallurgical ve Materials Transactions A: Physical Metallurgy ve Materials Science*, 44(11), 4937–4947.
- Kamp, A., Celotto, S. ve Hanlon, D. N. (2012) 'Effects of tempering on the mechanical properties of high strength dual-phase steels', *Materials Science ve Engineering: A*, 538, 35–41.
- Karelova, A. ve ark. (2009) 'Hole expansion of dual-phase ve complex-phase AHS steels - Effect of edge conditions', *Steel Research International*, 80(1).
- Keeler, S., Kimchi, M. ve Mooney, P. J. (2017) 'Advanced High-Strength Steels Guidelines Version 6.0', *WorldAutoSteel*, (September), p. 314. Available at: <https://www.worldautosteel.org/projects/advanced-high-strength-steel-application-guidelines/>.
- Kundu, A. ve Field, D. P. (2016) 'Influence of plastic deformation heterogeneity on development of geometrically necessary dislocation density in dual phase steel', *Materials Science ve Engineering: A*, 667, 435–443.
- LeventSelova OktayÇavuşoğlu, ÇiğdemDindar, HakanAydın, O. (2023) 'Elektrik direnç punta kaynağı ile üçlü birleştirilen FEP05/DP600/FEP05 çelik saclarda kaynak parametrelerinin mekanik özelliklere ve mikroyapı üzerindeki etkilerin araştırılması', *Journal*, 39(2), 835–846.
- Li, C. S. ve ark. (2015) 'Microstructure ve mechanical properties of dual phase strip steel in the overaging process of continuous annealing', *Materials Science ve Engineering: A*, 627, 281–289.
- Mallick, P. K. (2010) *Materials, design ve manufacturing for lightweight vehicles*, *Materials, Design ve Manufacturing for Lightweight Vehicles*. Woodhead Publishing Limited. doi: 10.1533/9781845697822.
- Mirhosseini, S. ve ark. (2022) 'Effect of temperature ve heat generation on martensitic phase transformation in DH steels', 14(January). doi: 10.1016/j.rinma.2022.100281.
- Moyer, J. M. ve ANSELL, G. S. (1975) 'The Volume Expansion Accompanying the Martensite Transformation in Iron-Carbon Alloys', *Metallurgical Transactions A*, 6(September), 1785–1791.
- Queiroz, R. R. U., Cunha, F. G. G. ve Gonzalez, B. M. (2012) 'Study of dynamic strain aging in dual phase steel', *Materials Science ve Engineering A*, 543, 84–87.
- Sen, N. ve Civek, T. (2022a) 'Detailed deformation behaviour analysis of DP steels at warm forming temperatures via warm tensile tests', *Ironmaking & Steelmaking*, 49(6), 604–614.
- Sen, N. ve Civek, T. (2022b) 'Detailed deformation behaviour analysis of DP steels at warm forming temperatures via warm tensile tests Detailed deformation behaviour analysis of DP steels at warm forming temperatures via warm tensile tests', *Ironmaking & Steelmaking*, 1–11.
- Şen, N., Helimergin, F. ve Taşdemir, V. (2021) 'Effects of fine blanking process on cutting surfaces of high-strength DP600 ve DP800 sheets', *Ironmaking ve Steelmaking*, 48(9), 1083–1088.
- Senuma, T. (2001) 'Physical Metallurgy of Modern High Strength Steel Sheets', *ISIJ International*, 41(6), 520–532.
- Terrazas, O. R., Findley, K. O. ve Van Tyne, C. J. (2017) 'Influence of martensite morphology on sheared-edge formability of dual-phase steels', *ISIJ International*, 57(5), 937–944.
- Tisza, M. (2021) 'Development of Advanced High Strength Automotive Steels', *Acta Materialia Transylvanica*, 4(1), 9–17.
- Xu, L. ve ark. (2012) 'Hole expansion of dual phase steels', *WIT Transactions on the Built Environment*, 124, 75–83.

Araştırma Makalesi

## **Türksat 3A Uydu Proje Kapsamında Türksat Teknoloji Transfer Programı**

Murat Bulut<sup>a,\*</sup>, Nedim Sözbir<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

<sup>b</sup>Düzce Üniversitesi, Rektör, Düzce/Türkiye.

\*Sorumlu Yazar: [muratbulut@duzce.edu.tr](mailto:muratbulut@duzce.edu.tr)

### **ÖZET**

Türkiye uydu işletmeci olma kararını 1989 yılında ilk defa haberleşme uydusu satın almak için ihaleye çıkarak yapmıştır. 1994 yılında Türksat 1A uydusunun fırlatılmasından 2006 yılında Türksat 3A uydu üretimine kadar uydular satın alınmakla birlikte teknoloji transferi yapılmamıştır. Türksat 3A projesi kapsamında ilk defa uydu teknoloji transferi programı TÜRKSAT ile Alcatel Alenia Space arasında anlaşma yapılarak başlamıştır. Türksat Teknoloji Transfer Programı (TTTP) çerçevesinde Fransa'da üretilen Türksat 3A uydu üretim projesine 16 mühendis katılım sağlamıştır. TÜRKSAT 3A projesi kapsamında yerli haberleşme uydusu tasarım projesi olan TUSAT'a başlanmıştır. TUSAT haberleşme uydusu tasarımı (Ön Tasarım İncelemesi (PDR düzeyi)) 2012 yılında tamamlanmıştır. Bu çalışmada, TTTP'de yapılan çalışmalar ve bu çalışmalar sonrası ülkemizde hali hazırda uydu teknolojileri konusundaki TTTP'nin katkıları hakkında bilgiler verilecektir.

**Anahtar Kelimeler:** *Teknoloji Transferi Programı, Türksat 3A, Uydu Teknolojileri.*

## **Türksat Technology Transfer Program within the Scope of Türksat 3A Satellite Project**

### **ABSTRACT**

Turkey made its decision to become a satellite operator in 1989 by holding a tender to purchase communications satellites for the first time. Although satellites were purchased from the launch of the Türksat 1A satellite in 1994 until the production of the Türksat3A satellite in 2006, no technology transfer was made. Within the scope of the Türksat 3A project, the first satellite technology transfer program started with an agreement between TÜRKSAT and Alcatel Alenia Space. 16 engineers participated in the Türksat3A satellite production project, produced in France, within the framework of the Türksat Technology Transfer Program (TTTP). TUSAT, a domestic communication satellite design project, was started within the scope of the TÜRKSAT 3A project. TUSAT communication satellite design (Preliminary Design Review (PDR level)) was completed in 2012. In this study, information will be given about the studies carried out in TTTP and the contributions of these studies to satellite technologies in our country.

**Keywords:** *Satellite Technologies, Technology Transfer Program, Türksat 3A,*

### **I. GİRİŞ (INTRODUCTION)**

4 Ekim 1957 yılında Ruslar uzaya Sputnik 1 yapay uydusunu yolladıktan sonra uzaya yapay uydu gönderme hayali gerçek olmuş oldu. Sputnik 1 uydusunun ağırlığı 86.7 kg'dı. Ardından 30 gün sonra 3 Kasım 1957 yılında yaklaşık yarım tona yakın Sputnik 2 yapay uydusu Ruslar tarafından uzaya yollandı. Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Rusya'nın göndermiş olduğu 2 yapay uyduya karşılık 31 Ocak 1958 yılında Explorer 1 uydusu ile karşılık verdi. Explorer 1 uydusunun ağırlığı 14 kg'dı. Sputnik ve Explorer

yapay uyduların uzaya fırlatılması ile uzayda büyük bir yarış Rusya ve Amerika arasında başlamış oldu. Bu yarışa uzayda daha sonra diğer ülkeler tarafından da devam edildi. Bu yarışa Fransa, Japonya, Çin, Hindistan, İsrail, İran, Kuzey Kore ve en son olarak da Türkiye eklendi.

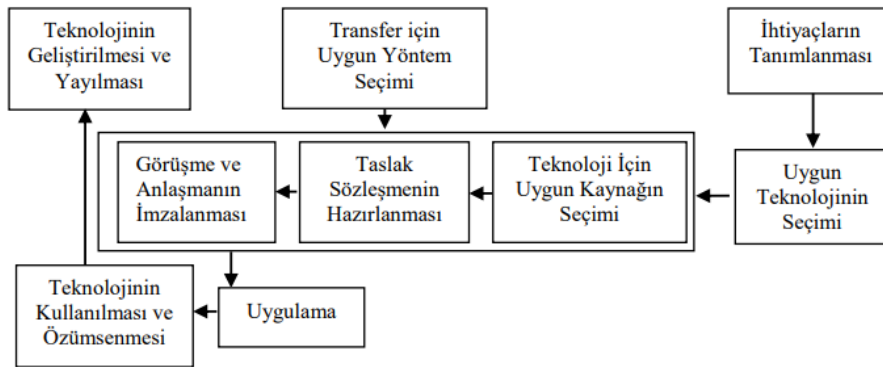
Türkiye'nin uydu ile tanışması 21 Aralık 1990 yılında Fransız Aerospatiale firması ile haberleşme uydusu yapılması ile başlamıştı. 24 Ocak 1994 yılında Türksat 1A uydusunun fırlatılması gerçekleştirilmişti. Ancak arıza nedeni ile uydu okyanusa düşmüştü. Daha sonra Türksat 1B uydusu 11 Ağustos 1994'te fırlatılmış ardından 10 Temmuz 1996'da Türksat 1C uydusu fırlatılmıştır. Türksat 1C uydusu Türksat 1A'nın yerine fırlatılmıştı. 11 Ocak 2001 tarihinde Türksat 2A (Eurasat 1) uydusu fırlatılmıştı. 13 Haziran 2008 tarihinde Türksat 3A uydusu fırlatılmıştı. Türksat 1A, Türksat 1B, Türksat 1C, Türksat 2A ve Türksat 3A uyduları Fransız firması eski adı Aerospatiale ve Alcatel Alenia Space (AAS) yeni adı ile Thales Alenia Space (TAS) tarafından üretilmişti. Türksat AŞ firmasına ait Türksat 1A, Türksat 1B, Türksat 1C, Türksat 2A ve Türksat 3A uydularının tamamı Fransız Guyana'dan Ariane roketleri ile uzaya gönderilmişti. Türksat 3A uydu projesine kadar haberleşme uyduları üzerine teknoloji transferi konusunda herhangi bir çalışma yapılmamıştı.

Bu çalışmada Türkiye'de uydu yapım sürecini öğrenmek ve bağımsız haberleşme uydusu yapabilmek yeteneğini kazanabilmek amacı ile Türksat 3A uydu projesi kapsamında Türksat Teknoloji Transfer Programı hakkında bilgiler ve kazanılmış tecrübeler paylaşılacaktır.

## II. TEKNOLOJİ TRANSFERİ

Bir ülkenin gelişmişlik seviyesinin en önemli göstergelerinden bir tanesi o ülkenin sahip olduğu teknolojik yetenek kapasitesidir. Teknoloji olarak güçlü olan ülkeler, sahip oldukları teknolojiyi ekonomik güce çevirmekte ve bu teknolojik güç ülkenin dünyada politik ve askeri olarak otorite olmasına yansımaktadır. Uzay sanayi günümüzde ileri teknolojinin en yoğun kullanıldığı alanlardan birisidir. Gelişmemiş ülkeler uzay konusunda ileri teknolojiye sahip olan ülkelere yetişmek için teknoloji transferine ihtiyaç duymaktadır.

Teknoloji transferi, ihtiyaç duyulan teknolojilere yenilikçi yöntemler ile en kısa süre ile gelişmiş ülkelerin teknolojik seviyelerine ulaşabilmenin en hızlı ve etkili yöntemlerindedir [Mohammad ve ark., 2011]. Ayrıca daha önce üretilmiş ve test edilmiş olan bir teknolojinin transfer edilmesi, aynı teknolojinin yeni baştan geliştirilmesi sonucu ortaya çıkacak olan başarısızlıklar ve riskler ile karşı karşıya kalmama yöntemidir [Cohen, 2004]. Teknoloji transfer süreci transfer edilecek olunacak olan teknolojinin karmaşıklığını, teknolojiyi alacakların öğrenme yeteneğini ve vericinin öğretme yeteneğinin yer aldığı karmaşık yapıyı ifade etmektedir [Lee ve ark., 2010]. Teknoloji transfer adımlarının ve transfer için en uygun yöntem seçiminin bu adımların hangileriyle iç içe olduğu Şekil 1'de görüldüğü gibi açıklanmıştır [Selami ve Reavil, 1997].



Şekil 1. Teknoloji transfer süreci [Selami ve Reavil, 1997].

Teknoloji transfer yöntemi, genel olarak transferi gerçekleştirilmek teknolojinin vericilerden alıcılara geçişlerini sağlamakta olan transfer öncesi tanımlanmış faaliyetlerin tamamıdır [Madani ve Radfar, 2009]. Bu faaliyetler, organizasyonların ihtiyaçları, teknolojinin içeriği, alıcı ve vericinin özelliklerine göre her yöntem için farklılık göstermektedir. Teknoloji transfer yöntemleri Tablo 1'de görülmektedir.

Tablo 1. Teknoloji transfer yöntemleri [Moradian ve ark., 2020; Kiper, 2004].

Satın alma (ekipman veya know-how)	Bilimsel ve teknik personel değişimi
Lisanslama ve know-how anlaşmaları	İnsan kaynakları dolaşımı
Franchising	Konferanslar, fuarlar, ticari tanıtımlar, kişisel ilişkiler
Doğrudan yabancı yatırımlar	Eğitim ve öğretim
Anahtar teslim projeler (Turn Key Project)	Ticari ziyaretler
Ortak girişim (Joint Venture) anlaşmaları	Şirket satın alma ve birleşmeleri
Tedarik ilişkileri ve anlaşmaları	Açık literatür (kamu bilgisi)
ARGE işbirlikleri	Tersine mühendislik
Üniversite-sanayi iş birliği	Endüstriyel casusluk

Seçilmek istenen teknoloji transfer modelinin konusu, politik, sosyal, yönetsel ve ülkenin kendi ulusal konuları ile iç içe olması ile birlikte birçok faktörden de etkilenmektedir [Moradian ve ark., 2010]. Teknoloji transfer yöntemi seçimi konusunda yapılan diğer bir çalışmada, teknoloji transfer yöntemlerinin tamamı için seçimdeki kararları etkileyen sektörlerden bağımsız genel kriterler sıra ile maliyet, süre, kalite, risk, ölçek ve bağımlılık olarak belirtilmiştir [Karakaya, 2009]. Tablo 2’de teknoloji transfer yöntemi seçim kriterleri yer almaktadır [Eren ve ark., 2015].

Tablo 2. Teknoloji transfer [Eren ve ark., 2015].

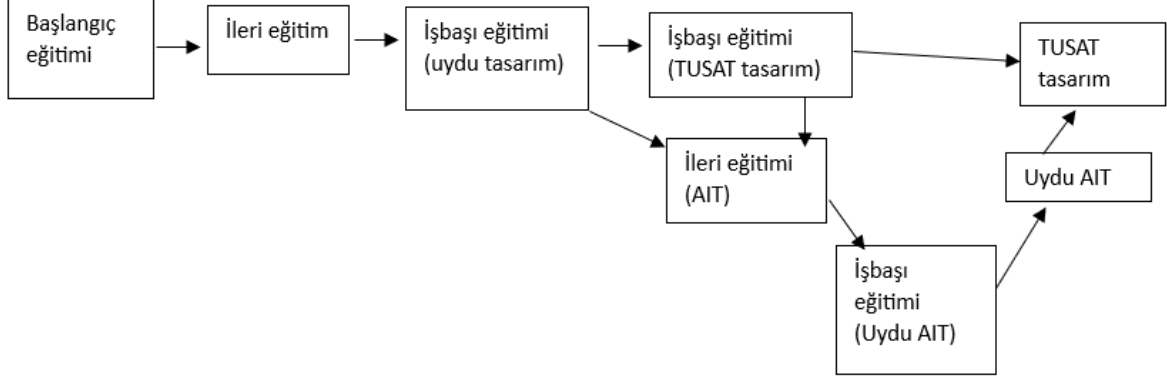
Genel Seçim Kriterleri	Açıklama
İşbirliğinin kapsamını belirleyebilme yeteneği	Teknoloji sağlayıcı ve alıcı arasında, transfer sürecinde kurulması arzulanan iş birliğindeki karar katkı derecesi
Yatırım ihtiyacı veya maliyet	Transfer edilen teknoloji ve transfer metodunun maliyeti
Firmanın sahiplik derecesi	Teknoloji alıcısının, transfer edilen teknolojiye hangi oranda sahip olabildiği
Teknoloji edinim hızı	İhtiyaç duyulan teknolojinin transfer edinilme aciliyeti
Risk seviyesi	Teknoloji transferinin başarı/başarısızlık riski
Teknoloji edinim seviyesi (bağımlılık)	Teknolojinin alıcı tarafından ne kadarına sahip olunacağı oranı
Teknoloji değişimlerine uyum seviyesi	Transfer edilen teknolojinin yeni teknolojilerle uyum derecesi

### III. TÜRK SAT 3A TEKNOLOJİ TRANSFER PROGRAMI (TTTP)

TÜRK SAT, Eylül 2006 yılında Fransa’da Alcatel Alenia Space’e (yeni adı ile Thales Alenia Space-TAS) gönderdiği 16 kişilik ekibiyle TÜRK SAT-3A teknoloji transfer programına adım atmıştır. TÜRK SAT AŞ tarafından gerçekleştirilen ilk teknoloji transferi programıdır. Program TAS’ın iki farklı yerleşkesinde gerçekleşmiştir. Toulouse Yerleşkesi’nde 5 faydalı yük mühendisi (payload engineers) Cannes Yerleşkesi’nde 11 platform mühendisi (platform engineers) yer almıştır. TAS ekibi tarafında sırası ile Türksat3A Program Müdürü (Program Manager), TTTP Müdürü (TTTP Manager), Lojistik Müdürü (Logistics Manager), Eğitici Müdür (Tutorial Manager) ve Türksat 3A Program Sekreteri (Program Secretary) görevlendirilmiştir.

TTTP’nin amacı Türkiye’de ileride yapılacak olan haberleşme ve gözlem uydularının tasarım, analiz, montaj, entegrasyon ve test süreçleri için bilgi birikimi elde etmektir. Türksat AŞ, bu amaca ulaşılmasına yardımcı olabilmek adına tasarım ve analiz eğitimlerinin alınması için 16 mühendisi Türksat 3A uydusunun fırlatılmasına kadar TTTP program çerçevesinde görevlendirmişti. TTTP teorik ve pratik eğitimler olarak planlanmıştı ve eğitimlerde konusunda uzman Fransız mühendisler ile çalışmalar yapılmıştı. Eğitimlerini tamamlayan Türksat AŞ mühendislerinden bir kısmı Türkiye’ye dönüp TUSAT adı altında haberleşme uydusu tasarımını gerçekleştirecekti. TUSAT uydusu şu anda ülkemizde yerli ve milli haberleşme uydusu Türksat 6A uydusunun temellerini oluşturmuştur. 16 mühendisin kendi konuları ile ilgili alanlarda çalışmaları Şekil 2’de yer alan TAS’ta belirlenen eğitim yol haritası (training road map) ile devam etmiştir. Öncelikle Cannes şehrinde 22 uzman mühendis eğitimleri (Introduction Training-IT)

almıştır. İleri eğitime (Advanced Training-AT) 16 TTTP ekibi ile devam edilmiştir. Başlangıç ve ileri eğitim tamamlandıktan sonra işbaşı eğitimleri uydu tasarımı (On the job training-OJT on satellite design) olmak üzere eğitimlere devam edilmiştir. Sonrasında eğitimler işbaşı eğitimi TUSAT tasarımı, ileri eğitim AIT (Assembly Integration and Test), işbaşı eğitimi uydu AIT, uydu AIT ve en son olarak TUSAT tasarım şeklinde tamamlanmıştır.



Şekil 2. Türksat 3A TTTP teorik ve işbaşı eğitim iş akış diyagramı [TTTP TURKSAT 3A, 2006].

Eğitimler iki modülden oluşmaktaydı. İlk modül başlangıç eğitimi (Introduction-I) modülü olarak planlanmıştır. Bu modülü 16 mühendis Cannes Fransa’da sınıf içi eğitimi olarak almıştır. Bu modülü ayrıca Türksat 3A uydu projesini takip eden izleme ekibinde (monitoring team) yer alan 1 program müdürü ve 5 uzman mühendis de almıştır. Toplamda başlangıç eğitimi 22 uzman mühendis tarafından alınmıştır. Eğitime ait bilgiler Tablo 3’te yer almaktadır.

Tablo 3. Türksat 3A TTTP başlangıç eğitim modülü [TTTP TURKSAT 3A, 2006].

No	Ders	Süre (gün)	Yer	Kişi sayısı	Tarihler
I-1	AAS sunumu ve fabrika ziyareti (AAS presentation and site visit)	0.5	Cannes	22	6 Eylül 2006
I-2	TK 3 programına giriş (Introduction to TKS 3 program)	0.5	Cannes	22	6 Eylül 2006
I-3	Faydalı yük (Payload)	1	Cannes	22	7 Eylül 2006
I-4	Görev analizi (Mission analysis)	0.5	Cannes	22	8 Eylül 2006
I-5	Uzay ortamı (Space environment)	0.25	Cannes	22	11 Eylül 2006
I-6	Uydu operasyonu (Satellite operation)	0.5	Cannes	22	8 Eylül 2006
I-7	Fırlatma hizmetleri (Launch services)	0.5	Cannes	22	11 Eylül 2006
I-8	Güvenirlilik (Reliability)	0.25	Cannes	22	11 Eylül 2006
I-9	Mekanik mimari (Mechanical architecture)	0.5	Cannes	22	12 Eylül 2006
I-10	Isıl mimari (Thermal architecture)	0.5	Cannes	22	12 Eylül 2006
I-11	Dinamik ve uçuş kontrolü (Dynamics and flight control)	1	Cannes	22	13 Eylül 2006
I-12	İtki (Propulsion)	0.5	Cannes	22	14 Eylül 2006
I-13	Aviyonik (Avionics)	1.25	Cannes	22	14-15 Eylül 2006
I-14	Yüksek güvenilirliğe sahip bileşenler (High reliability components)	0.25	Cannes	22	15 Eylül 2006
I-15	Uydu entegrasyonu ve test (Satellite integration and test)	1	Cannes	22	18 Eylül 2006
I-16	Kalite güvencesi (Quality assurance)	0.5	Cannes	22	19 Eylül 2006
I-17	Uydu mühendisliği süreci, araçları ve teknikleri (Satellite engineering process, tool and techniques)	0.5	Cannes	22	19 Eylül 2006

Eğitimin ikinci modülü ileri eğitim modülü (Advanced-A) olarak alınmıştır. Bu eğitim modülü sadece Türksat 3A TTTP ekibini oluşturan 16 mühendis tarafından alınmıştır. Bu eğitimde her mühendis kendi uzmanlık alanında eğitimleri yine kendi uzmanlık alanında olan Fransız mühendislerden almıştır. İleri eğitim modülüne ait bilgiler Tablo 4’te yer almaktadır.

Tablo 4. Türksat 3A TTTP ileri eğitim modülü [TTTP TURKSAT 3A, 2006].

No	Ders	Süre (gün)	Yer	Kişi sayısı	Tarihler
A-1	Uzay programı yönetimi (Space program management)	5	Cannes	2	18-24 Ekim 2006
A-2	Uydu operasyonları ve yörüngede test (Satellite operations and In-orbit test-IOT)	5	Cannes	2	25-31 Ekim 2006
A-3	Fırlatma hizmetleri (Launch services)	3	Cannes	2	2-6 Kasım 2006
A-4	Ürün güvencesi (Product assurance)	5	Cannes	2	7-13 Kasım 2006
A-5	Radyasyon uyumlu tasarım ve analiz (Radiation compatible design& analysis)	5	Toulouse	5	21-27 Eylül 2006
A-6	Isıl tasarım ve analiz (Thermal design & analysis)	10	Cannes	2	20 Eylül-3 Ekim 2006
A-7	Mekanik tasarım ve analiz (Mechanical design & analysis)	10	Cannes	2	20 Eylül-3 Ekim 2006
A-8	İtki tasarımı ve analizi (Propulsion design & analysis)	10	Cannes	2	4-17 Ekim 2006
A-9	Güç üretimi, dağıtımı, depolama tasarımı ve analizi (Power production, distribution, storage design & analysis)	5	Cannes	3	20-26 Eylül 2006
A-10	Elektromanyetik uyumluluk ve koruması (Electro-magnetic compability (EMC) and EMC shielding)	3	Cannes	3	27-29 Eylül 2006
A-11	Haberleşme detaylı tasarımı (Communication detailed design)	10	Toulouse	4	28 Eylül-11 Ekim 2006
A-12	Tekrarlayıcı ve antenlerin detaylı tasarımı (Repeater & Antennas detailed design)	5	Toulouse	4	12-18 Ekim 2006
A-13	Yönelim belirleme kontrol sisteminin ve yerleşik yazılımın detaylı tasarımı ve analizi (Attitude determination and control system-ADCS and on board software-OBSW detailed design & analysis)	10	Cannes	3	20 Eylül- 3 Ekim 2006
A-14	Görev analizi (Mission analysis)	5	Cannes	2	20-26 Eylül 2006
A-15	Cannes montaj entegrasyon ve test yönetimi, organizasyonu ve planlaması (Cannes AIT management, organisation & planning)	2	Cannes	9	18-19 Haziran 2007
A-16	Cannes montaj entegrasyon test elektrik destek ve mekanik destek ekipmanları detaylı tanımı ve listesi (Cannes AIT Electrical ground support equipment-EGSE & Mechanical ground support equipment-MGSE detailed description & list)	3	Cannes	9	20-22 Haziran 2007
A-17	Uydu bütçesi ve analizi (Satellite budgets & analyses)	5	Cannes	2	27 Eylül -3 Ekim 2006
A-18	Cannes montaj entegrasyon ve test tesisi detaylı açıklaması, bakım arayüzleri ve güvenlik yönetimi (Cannes AIT facility detailed decription, maintenance interfaces, safety management)	5	Cannes	2	11-15 Haziran 2007
A-19	Toulouse montaj, entegrasyon ve test yönetimi, organizasyonu ve planlaması (Toulouse AIT management, organisation & planning)	0.5	Toulouse	2	24 Ocak 2007
A-20	Güneş jeneratörü montaj entegrasyon ve test yönetimi, organizasyonu (Solar generator AIT management, organisation)	0.5	Cannes	1	4 Nisan 2007

Başlangıç ve ileri eğitimlerin tamamlanması sonrasında işbaşı eğitimler (On the job training-OJT) alınmıştır. Bu eğitim sürecinde uzmanlık alanlarına ayrılan Türksat uzman mühendisleri Fransız mühendisler ile birebir iş başı eğitimlerini TAS'ın tahsis etmiş olduğu genellikle ilgili Fransız uzman mühendislerinin ofislerinde veya ofislere yakın olacak başka bir yerde eğitimlere devam etmiştir. İşbaşı eğitimler ile ilgili bilgiler Tablo 5'te yer almaktadır. Tablo 5'te ayrıca 16 TTTP uzman mühendis

uzmanlık alanları ve dereceleri de yer almaktadır. 16 TTTP uzman mühendisin 7'si doktora (DR) derecesine, 7'si yüksek lisans (YL) derecesine ve 2'si lisans (L) derecesine sahiptir. 10'u Amerika'dan, 1'i Almanya'dan, 1'i Fransa'dan ve 4'ü Türkiye'den en son derecelerini almışlardır.

Tablo 5. Türksat 3A TTTP uzman mühendis ekibi ve işbaşı eğitim dağılımı

Sayı	Uzmanlık ve işbaşı eğitim dağılımı	Derece(ülke)
2	Isıl (Thermal)	YL (Amerika), DR (Türkiye)
3	Elektrik (Electrical)	YL (Amerika), YL (Almanya), YL (Fransa)
2	Aviyonik (Avionics)	YL (Amerika), L (Türkiye)
2	Sistem ve Misyon (System and Mission)	2 DR (Amerika)
5	Faydalı Yük (Payload)	3 DR (Amerika), YL (Amerika), L (Türkiye)
2	Mekanik ve İtki (Mechanical and Propulsion)	DR (Türkiye), YL (Amerika)

#### IV. UYDU VE UZAY TEKNOLOJİ TRANSFERİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR

Teknoloji transferinin doğru olarak gerçekleşmesi için teknoloji transferi sırasında önemli konuların dikkate alınması gerekmektedir. İlk öncelik, teknoloji transferinde yer alacak mühendislerin tamamının ileri düzeyde İngilizce (konuşma, dinleme, okuma, yazma) bilgisine sahip olması gerekir. Özellikle dinleme ve konuşma yönünden mühendislerin ileri seviyede olması beklenmektedir. Gidilecek ülkede İngilizce dilinden farklı bir dil kullanılıyorsa o dili bilen en az 1 veya 2 kişi kesinlikle olmalıdır. Türksat 3A TTTP programında eğitim Fransa'da olduğundan dolayı 16 kişilik ekipte İngilizce dili dışında 1 kişi Almanca, 1 kişi Fransızca dilini bilmekte idi. Teknoloji transfer program ekibi kurulurken mühendisler işe yeni alınmış ise bu mühendislerin kesinlikle teknoloji transferine gitmeden önce, gerekli eğitimlerin şirket içerisinde alınması sağlanmalıdır. Gidilecek olan ülkenin eğitim programı ve ders içerikleri ülkeye gitmeden alınmalı ve içerikler isteğe uygun düzenlenmelidir. Teknoloji transferi yapılacak konularda ilgili eğitim programına katılacak uygun mühendisler seçilmelidir. Gidilecek yerdeki lojistik işlemler önceden doğruca detaylı tanımlanmalıdır (ev, araba, ofis, güvenlik, sağlık, vb).

#### V. ÇIKARIM

Uzay teknolojilerinde teknoloji transferleri uzay alanında yeni çalışmalara başlayan ülkeler tarafından önem kazanmaktadır. Ülkemiz haberleşme uydularında teknoloji transferini ilk defa 2006 yılında Türksat 3A uydu programı çerçevesinde gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada Türksat 3A uydu projesi kapsamında gerçekleşen TTTP hakkında bilgiler verilmiştir. 16 uzman mühendis ile başlanan bu teknoloji transferi sonucunda direkt veya dolaylı olarak şu anda 1000'e yakın uzman mühendis/teknisyen/tekniker ülkemizde uydu teknolojileri alanında çalışmaktadır.

İnsan kaynağı dışında ülkemiz uydu üretimlerinin gerçekleştirileceği Kahramankazan Ankara TUSAŞ Yerleşkesi'nde TÜRKİSAT AŞ ve Savunma Sanayii Başkanlığı (SSB) finansmanı ile gerçekleştirilen eski adı ile Uydu, Montaj, Entegrasyon ve Test Merkezi (UMET) yeni adı ile Uzay Sistemleri Entegrasyon ve Test Merkezi'ne (USET) sahip olmuştur. Bu tesis sayesinde dünyada kendi uydusunu üreten ilk 10 ülke arasında yerini almıştır.

Ayrıca TTTP ekibinde yer alan uzman mühendisler tarafından TÜRKİSAT 6A Milli Haberleşme Uydusu Projesi Konsept Tasarım (TUSAT) gerçekleştirilmiştir. TÜBİTAK-KAMAG tarafından 1007 çağrısı ile Türksat 6A uydu projesi 15 Aralık 2014 tarihinde başlamış ve uydunun 2024 yılında fırlatılması planlanmaktadır.

#### TEŞEKKÜR

TÜRKİSAT AŞ'ye TTTP programına bizlerin katılımını sağladığı için teşekkür ediyoruz.

#### KAYNAKLAR

- Cohen, G. (2004). *Technology Transfer: Strategic Management in Developing Countries*. Sage Publications, 224-228.
- Eren, H., Kılıç, A., ve Balci, H. (2015). Savunma sanayii teknoloji transfer yöntemi seçimi. *Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 20(4), 305-326.



- Karakaya, Ç. (2009). Analitik Hiyerarşik Proses Yöntemi ile Teknoloji Transfer Yöntemi Seçimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.
- Kiper, M. (2004). Teknoloji transfer mekanizmaları ve bu kapsamda üniversite-sanayi işbirliği. *Teknoloji, TMMOB 50. Yıl Yayınları*, Ankara.
- Lee, A.H.I., Wang, W.M., ve Lin, T.Y. (2010). An evaluation framework for technology transfer of new equipment in high technology industry. *Technology Forecasting and Social Change*, 77(1), 135-150.
- Madani, H., ve Radfar, R. (2009). Technology Transfer: Biotechnology Industry. *SCMS Journal of Indian Management*, 6(4), 41-47.
- Mohammad, R., Kabaranzad, G., ve Babak S. (2011). Recognition and selection of optimal method for transferring technology in Tehran gas organization. *Indian Journal of Science and Technology*, 4(9), 1129-1136.
- Moradian, A., Hessami, H.Z., ve Pazeshki, P.M. (2010). Prioritization of technology transfer methods to downstream petrochemical industries in developing countries. *TIBEC II, Terengganu International Business and Economics Conference*, Malaysia.
- Salami, R., ve Reavil L. R.P. (1997). International technology transfer policies & the industrialization of developing countries. *Technology Management: Strategies & Applications*, 3, 195-211.
- TTTP TURKSAT 3A AAS & TTTP presentation Introduction Section Ref: 2002033245V, Alcatel Alenia Space, Sept 2006.

Araştırma Makalesi

## 3D Yazıcı ile Üretilen Elmas Şekilli Antenin Kablosuz Haberleşme Sistemlerindeki Performans Analizi

Mehmet Duman<sup>a,\*</sup>, Mustafa Duman<sup>b</sup>, Volkan Berk<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

<sup>b</sup>Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

\* Sorumlu Yazar: [mehmetduman@duzce.edu.tr](mailto:mehmetduman@duzce.edu.tr)

### ÖZET

Bu çalışmada, 3D yazıcı kullanılarak kablosuz haberleşme sistemleri ile uyumlu çalışabilecek, elmas görüntüsüne sahip, 3 boyutlu bir anten tasarımı ve üretimi sunulmaktadır. Yapılan çalışmadaki amaç, 3D yazıcılar ile standart anten tasarımlarından farklı tipte oluşturulan cisimlerin, bakır bant ile kaplanmasıyla meydana gelen yeni anten tasarımlarının performansını incelemektir. Antenin çalışıp çalışmadığının tespitini yapmaktır. Tasarlanan antenin bilgisayar ortamında 0-4 GHz frekansları aralığında benzetim grafikleri elde edilmiştir ve üretilen anten yine 0-4 GHz frekansları aralığında Nano-VNA ile test edilmiştir. Yapılan literatür araştırmasına göre, çoğu 3D yazıcı yardımıyla üretilip tasarlanan elmas şekline sahip antenlerde, elmasın sadece 2 boyutlu düzlemi üzerinde çalışmalar gerçekleştirilirken bu çalışmada elmas şeklinin 3 boyutlu düzlem üzerindeki hali ile çalışılmaktadır. Sonuç olarak, elmas şekilli antenin 3000 MHz ve 3805 MHz (laboratuvar ölçümü: 3300 MHz – 3800 MHz) frekansları arasında -15 dB değerinden daha düşük giriş geri yansımaya (S11) oranı ile çalıştığı, dolayısıyla; antenin başarılı bir performans sergilediği görülmektedir. Bu bulgular ışığında, 3D yazıcılarda eklemeli imalatın kullanımı dahilinde, önerilen parametrelerin kullanılmasıyla, elmas şeklinde üretilen antenlerin kablosuz iletişim cihazlarında ve 5G uygulamalarında kullanılabilir olduğu aşıkardır. Aynı zamanda, gerçekleştirilen bu çalışma sayesinde başka şekillerde oluşturulabilecek anten tasarımlarının gerçekleştirilmesine olumlu katkı sağlanmış olunacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Eklemeli imalat, Elmas şekilli anten tasarımı, Kablosuz iletişim sistemleri, S Bandı, 3D yazıcının farklı uygulama alanları.

## Analysis of Performance of 3D-Printed Diamond-Shaped Antenna in Wireless Communication Systems

### ABSTRACT

In this study, a three-dimensional antenna design with a diamond shape, compatible with wireless communication systems, produced using a 3D printer, is presented. The aim of the study is to examine the performance of newly designed antennas. They are created with different types than standard antenna designs using 3D printers by covering objects with copper tape. The second aim of the study is to determine whether the antennas operate successfully. Simulation graphs of the designed antenna were obtained in the computer in the frequency range of 0-4 GHz, and the produced antenna was tested with Nano-VNA in the frequency range of 0-4 GHz. According to the literature survey, most diamond-shaped antennas produced and designed with 3D printers operate only on the 2D plane of the diamond, while in this study, the diamond shape is worked on the 3D plane. As a result, it is observed that the diamond-shaped antenna operates with an input return loss (S11) lower than -15 dB between the frequencies of

3000 MHz and 3805 MHz (laboratory measurement: 3300 MHz – 3800 MHz), indicating that the antenna demonstrates successful performance. In light of these findings, it is evident that antennas produced in the diamond shape with the proposed parameters using additive manufacturing on 3D printers can be used in wireless communication devices and 5G applications. At the same time, this study will contribute positively to the realization of antenna designs that can be created in different shapes.

**Keywords:** *Additive manufacturing, Diamond-shaped antenna design, S Band, The diverse applications of 3D printing, Wireless communication systems.*

---

## I. Giriş

3D yazıcılar, ilk olarak 1980'li yıllardan itibaren başlamış olsa da son 10 yılda popülerliğini ciddi bir şekilde arttırmıştır. Yapılan çalışmalar göstermektedir ki (Glasco ve ark., 2022) 2010 ve 2022 seneleri arasında "3D printing" anahtar kelimesini içeren yayınlar git gide artmaktadır. Buna göre 3D yazıcılarla ilgili yapılan çalışmalar özellikle 2013 senesinden itibaren ciddi bir artış görülmektedir. Buna yönelik olarak 3D yazıcılarla anten tasarımları da son 3 senede yapılan çalışmalarda oldukça öne çıkmaktadır. Y. Wang ve arkadaşları yaptığı çalışmada 3D yazıcılarla üretilen antenlerin yapı ve malzemelerine göre 5G iletişime olan katkısına yönelik detaylı bir inceleme gerçekleştirmiştir (Wang ve ark., 2023). Peter Njogu ve arkadaşları 3D yazıcı ile yapay insan turnağı üzerine bir mikroşerit anten tasarımı gerçekleştirerek 5G uygulamalarına yönelik bir çalışma gerçekleştirmiştir (Njogu ve ark., 2020). J. Olivia ve arkadaşları ise 3D yazıcıyla bir horn anten tasarımı gerçekleştirerek standart bir horn antenle karşılaştırması üzerine çalışmıştır (Olivová ve ark., 2022). G. Mazingue ve arkadaşları uzay uygulamalarında kullanılabilecek seramik yapıda bir anten tasarlamışlardır (Mazingue ve ark., 2020). Kotzé ve Gilmore, uydu haberleşmesi için X bantta çalışan dairesel polarizasyonlu 3D anten üretmiştir (Kotzé ve Gilmore, 2019).

3D yazıcılar diğer üretim türlerine göre daha özel tasarımların üretilmesine imkan sağlamaktadır (Praveena ve ark., 2022). Bundan dolayı, 3D yazıcılarla üretilen antenlerin standart antenlere nazaran daha geniş bir ürün yelpazesi vardır (Colella ve ark., 2019). Bu hususta, ilgili çalışmada gerçekleştirilen anten tasarımında elmas yapısı model olarak alınmıştır. Bu modelin tercih edilmesindeki temel prensipler; pürüzsüz yüzey yapısına ve daha dayanımlı bir geometriye sahip olmasıdır. Bu şekilde antenin; düşme, çarpma, kırılma durumlarında anten geometrisinin bozulmasının önüne geçilmesi düşünülmüştür. Ayrıca göze daha hoş gelen bir görüntü olmasının satın almada tercih sebeplerine etkisi olabileceği göz önünde bulundurulmuştur.

Bu çalışma, temel olarak 3D yazıcı kullanılarak elmas şekilli bir dizaynın PLA baskısı alınarak bakır bant kaplanması ardından SMA portun bağlanması ile üretilen bir anten tasarımı oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu işlemde eklemeli imalat kullanılmıştır. Bilgisayar simülasyonları ve gerçek ortam testleri 0-4 GHz frekansları aralığında yapılmıştır. IEEE'ye göre S bandında (2-4 GHz) çalışabilecek anten, en iyi verimi 3300 MHz ve 3500 MHz frekansları arasında vermektedir. Çalışma noktası 3460 MHz frekansındadır.

Literatürde bulunan elmas şeklindeki antenlerin çoğu 2 boyutlu FR-4 ya da farklı bir "substrate" yüzey üzerinde üretilmiştir. Buna ek olarak "elmas şeklinde anten" olarak bahsedilen kısımlar ya bakır yüzeyin elmas şekline benzemesinden ya da yüzeyin elmas şekline benzemesinden oluşmaktadır. Yapılan bir çalışmada (Rana ve Rahman, 2022), "Rogers RT5880" yüzeyi üzerinde gerçekleştirilen mikroşerit yama anten tasarımında, bakır kaplı alanda, elmas şeklinde bir boşluk oluşturularak performans incelemesi yapılmıştır. Yapılan ayrı bir çalışmada (Shaif ve ark., 2017) ise, bakır kaplı alanı dörtgen bir elmas şeklinde olan mikroşerit anten tasarımı sunulmuştur. Bu çalışmada, tasarlanan ve üretilen antenin literatürdeki diğer elmas şekline benzeyen antenlerden farklı 3 boyutlu bir yapıya sahip olmasıdır. Anten performansının kablosuz haberleşme sistemleri ile uyumlu çalışması beklenmektedir. Yapılan çalışmalar baz alındığında literatürde rastlanmayan, benzersiz bir anten tasarımı sunmak ana hedefdir.

## II. MATERYAL METOT

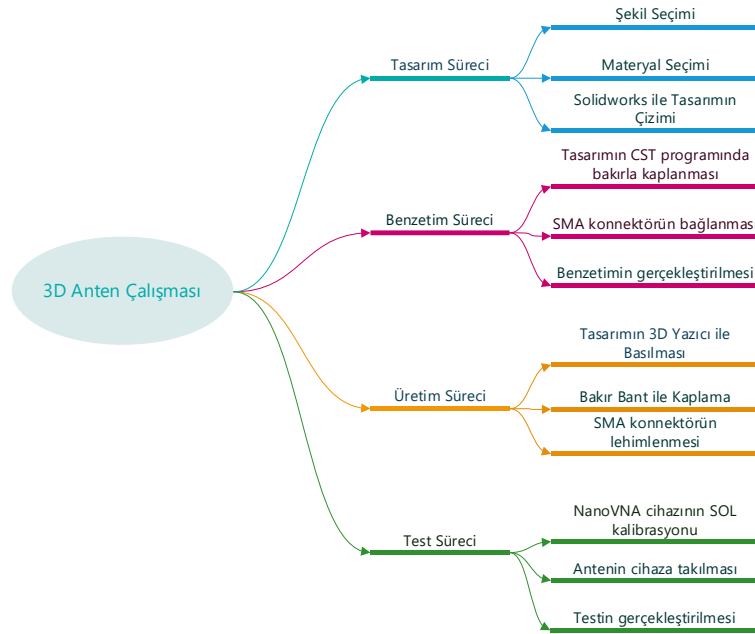
Bu çalışmanın konusu, 3D yazıcıyla bastırılan elmas şeklindeki bir cismin, kendinden yapışkanlı bakır bant kullanılarak dış yüzeyinin kaplanması ve 0-4 GHz frekanslarında çalışmaya elverişli SMA port lehim edilmesiyle oluşan bir 3D anten üretilmesi üzerinedir. Antenin performansı kablosuz iletişim sistemlerinde kullanılan spektrumlarda kayıpsız çalışarak, elektromanyetik uygulamalarına uyumlu olması ile belirlenir. Bu hususta, mobil iletişim teknolojileri olan 2G, 3G, 4G, 4.5G, 5G gibi standartlar önem kazanmaktadır. Standartlara ait bant değerleri Tablo 1’de yer verilmiştir (Dirlik, 2020). Ayrıca, “Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth, GPS” gibi özel uygulamalarda çalışabilmesi de çalışmanın değerini artıracaktır.

Tablo 1. Mobil iletişim teknolojileri ve frekans bantları

Teknoloji	Frekans Bandı (MHz)
2G	900-1800
3G	2100
4G	800-2600
5G	700-3400

Tasarımı gerçekleştirilen antenin girişten geri yansıma parametresi (S11) değerinin -10dB ve altındaki değerlerde olması beklenmektedir. S11, güç, verimlilik ve buna benzer faktörlerin yeterli olması durumunda antenin diğer ülkelerde farklı alanlarda kullanımı söz konusu olabilir.

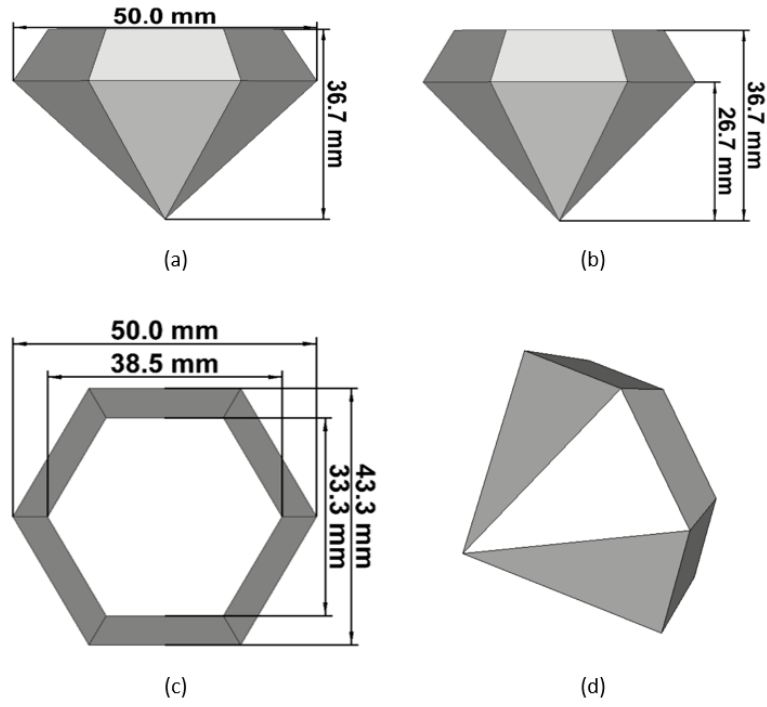
Çalışma süreci ile ilgili planlama Şekil 1’de verildiği gibi 4 aşamadan oluşmaktadır.



Şekil 1. Çalışma süreci ile ilgili planlama.

### A. Tasarım ve Benzetim

Şekil 1’de yer alan aşamalardan ilk ikisi Tasarım ve Benzetim aşaması olarak tek bir başlıkta sunulabilir. Bu başlıkta, ilk olarak antene ait tasarlanacak olan geometrinin seçilmesi sağlanır. Bu çalışmada belirtildiği üzere elmas şeklindeki anten tasarımı gerçekleştirilmiştir. Seçilen elmas şekline ait boyutların ölçekli çizimleri Şekil 2’de görülmektedir. Benzetim boyutları gerçekleşmiş tasarım boyutlarının 3 katıdır. Laboratuvar ölçümlerinde maliyet/hız oranının azalması için boyutta küçülmeye gidilmiştir.



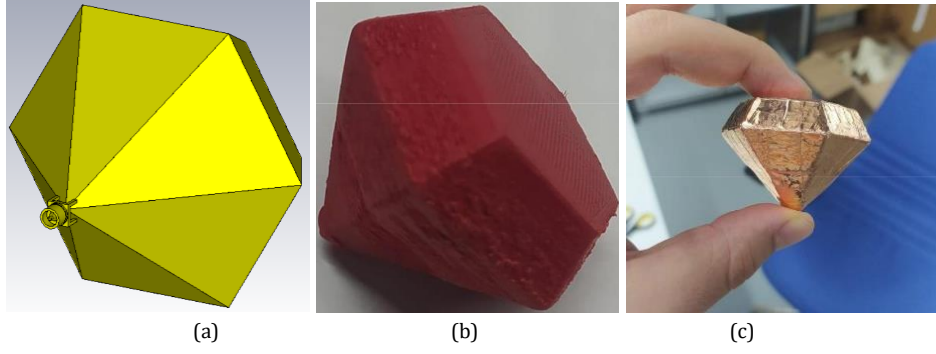
Şekil 2. Elmas şekline ait görsel ve ölçüler.

Şekil 2’de altıgen başa sahip elmas bir yapı yer almaktadır. Tasarımın oluşturulmasında “Solidworks” programı kullanılmıştır. Şekil 2 a ve Şekil 2 c’de görüldüğü üzere; elmasın üst kısmını oluşturan altıgen yapının en uç noktalarının birbirine uzaklığı 50 mm iken en kısa noktalarının birbirine uzaklığı 38.5 mm’dir. Elmasın yüksekliği ise Şekil 2 b’de gösterildiği gibi 36.7 mm’dir. Şekil 2 a’daki elmas şeklinin 60 derece x ekseninde döndürülmesiyle Şekil 2 b oluşur; Şekil 2 a’daki elmas şeklinin dikey ekseninde 90 derece döndürülmesiyle ise Şekil 2 c oluşmuştur. Şekil 2 d’de perspektif görüntüsü verilmiştir. Diğer uzunluk bilgileri için Şekil 2 incelenebilir.

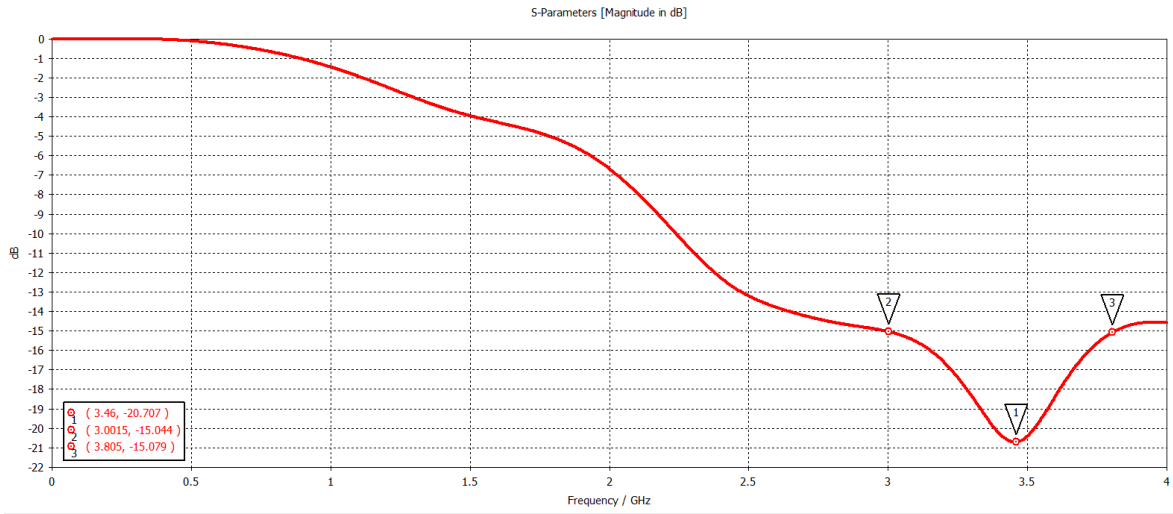
Kullanılan malzeme Polilaktik Acid (PLA)’dır. PLA, 3D yazıcı ile üretilen birçok üründe kullanılan popüler bir malzemedir. Çevre dostu bir malzeme olması ve maliyet/erişim bakımından daha avantajlı olması PLA’nın tercih edilmesindeki en önemli faktörlerdendir (Xu ve ark., 2022). Buna ek olarak, PLA’nın FR-4 dielektrik alt-taban malzemesi ile benzer kazanç ve sabit radyasyon modeline sahip olduğu ortaya çıkmıştır (Prakash ve ark., 2021).

Bu başlık ikinci olarak, antenin “CST Studio” programında performansının ölçülmesi ile ilgili verileri kapsar. Bu noktada, antene bağlanacak olan SMA konnektörünün konumu belirlenerek ölçüm noktası kararlaştırılır. Şekli oluşturulan elmas tasarımın yüzeyi programın materyal sekmesi kullanılarak bakır ile kaplanır. Ardından antene bağlanacak olan SMA konnektör, port olarak eklenir. Devamında antene ait performans ölçümü alınması için benzetim gerçekleştirilir. Benzetimi gerçekleştirilen bakır kaplı ve SMA eklenmiş olan antene ait bilgisayar görseli Şekil 3 a’da aktarılmıştır.

SMA konnektör için materyal olarak altın kaplama seçilmiştir. Benzetim aşamalarının sonucunda elde edilen S11 grafiği Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 3 a. Benzetimi gerçekleştirilen anten tasarımı b. Yazıcıdan üretilen baskı c. Antenin bakır bant ile kaplanması.



Şekil 4. Anten tasarımına ait S11 grafiği.

Antenin en iyi performans gösterdiği frekans 3460 MHz noktasıdır. Anten bu frekans değerinde -20.707 dB değerine ulaşmaktadır. Grafiğe göre anten yaklaşık olarak 3000 MHz ile 3805 MHz arasında -15 dB değerinin altında çalışmaktadır. Genel olarak bakılan -10 dB sınır noktaları ele alındığında çalışma frekansları arası S bandının frekansları arasından dahi daha geniştir. Bant genişliği için ise 3 dB yükselen noktalar arasına yani -17.707 dB değerleri arasına ( $\approx 3240$  MHz –  $\approx 3675$  MHz) bakılır ve bant genişliği yaklaşık 435 MHz olarak bulunur.

### B. Üretim

Üçüncü aşamada, tasarlanan şeklin çıkartılması için tasarım, STL formatında 3D yazıcıya aktarılır. STL formatı, birçok yazılım programının desteklediği, prototipleme ve bilgisayar destekli üretimlerde sıkça kullanılan bir format türüdür.

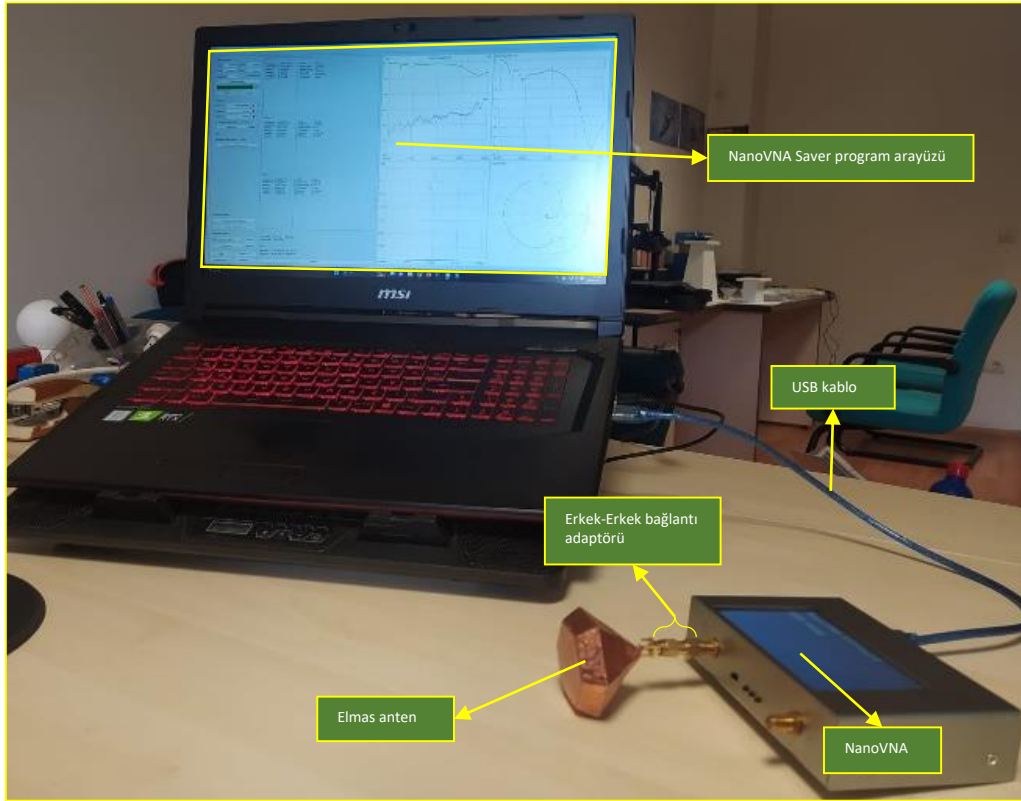
Şekil 3 b'de yer alan baskı çıktısı için kullanılan yazıcı modeli Creality markasına ait Ender-3 S 1 modelidir. Bu cihaz PLA ve ABS gibi malzemeleri kullanarak baskı alınmasını sağlayabilmektedir. Daha sonra üretimi yapılan elmas, kendinden yapışkanlı bakır bant ile kaplanır. Bakır bant kaplı elmas Şekil 3 c'de gösterilmiştir. Yapışkanın elektriksel geçirgenlik değeri bakırın altında kaldığı için önemsizdir. 3D baskı malzemesinin cinsi de sağlamlık açısından önemli diğer yönlerden önemsizdir. Çünkü yayılan elektromanyetik dalga, antenin yüzeyini kullanılarak aktarılır, iç tarafı ilgili ile bir aktarma yoktur.

Şekil 3 c'de görülen bakır bant ile kaplı anten, SMA konnektörünün lehimlenmesi işleminden sonra laboratuvarında gerçekleştirilecek test aşamalarına hazır hale getirilmiştir. SMA'nın canlı ucu bakır banda temas etmektedir fakat toprak uçları havadadır, bu demektir ki; toprak olarak hava kullanılmıştır ve empedansı: 377 ohm'dur.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{1 \times \mu_0}{1 \times \epsilon_0}} = \sqrt{\frac{4\pi \times 10^{-7}}{\frac{1}{36\pi \times 10^9}}} = 120\pi = 377 \text{ } [\Omega] \quad (1)$$

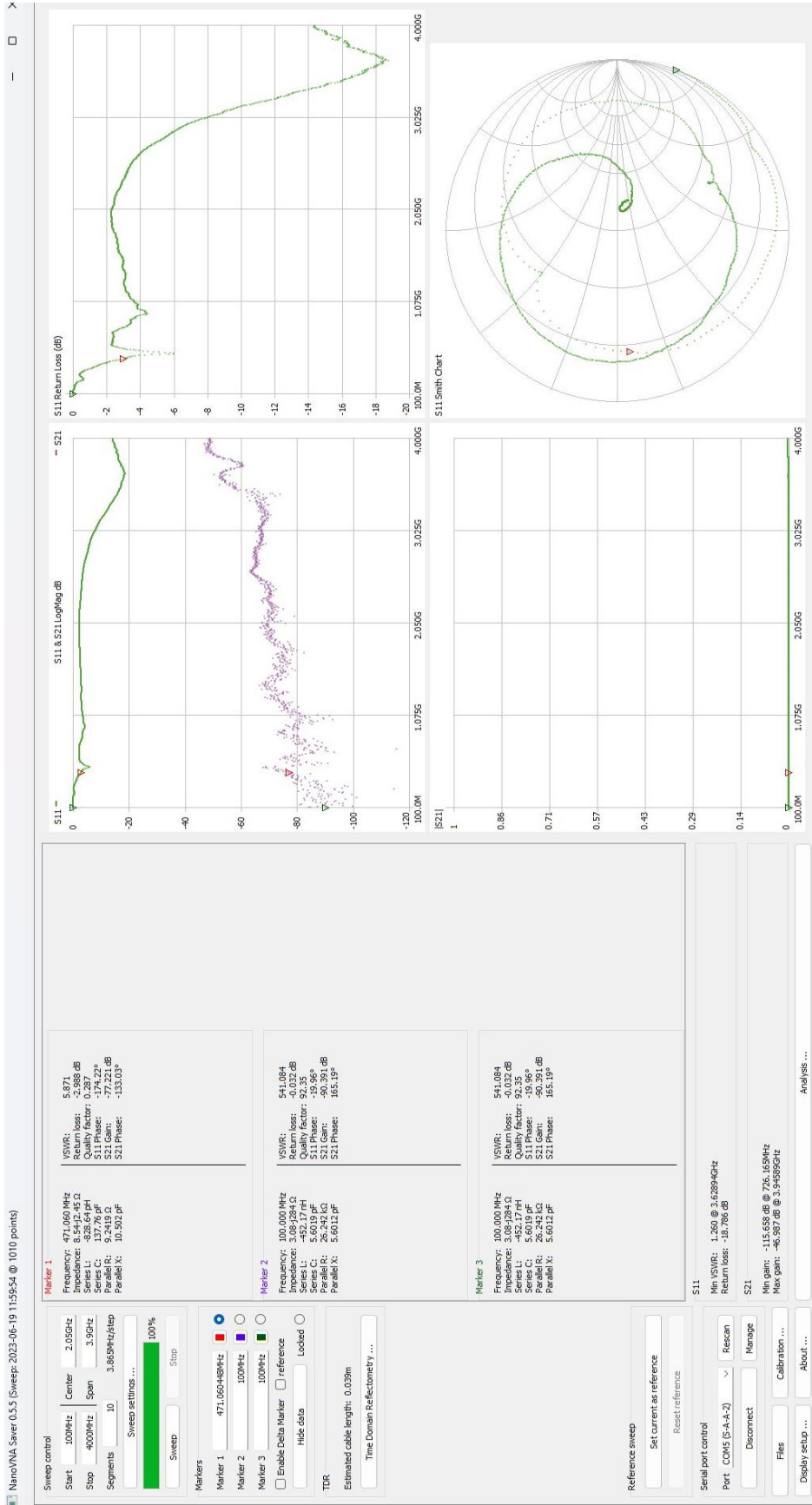
### C. Test

Son aşamada, elmas şeklindeki antenin performansını test etmek için NanoVNA (“Nano Vector Network Analyzer” – Nano Vektör Ağ Analizörü) test cihazı kullanılmıştır. VNA, bir elektrik devresinin ya da sisteminin giriş ve çıkış özelliklerini ölçmek için kullanılan bir elektromanyetik test cihazıdır. Bu cihaz sayesinde antene özgü karakteristik özellikler olan iletim katsayısı, yansımaya katsayısı, empedans değeri gibi değerler ölçülebilmektedir.



Şekil 5. NanoVNA ile Test Ölçüm Görüntüsü.

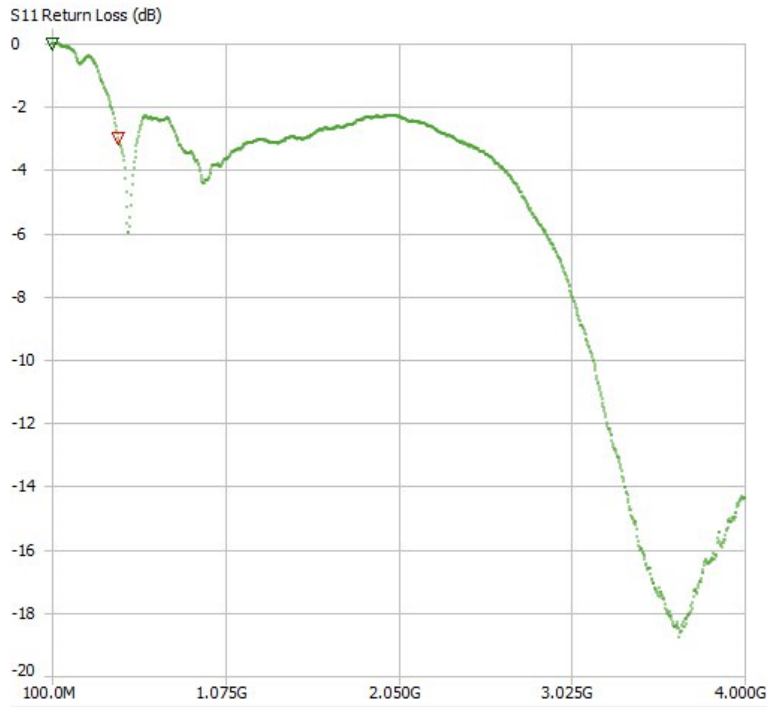
Şekil 5’te antenin test edildiği düzenek gösterilmektedir. Anten, NanoVNA’ya ait portun ve kendi üzerindeki SMA’nın dişi olması sebebiyle erkek-erkek SMA bağlantı aparatı yardımıyla NanoVNA cihazına bağlanmıştır. NanoVNA aracılığıyla ölçülen veriler USB kablo üzerinden bilgisayara aktarılır. Bilgisayarda kullanılan VNA programı (NanoVNA Saver) sayesinde antene ait karakteristik datalar incelenebilmektedir.



Şekil 6. Ölçüm Sonuçları.



Şekil 6'da ölçüm sonuçlarına ait veriler ve grafikler görülmektedir. Sol taraftaki veriler grafik üzerinde seçilmesi muhtemel "Marker"ların değerlerini okuyucuya aktarır. Ayrıca başlangıç ve bitiş frekans ayarlamaları, adım değeri, orta frekans değeri vs bu bölümden ayarlanır. Kalibrasyon başlangıç ayarı da yine sol menüde yer almaktadır. Sağ tarafta yer alan grafikler ölçüm yapılacak olan devre elemanın karakteristik davranışlarını frekans ekseninde gösteren grafiklerden ve Smith Chart grafiğinden oluşur. Anten, tek port olduğundan S21 veya S12 ölçümü yoktur. S11 değerine bakıldığında, üretimi gerçekleştirilen anten yaklaşık olarak 3300 MHz ile 3800 MHz arasında -15 dB değerinin altında girişten geri yansıma parametresini vermektedir. Yaklaşık 3600 MHz frekansı ise orta frekans olarak bulunmuştur. Bu frekans değerinde -19 dB bulgusuna varılmıştır. CST programındaki benzetim grafiği ile NanoVNA cihazının ortaya koyduğu S11 ölçüm grafiği karşılaştırıldığında tasarlanan anten ile üretilen antenin birbiriyle benzer sonuçlar verdiği söylenebilir. S11 ölçüm grafiği daha yakından Şekil 7'de verilmiştir. Bant genişliği için ise 3 dB yükselen noktalar arasına bakıldığında -16 dB değerleri arasında ( $\approx 3375$  MHz –  $\approx 3830$  MHz) bakılması gerekir. Böylece bant genişliği 455 MHz olarak bulunur.



Şekil 7. S11 Ölçümü.

### III. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Solidworks ve CST Studio programlarında oluşturulan elmas şeklindeki bir tasarımın 3 boyutlu yazıcıyla baskısı çıkarılıp bakır bant kaplanması yapılmıştır. Bu sayede; 3 boyutlu bir anten tasarımının benzetimi, üretimi ve testi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, standart olmayan 3 boyutlu şekillerin 3D yazıcıyla baskılanıp bakır bant kaplanmasıyla anten tasarımının oluşturulup üretilmesinin mümkün olup olmadığının belirlenmesidir. Çalışmanın hedefi, S bandında, spesifik olarak ise 3 GHz ila 4 GHz arasında kullanıma uygun olan ve kablosuz haberleşme projelerinde çalışabilen bir anten üretmektir; bu projeden başarılı bir sonuç alınmıştır.

Gerçekleştirilen test sonuçlarına göre 3 boyutlu elmas yapıdaki anten tasarımı 3300 MHz ve 3800 MHz titreşim aralığında -15 dB değerinin altında (benzetimde 3000 MHz ile 3805 MHz arasında); 3600 MHz orta frekansı (benzetimde 3460 MHz) civarlarında ise -19 dB (benzetimde -20.707 dB) değerinde S11 performansı sergilemiştir; bant genişliği değeri, laboratuvar ölçümünde 455 MHz (benzetimde 435 MHz) olarak bulunmuştur. Tüm bu verilere göre sunulan projenin benzetim ve laboratuvar ölçümlerinin yaklaşık eşit olduğu ayrıca 5G tarzı uygulamalarda başarılı bir şekilde kullanılabilir yorumu ortaya çıkmıştır.

Tablo 2’de benzetim sonuçları ve laboratuvar ölçümlerinden elde edilen değerler aktarılmıştır.

Tablo 2. Mobil iletişim teknolojileri ve frekans bantları.

	<b>Benzetim</b>	<b>Laboratuvar</b>
<b>Ölçüm frekans aralıkları</b>	100 MHz – 4 GHz	100 MHz – 4 GHz
<b>Çalışabileceği frekans aralıkları</b>	3 GHz – 4 GHz	3 GHz – 4 GHz
<b>-15 dB altına indiği frekans aralıkları</b>	3000 MHz – 3805 MHz	3300 MHz – 3800 MHz
<b>Merkez frekans</b>	3460 MHz (-20.707 dB)	3600 MHz (-19 dB)
<b>Bant genişliği aralıkları</b>	3240 MHz – 3675 MHz arası	3375 MHz – 3830 MHz arası
<b>Bant genişliği</b>	435 MHz	455 MHz

#### IV. TARTIŞMA

Üretilen yeni antenin performans parametresi değerlerinin diğer antenlerin değerleriyle daha doğru bir kıyaslama yapılarak araştırılmasının sağlanması için üretilen antenin empedans uyumuna bakılması gerekebilir. Üretilen antene ait örüntülerin incelenmesi performans parametreleri için katkı sağlayabilir. Ayrıca referans anteninden yararlanılarak bulunabilen anten kazancı bilgisiyle yorum yapılması daha doğru sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

#### V. ÇIKARIM

Bu çalışma; 0-4 GHz frekansları arasında taraması yapılan, 3300 MHz ve 3800 MHz frekansları arasında kablosuz iletişim teknolojilerine uyumlu olabilecek, 3D yazıcıyla 3 boyutlu elmas yapısı ve görüntüsü verilen, araştırma ve geliştirme süreçleri yapılan bir antenin periyotları ile ilgilidir. Elde edilen sonuçlara göre antenin kablosuz iletişim teknolojilerinde özellikle de 5G uygulamaları için 3600 MHz merkez frekansını kullanan ülkelerde çalıştırılabileceği ön görülmektedir. Sonuç olarak, 3 boyutlu yazıcılarla eklemeli imalat sayesinde basımı yapılan şekillere, bakır bant kaplanarak üretilen antenlerin kablosuz iletişim teknolojilerine uyum sağlayabileceği görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre; 3D yazıcıyla basılarak oluşturulan benzer şekil veya cisimler, bakır kaplanarak farklı sistemlere entegre edildiğinde, faydalı işlem gören antenler haline getirilebilir.

#### KAYNAKLAR

- Dirlik, T. (2020). Metamalzeme kullanılarak eş benzetim ile mikroşerit anten tasarımı ve optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *Başkent Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Glasco, D. L., Sheelam, A., Ho, N. H., Mamaril, A. M., King, M., ve Bell, J. G. (2022). Editors’ Choice—Review—3D printing: an innovative trend in analytical sensing, *ECS Sensors Plus*, 1(1), 010602.
- Kotzé K. ve Gilmore J. (2019). SLM 3D-Printed Horn Antenna for Satellite Communications at X-band, *IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC)*, Granada, Spain, ss. 148-153, doi: 10.1109/APWC.2019.8870367.
- Mazingue G., Byrne B., Romier M. ve Capet N. (2020). 3D Printed Ceramic Antennas for Space Applications, *14th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, Kopenhag, Danimarka, ss. 1-5, doi: 10.23919/EuCAP48036.2020.9135312.
- Njogu P., Sanz-Izquierdo B., Elibiary A., Jun S. Y., Chen Z. ve Bird D. (2020). 3D Printed Fingernail Antennas for 5G Applications, *IEEE Access*, vol. 8, ss. 228711-228719, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3043045.
- Olivová, J., Popela, M., Richterová, M., ve Štefl, E. (2022). Use of 3D printing for horn antenna manufacturing. *Electronics*, 11(10), 1539.
- Prakash, C., Senthil, P., ve Sathies, T. (2021). Fused deposition modeling fabricated PLA dielectric substrate for microstrip patch antenna, *Materials Today: Proceedings*, 39, 533-537.
- Praveena B. A., Lokesh N., Buradi A., Santhosh N., Praveena B. L., ve Vignesh R. (2022). A comprehensive review of emerging additive manufacturing (3D printing technology): Methods, materials, applications, challenges, trends and future potential, *Materials Today: Proceedings*, 52, 1309-1313.
- R. Colella ve ark. (2019). Electromagnetic Analysis and Performance Comparison of Fully 3D-printed Antennas, *Photonics & Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS-Spring)*, Roma, İtalya, ss. 964-970, doi: 10.1109/PIERS-Spring46901.2019.9017888.

- Rana M. S. ve Rahman M. M. (2022). Design and Operation Exploration of a Diamond-Shape Slotted Microstrip Antenna for Digital World High-Speed 5G Wireless Digital Technologies, *2nd Asian Conference on Innovation in Technology (ASIANCON)*, Ravet, Hindistan, ss. 1-4, doi: 10.1109/ASIANCON55314.2022.9908769.
- Shaif A. D. S. S., Selçuk S., Kabadayı G., Toraman Ö., ve İmeci Ş. T. (2017). Diamond-shaped microstrip patch antenna with defected ground structure, *25. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı (SIU)*, ss. 1-4.
- Wang, Y., Zhang, X., Su, R., Chen, M., Shen, C., Xu, H., ve He, R. (2023). 3D Printed Antennas for 5G Communication: Current Progress and Future Challenges, *Chinese Journal of Mechanical Engineering: Additive Manufacturing Frontiers*, 100065.
- Xu, C., Sun, C., Wan, H., Tan, H., Zhao, J., ve Zhang, Y. (2022). Microstructure and physical properties of poly (lactic acid)/polycaprolactone/rice straw lightweight bio-composite foams for wall insulation. *Construction and Building Materials*, 354, 129216.

Research Article

## ***Machinery Sector Problems and Solution Suggestions: Düzce Example***

*Ali Etem Gürel<sup>a,b</sup>, Hüseyin Aydın<sup>c</sup>, Gökhan Yıldız<sup>d,\*</sup>*

<sup>a</sup>Düzce University, Düzce Vocational School, Department of Electricity and Energy, Düzce/Türkiye.

<sup>b</sup>Düzce University, Engineering Faculty, Department of Mechanical Engineering, Düzce/Türkiye.

<sup>c</sup>Düzce University, Düzce Vocational School, Department of Motor Vehicles and Transportation Düzce/Türkiye.

<sup>d</sup>Düzce University, Düzce Vocational School, Department of Electronics and Automation, Düzce/Türkiye.

\*Corresponding Author: [gokhanyildiz@duzce.edu.tr](mailto:gokhanyildiz@duzce.edu.tr)

### **ABSTRACT**

In this study, a general evaluation was carried out on the machinery manufacturing sector in Turkey in general and in Düzce specifically. To enable an orderly and consistent comparison of all data, this analysis was carried out within the scope of Code 28 (Manufacture of machinery and equipment n.e.c.), which is the binary group of the NACE classification used in the European Union. Both Türkiye and Düzce data were discussed and interpreted under this field of activity. Therefore, the expression "machinery sector" used in the study covers this production code. The problems of the companies operating in the NACE 28 production code in Düzce were determined through oral and written interviews (survey application) with selected company representatives. In addition to the companies operating with the NACE 28 code, opinions were exchanged with the 4th Professional Committee of the Düzce Chamber of Commerce and Industry (Non-Food Manufacturing Industry, Machinery, Metal, Rubber Industries and Other Manufacturing) and the problems and solution suggestions related to nearby manufacturing areas were also added to this study. In this way, it is aimed to make a much more comprehensive evaluation. Turkish Statistical Institute (TÜİK) data were mainly used in the evaluation of export, import and employment figures of the study. For Düzce, the data that cannot be accessed on the TÜİK website was obtained by officially requesting it from TÜİK.

**Keywords:** *Düzce, Employment, Machinery sector, NACE,*

## ***Makine Sektörü Problemleri ve Çözüm Önerileri: Düzce Örneği***

### **ÖZET**

Bu çalışmada, Türkiye genelinden Düzce ili özeline makine imalatı sektörü üzerine genel bir değerlendirme yürütülmüştür. Tüm verilerin düzenli ve tutarlı bir biçimde karşılaştırılmasına olanak sağlamak için bu analiz, Avrupa Birliği'nde kullanılmakta bulunan NACE sınıflamasının ikili grubu olan 28. Kod (Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı) kapsamında yürütülmüştür. Hem Türkiye hem de Düzce verileri bu faaliyet alanı altında tartışılmış ve yorumlanmıştır. Bu nedenle, çalışma içerisinde geçen "makine sektörü" ifadesi, bu üretim kodunu kapsamaktadır. Düzce'de NACE 28 üretim kodunda faaliyet gösteren firmaların sorunları, seçilen firma temsilcileri ile yapılan sözlü ve yazılı (anket uygulaması) mülakatlarla belirlenmiştir. Bununla birlikte, NACE 28 kodu ile faaliyet gösteren firmalara ek olarak Düzce Ticaret ve Sanayi Odası 4. Meslek Komitesi (Gıda Dışı İmalat Sanayi, Makine, Metal, Kauçuk Sanayileri ve Diğer İmalatlar) ile görüş alışverişi yapılarak yakın imalat alanları ile ilgili sorunlar ve çözüm önerilerinin de bu çalışmaya ilave edilmesi sağlanmıştır. Bu sayede çok daha kapsayıcı bir değerlendirme yapılması hedeflenmiştir. Çalışmanın ihracat, ithalat ve istihdam rakamlarının değerlendirilmesinde ağırlıklı olarak Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verileri kullanılmıştır. Düzce özelinde için TÜİK internet sitesinde ulaşılamayan veriler TÜİK'ten resmi şekilde talep edilerek temin edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Düzce, İşsizlik, Makine sektörü, NACE.

## I. MACHINERY SECTOR IN THE FRAMEWORK OF TÜRKİYE AND DÜZCE

### A. A General Overview of the Machinery Sector in Türkiye

The industrial move of the Republic of Türkiye came to life with the İzmir Economic Congress, the Industrial Promotion Law and subsequently the First Industrial Development Plan of 1934 (Kalkınma Ajansları; Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, 2022). Although many investment moves took place during this period, the acceleration of the development process of the machinery sector started in the mid-1900s.

In the 1950s, a significant movement began in the machinery sector with the effects of large-scale public investments such as sugar and cement factories. With the increase in these large-scale investments, the installation, maintenance and repair needs in factories have also increased. However, during this period, the difficulties in supplying machinery from abroad, especially due to foreign exchange problems, and the renewal needs in the sector increased the interest of private enterprises in this field, and thus the first machinery manufacturing initiatives began (Düzce İli Sektörel SWOT Analizi, 2017).

In the 1970s, there were very important developments in the development of the machinery industry in Türkiye. State Economic Enterprises (KİT) established during this period, such as the Machinery and Chemical Industry Corporation, Machine Tools Industry, Turkish Motor Industry Trade Inc., Turkish Electromechanical Industry, Turkish Electronic Industry, have been milestones in the development of the machinery industry in Türkiye (Düzce İli Sektörel SWOT Analizi, 2017).

Due to changing economic policies after 1980, the roles of KİTs began to change. By the 2000s, most of the KİTs were privatized. Although it has been seriously affected by factors such as global economic fluctuations, political turmoil, etc., the machinery sector has always maintained its role as a leading sector for Türkiye.

At this point today, the machinery sector continues to be one of the key growth mechanisms of the Turkish economy. According to the 2021 Machinery Sector Analysis and Guide prepared by the Ministry of Industry and Technology, TR52 Region data; Türkiye is Europe's 6<sup>th</sup> largest machinery manufacturer and approximately 80% of the sector consists of Small and Medium Businesses (KOBİ) with fewer than 20 employees. Turkish machinery industry is a leading sector that exports to more than 200 countries, including free zones (T.C. Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı; Makine Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu, 2021).

The machinery sector makes significant contributions to Türkiye's exports. According to 2020 TÜİK data, Türkiye's total exports were 169.6 billion dollars. In the same year, machinery sector exports amounted to approximately 10.6 billion dollars. Thus, the contribution of the machinery sector to total exports for 2020 was 6.25% (Saygılı and Saygılı, 2011).

The sector, which had a difficult year in 2020 due to the global epidemic and economic turmoil, recovered in 2021 and its total exports approached 13.6 billion dollars. With this export figure, the sector made a 6% contribution to Türkiye's exports, which amounted to approximately 225.2 billion dollars in 2021 (TÜİK; Dış Ticaret İstatistikleri, 2022). During this period, approximately two-thirds of machinery exports were made to the most competitive markets such as the European Union countries, the USA and the UK, which are considered the most stable markets on a global scale (Anadolu Ajansı; Ekonomi, 2022).

The machinery industry in Türkiye has a KOBİ structure, as it does on a global scale, and has representatives from all scales, large, medium and small, in line with general and special-purpose machinery branches. When it is looked at the distribution of exports among companies in the machinery sector, it is seen that approximately 60% of exports are carried out by companies with less than 250 employees (Table 1). This circumstance provides information about the magnitude of the added value that will be created by KOBİs in the sector making progress in innovation and efficiency (T.C. Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı; Makine Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu, 2021).

Table 1. Export shares by company size (T.C. Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı; Makine Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu, 2021)

Years	Small and medium-sized companies			Total share of 1-249 employees (%)	Total share of over 250 employees (%)
	1-9 employees (%)	10-49 employees (%)	50-249 employees (%)		
2015	19.1	22.4	19.7	61.2	38.8
2016	19.0	22.5	19.9	61.4	38.6
2017	18.6	22.0	20.6	60.9	39.1
2018	17.9	21.1	20.3	59.3	40.7
2019	17.3	21.0	20.4	58.7	41.3

All these developments are also reflected in the number of enterprises and employment figures of the sector. According to TÜİK data for 2020, the number of enterprises in the field of Machinery Not Elsewhere Classified reached 18310. 72.52% of these enterprises are micro-scale, 21.66% are small-scale, 4.96% are medium-scale and 0.86% are large-scale enterprises. In summary, approximately 99% of startups are in the KOBİ category (TÜİK; Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistikleri, 2020).

According to TÜİK data, the total number of employment in this field in 2020 was 255459 people. Approximately 70% of this employment occurred in businesses in the KOBİ category (TÜİK; Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistikleri, 2020). When the employment data for 2021 was examined, it was seen that employment increased by approximately 11% compared to 2020 and reached 282603 (TÜİK; Ücretli Çalışan İstatistikleri, Ocak 2022). According to 2021 TÜİK data, the machinery industry constitutes approximately 5.7% of Türkiye's total manufacturing industry employment and approximately 1% of total employment (TÜİK; İşgücü İstatistikleri, 2021).

For the machinery sector, as in every sector, Research and Development (R&D) expenditures, production, turnover, added value and capacity utilization rates (CUR) data are very important in drawing the road map and seeing the current position of the sector. Table 2 gives these data for the machinery sector by year (MAKDEF, 2021). In 2020, when the deep effects of Covid-19 were experienced, the sector brought added value of around 42 billion TL to the country's economy, in return for a turnover of nearly 160 billion TL. While 107 large enterprises account for 37% of production and turnover values, this value has increased to 42% in added value production (MAKDEF, 2021).

Table 2. R&amp;D expenditures, production, turnover, added value and CUR data of the machinery sector (MAKDEF, 2021).

	2018	2019	2020
<b>R&amp;D Expenditure</b>	1,074,485,412	1,300,752,923	1,640,918,060
<b>Production -</b>	103,295,782,140	110,155,393,174	146,384,167,921
<b>Endorsement-</b>	110,252,999,234	119,57,369,844	159,549,723,212
<b>Added Value -</b>	28,343,943,745	30,795,044,883	41,679,423,616
<b>CUR</b>	74.58	68.12	65.90

The importance given to R&D activities and the expenditures at this point shed light on the sustainability of the sectors and their renewal speed. The R&D expenditure of the machinery industry in 2020 increased by 26% compared to the previous year and reached 1 billion 640 million TL. As of January 2022, the sector ranks first with 174 centers among 1,254 R&D Centers approved by the Ministry, and fourth with 38 centers among 338 Design Centers (MAKDEF, 2021). When the CUR data is examined, it is seen that this rate decreased significantly in 2019 and 2020. One of the biggest reasons for this circumstance is the COVID-19 process and global fluctuations. The CUR of the sector, which decreased to 66% in 2020, increased to 75% at the end of 2021. The sector's employment index, which exceeded that of the manufacturing industry in 2020, continued this course in 2021. Therefore, despite the COVID-19 process, direct employment, which increased to 255 thousand, continued to increase in 2021 and exceeded 282 thousand. (MAKDEF, 2021 ve TÜİK; İşgücü İstatistikleri, 2021).

TOBB Industry Database data was used to evaluate the general distribution of the sector in our country. According to these data, there are a total of 10395 companies registered in NACE (Nomenclature of Economic Activities) 28 fields of activity in Türkiye (TOBB Sanayi Veritabanı, 2022). When the distribution of companies on a Turkish scale is examined, it is seen that the sector is concentrated in industrially developed regions (Şekil 1). These regions stand out as TR10 (İstanbul), TR52 (Konya-Karaman), TR41 (Bursa-Eskişehir-Bilecik), TR42 (Kocaeli-Sakarya-Düzce-Bolu-Yalova), TR31 (İzmir) and TR51 (Ankara). These regions differ from other regions with features such as ease of access to raw materials, logistics advantages, access to labor and strong infrastructure.

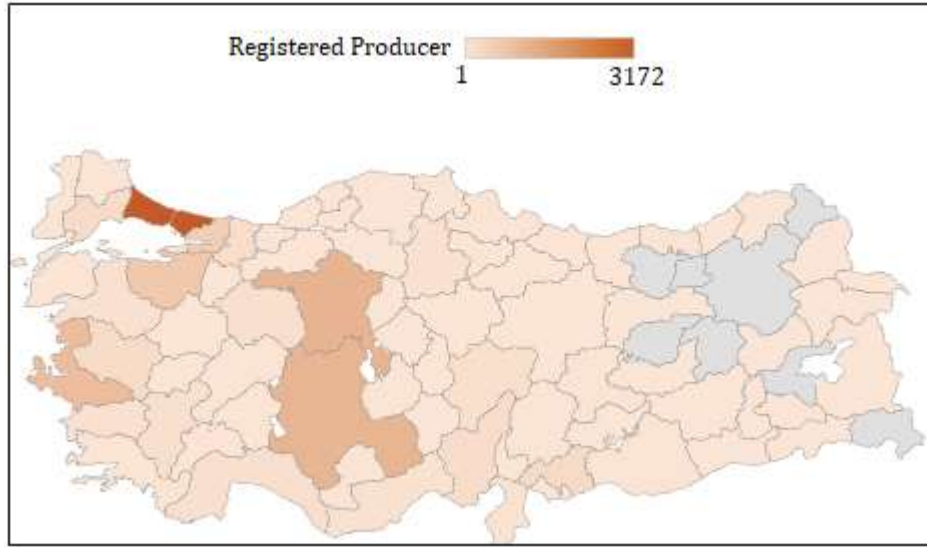


Figure 1. Distribution of companies by province in the field of Manufacturing of Machinery Not Elsewhere Classified (NACE 28), industrial registry records (TOBB Sanayi Veritabanı, 2022).

### B. A General Overview of the Industrial Sector in Düzce

Düzce province is located in the Western Black Sea Region of Turkey and has a surface area of 739.1 km<sup>2</sup>. Düzce deeply felt the devastating effects of the earthquakes in 1999, both economically and socially. The existing industrial infrastructure of the province was seriously damaged, especially after the second earthquake (November 12, 1999) centered in Düzce-Kaynaşlı, and production losses and therefore unemployment became an important problem. Following the earthquakes, a new process began in Düzce, which was separated from Bolu and gained provincial status on December 9, 1999, and efforts to eliminate the effects of the earthquakes began (Düzce İli Sektörel SWOT Analizi, 2017).

One of the most important of these studies was the Investment Incentive Law No. 5084, which was published and entered into force in February 2004. After the relevant law, Düzce became one of the most advantageous provinces due to its geographical advantage among the provinces included in the scope, thus attracting intense interest from investors. In addition, with the "Decision on State Aids in Investments", which came into force after being published in the Official Gazette dated 19.06.2012 and numbered 28328, Düzce benefited from the 4<sup>th</sup> Region advantages until 2021 (T.C. Düzce Valiliği; Sanayi ve Ticaret, 2022).

According to the database of the Ministry of Industry and Technology of the Republic of Turkey, there are 5 Organized Industrial Zone (OIZ)s, 1 Technology Development Zone, 10 R&D and 2 Design Centers in Düzce, 3 of which are active (I. OIZ, II. OIZ and Gümüşova OIZ). When region-specific advantages are added to these data, Düzce is an important investment center (T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı; MEYDİP, 2022 ve T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı; AR-GE, Tasarım Merkezleri ve TGB Veritabanı, 2022).

Depending on all these developments, the population of the province is constantly increasing. The population, which was 159960 in 2000, has reached 400976 people today. The province's net migration rate is 6.60% and its gross domestic product per capita is 43749 TL, according to 2019 TÜİK data (TÜİK; Coğrafi İstatistik Programı, 2022).

According to TOBB Industry Database Data (as of May 05, 2022), the number of companies in Düzce is 456, the number of capacity reports is 484 and the number of employees in these companies is 31693.

Details of the number of employees of companies operating in Düzce are given in Table 3. As can be seen from the table, a large portion of the companies operating in Düzce have KOBİ status - as is the case in Türkiye (TOBB Sanayi Veritabanı; İl Genel Durumu, 2022).

Table 3. Employee distribution by range for Düzce province (TOBB Sanayi Veritabanı; İl Genel Durumu, 2022).

Number of employees	Number of capacity reports	Total employees
1-10	157	936
11-20	75	1120
21-50	107	3866
51-100	60	4312
101-250	60	9358
250+	25	12101
<b>Total</b>	<b>484</b>	<b>31693</b>

The sectors that have the most facilities and provide employment in Düzce are the textile industry, forest industry, furniture industry, metal-machinery industry, food industry, rubber-tyre-plastic industry, mining industry, construction industry, automotive industry and chemical-pharmaceutical industry (T.C. Düzce Valiliği; Sanayi ve Ticaret, 2022). According to TOBB Industry Database Data, the top 15 most coded activity areas on a provincial basis are given in Table 4. As seen in the table, the textile industry, forest industry and furniture industry are very effective areas of activity in Düzce (TOBB Sanayi Veritabanı; Faaliyetlere Göre İl Genel Durumu, 2022).

Table 4. The top 15 most coded activity areas in Düzce.

Order	Code	Explanation	Number of capacity reports
1	14.14	Underwear manufacturing	44
2	16.10	Mowing and planning trees	41
3	14.13	Manufacture of other outerwear	28
4	13.99	Manufacture of other textiles not elsewhere classified	25
5	16.21	Wood veneer panel and wood-based panel manufacturing	23
6	31.09	Manufacturing of other furniture	18
7	10.39	Processing and storage of fruits and vegetables not elsewhere classified	18
8	14.31	Knitted (knitwear) and crocheted socks manufacturing	15
9	38.32	Recovery of sorted materials	15
10	22.21	Manufacturing of plastic sheets, sheets, tubes and profiles	15
11	25.11	Manufacturing of metal structures and building parts	14
12	29.32	Manufacture of other parts and accessories for motor vehicles	13
13	16.22	Manufacturing of combined parquet flooring	12
14	14.19	Manufacture of other clothing items and clothing accessories	12
15	08.11	Quarrying of decorative and building stones and limestone, gypsum, chalk and slate (slate)	11

### C. Current circumstance of the Machinery Sector in Düzce

The machinery sector activity field data, which is the focus of this section, was also obtained from the TOBB Industry Database and discussed. According to these data, the number of registered companies operating in the NACE 28 (Manufacture of machinery and equipment not classified elsewhere) sector in Düzce is 33, the number of capacity reports is 33 and the total employment in this field is 1380. To make a general evaluation, the number of companies in this field corresponds to 7.2% of the companies operating in Düzce, and employment in this field corresponds to 4.3% of the total employment of the province (TOBB Sanayi Veritabanı; İl Genel Durumu, 2022).

The district-based distribution of companies operating in the machinery sector in Düzce is shown in Figure 2 (TOBB Sanayi Veritabanı; Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022). As can be seen, approximately 58% of the companies are clustered in the city center. One of the important reasons for this circumstance



is the logistic advantage and the other is the location of two large organized industrial zones in the central district. However, it is seen that the most companies are located in Gümüşova district after the Central district. The fact that this district is on the TEM highway and the D-100 highway is a great advantage, especially in terms of logistics. In addition, the impact of Gümüşova OIZ is also quite great.

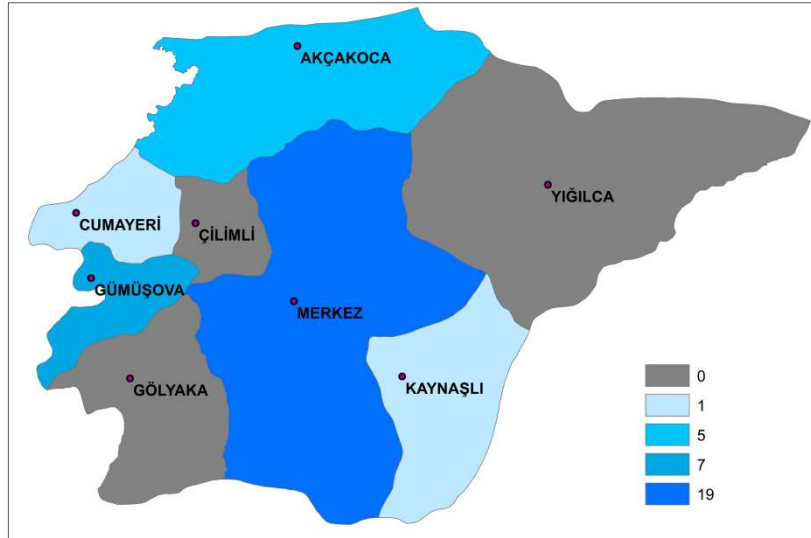


Figure 2. District-based distribution of companies operating with NACE 28 code in Düzce (TOBB Sanayi Veritabanı; Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022).

The information of the companies operating in Düzce with the NACE 28 code (in addition to their production in different activity codes) and the production details of these companies are given in Table 5 (TOBB Sanayi Veritabanı; Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022).

As can be seen from the table, a large number of machinery needed in Turkey and the world can be manufactured in Düzce province. Although the manufacturing of agricultural machinery and forest products processing machines seems to be at the forefront since Düzce is an agricultural and forest region, many machinery production such as machine parts manufacturing, mold manufacturing, plastic injection machines and foundry machines are also carried out.

Table 5. Companies operating in the Machinery Sector (NACE 28) in Düzce (TOBB Sanayi Veritabanı; Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022).

Company Name	District	Product Codes	Company Product Description
Türkan Makina Plastik İmalat Sanayi Ticaret Limited Şirketi	Center	25.73.60.65.00	- Various Mold Manufacturing - Plastic and Wooden Machine Molds
		28.22.17.70.00	- Various Mold Manufacturing - Plastic and Wooden Machine Molds
		28.22.18.40.00	- Hydraulic Freight Lifts
		28.30.86.30.00	- Tree Length Sizing Machine - Stoylok (Tree Peeling Apparatus and Channel Opening) Production and Spare Parts
		28.41.31.40.00	- Plywood Cold and Hot Deck Press
		28.49.12.33.00	- Sheet Machine
		28.49.12.75.00	- Slitting Machine - Papel Dryer Front Loading and Rear Discharge Apparatus - Papel Peeling and Drying Machine
		28.95.11.17.00	- Wallpaper Machines
		28.95.11.90.00	- Lacquering Machine (Glue Applying) - Papel Glue Applying Machine
		28.96.10.75.00	- Laminating Machine - Plastic Packaging Machine - Bag Machine
		28.99.14.50.00	- Intaglio Machine

		28.99.31.30.00	- Impregnation Drying Oven - Timber Drying Ovens - Drying Ovens
		28.99.39.15.00	- Various Bag Filter Dust Silos and Transport Screws
Kefeli Tarım Aletleri, Otomotiv ve Elektrik Malzemeleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Center	28.30.59.30.00	- Automatic Hazelnut Collecting Machine - Vacuum Hazelnut Collecting Machine
		28.30.86.30.00	- Branch Grinding Machine - Dryer - Straw Shredding Machine
		28.93.20.00.00	- Sorting and Classifying Machine
Uluçınar Yapı Malzemeleri Makine Orman Ürünleri İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi Düzce Şubesi	Center	28.30.86.30.00	- Forestry Goods Marking and Barcoding System Set (Or-Set)
TEMSAY Asansör Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Center	28.22.16.30.00	- Elevator Installation
6 Gen Mühendislik ve Asansör Sanayi Ticaret Limited Şirketi	Center	28.22.16.30.00	- Elevator Installation
Şafak Makina Yedek Parça Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Düzce Şubesi	Center	28.41.12.40.00	- CNC Machining Center (Dental Processing)
		28.41.31.40.00	- CNC Pipe Bending Machine - NC Pipe Bending Machine
		28.41.31.80.00	- Countersink Pressing Machine
		29.32.30.90.00	- Automotive Sub-Industry Products
Kuzeytek Makina Gemi İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Akçakoca	28.30.31.40.00	- Tractor Rear Digger
		28.30.33.50.00	- Shredding Machine - Tractor Front Loader
		28.30.34.30.00	- Solid Fertilizer Spreader
		28.30.70.40.00	- Tractor Trailer
		28.30.83.00.00	- Feed Mixing Machine
		29.20.30.30.00	- Snow Plow Machine - Mop - Front and Rear Scraper
Kummucit Makina Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Center	24.20.13.50.00	- Economical Stove Pipe
		28.30.34.30.00	- Subsoil Fertilizer Spreading Machine
		28.30.39.00.00	- Branch Cutting Tool
		28.30.51.30.00	- Mower
		28.30.60.90.00	- Hazelnut Picking Machine - Snow/Animal Manure Plowing Machine
		28.93.17.60.00	- Hazelnut Cracking Machine
Hamit Gülerim-Han Makina	Center	28.49.12.63.00	- Brush Handle Back Rounding Machine - Brush Handle Sanding Machine
		28.49.12.75.00	- Wood Profile Machine - Brush Handle Machine - Multiple Slitting Machine
		28.49.12.79.00	- Brush Handle Threading Machine
ASTM As Teknik Mühendislik Ticaret Limited Şirketi	Center	28.49.22.30.00	- Apparatus and Fixture - Machine part
DÜZMAKSAN Kalıp Makine Tasarım İmalat Danışmanlık Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Gümüşova	24.33.11.10.00	- Cold Formed Sheet Metal Parts
		25.62.20.00.00	- Various Machine Parts
		25.73.50.20.00	- Various Machine Mold (Plastic Injection, Rubber Injection, Hair Forming, etc.)
		28.49.21.40.00	- Various Mounting Apparatus (Fixtures, Templates, etc.)
DHM Dökümhane Sistemleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Gümüşova	28.29.22.30.00	- Sandblasting Machine
		28.91.11.30.00	- Foundry Machinery
Gerd Wolff Makina Sanayi Ticaret Limited Şirketi	Gümüşova	28.91.11.57.00	- Metallurgical Machinery/Cold Rolling Machines
		28.91.12.50.00	- Cold Rolling Machine Roll

		28.91.12.70.00	- Cold Rolling Machinery Parts and Parts
CEMA Makina ve Kalıp Sanayi Anonim Şirketi	Center	25.40.14.00.00	- Miscellaneous Weapon Parts
		28.41.40.50.00	- Machine Spare Part
Koçaloğlu Makina Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Akçakoca	28.41.32.60.00	- Guillotine Scissors
ENDMAKSAN Mühendislik Makine İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Center	25.11.23.60.00	- Various Steel Construction - Stainless Steel Pressure Tank
		25.11.23.70.00	- Aluminum Pressure Tank
		28.92.28.00.00	- Snow Knife
		28.92.30.90.00	- Asphalt Patching Robot - Salt Unit
		28.92.62.00.00	- Various Steel Machinery/Industrial Equipment
		29.20.23.00.00	- Trailer/Frigo/Trailer
Aktaş Grup Makina Cam Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Düzce Şubesi	Center	28.49.11.70.00	- Glass Cutting Line - Glass Cutting Machine - Glass Loading Machine - Insulating Glass Production Machines - Laminated Glass Cutting Machine
Uçak Plastik Kalıp Metal İthalat İhracat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Gümüşova	22.22.13.00.00	- Plastic Injection Products
		28.96.20.00.00	- Plastic Goods Mold and Machine Parts
Pronom Makine Sanayi Ticaret Anonim Şirketi	Center	28.99.39.55.00	- Special Purpose (Specific) Machine
Talyum Endüstriyel Mutfak ve Mutfak Banyo Ekipmanları Sanayi Ticaret Limited Şirketi	Kaynaşlı	28.93.32.00.00	- Fryer Basket Made of Tin-Coated Steel - Stainless Steel Fryer Basket
Mustafa Onur Çatak Onur Makine	Akçakoca	28.92.40.30.00	- Hazelnut Crushing, Yield Machine
Egemak Makina Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Center	28.93.15.30.00	- Rotary Oven - Deck Oven - Tunnel Oven
		28.93.17.70.00	- Rest Tunnel - Bread Packaging Machine - Various Dough Processing Machines
CİSA Pres Döküm Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Gümüşova	28.14.12.33.00	- Bathroom battery - Sink Mixer - Sink battery
		28.14.12.35.00	- Brass Faucet
Anadolu Rulman İmalat Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Cumayeri	28.15.10.30.00	- Ball Radial Bearing
		28.15.10.90.00	- Roller Bearing
		28.15.39.50.00	- Ground Honed Shaft
Orent Orman Ürünleri Makina İnşaat Taahhüt Turizm Tarım Nakliyat Ticaret ve Sanayi Limited Şirketi	Center	25.11.10.30.00	- Cable Degassing Chambers
		25.93.12.30.00	- Tobacco Drying
		28.21.13.55.00	- Steaming Ovens and Equipment - Heat Treatment Furnaces - Drying Ovens and Equipment
Karlas Lastik Sanayi Ticaret ve Turizm Limited Şirketi	Center	22.19.30.55.00	- Concrete Pump End Hose
		22.19.73.47.00	- Gaskets and Wedges - Rubber Piston Wedge
		24.20.40.73.00	- Concrete Pump Intermediate Pipe
		24.51.30.30.00	- Double Wall Elbow
		25.62.10.05.00	- Machined Steel Semi-Finished Parts
		28.13.31.00.00	- Pump 1st outlet - Pump 2nd Output - Pump Pants Pipe - Pump S-Tube

		29.32.30.90.00	- Mixer Folding Trough
Mas-Daf Makina Sanayi Anonim Şirketi	Center	25.29.11.30.00	- Expansion Tank
		28.13.13.20.00	- Gear Pumps (0.75-10 HP)
		28.13.14.13.00	- Submersible Type Single Stage Centrifugal Pumps (1-750 HP)
		28.13.14.30.00	- Self-Priming Horizontal Shaft Centrifugal Pumps (1-200 HP) - Column Pumps (0.5-750 HP)
		28.13.14.51.00	- Dry Rotor "In-Line" Type Centrifugal Pumps (0.5-750 HP) - Single Stage Horizontal and Vertical Shaft Centrifugal Pumps (0.5-2500 HP)
		28.13.14.55.00	- Double Suction Detachable Casing Horizontal and Vertical Shaft Centrifugal Pumps (15-6000 HP)
		28.13.14.60.00	- Multistage Horizontal and Vertical Shaft Centrifugal Pumps (1.5-5000 HP)
		28.13.14.80.00	- Complete Stainless Vertical and Horizontal Shaft Centrifugal Pumps (0.5-5000 HP) - Automatic Suction Systems - Package Booster Systems (1-200 HP) - Fire Extinguishing Groups (3- 1000 HP)
TGM Kule Vinç Sanayi ve Dış Ticaret Limited Şirketi	Gümüşova	28.22.14.40.00	- The tower crane
Volta Motor Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	Gümüşova	28.22.15.70.00	- Electric Three Wheel Freight Vehicle
		29.10.59.90.00	- Gasoline ATV - Electric ATV
		30.91.11.00.00	- Gasoline MOPED - Gasoline Three Wheel MOPED
		30.91.12.00.00	- Gasoline Motorcycle
		30.92.10.50.00	- Bicycle - Electric bike - Electric MOPED - Electric Motorcycle - Electric Three Wheel MOPED - Electric Personal Vehicle
Yağmur Traktör Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Düzce Şubesi	Center	28.30.10.00.00	- Tractor
		28.30.21.00.01	- Pickup Truck Type Tractor (Tracar)
Isı-Tan Isıtma Soğutma Yedek Parça ve Makina Sanayi Ticaret Limited Şirketi Düzce Şubesi	Center	28.25.13.90.00	- Process Coolers
		28.29.60.90.00	- Mold Conditioner (Heater) - Process Heaters
Akafor Membran Sistemleri Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Akçakoca	28.29.12.50.00	- Anionic-Cationic Resin System - Cataphoresis Anode Cell - Cataphoresis Electrode 316 - Cataphoresis Uf Module and Circulation System - Stainless Bag Filter Case - Stainless Uf Module Cover Set - Ro-Nf System
SESA Filtre ve Plastik Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi	Akçakoca	28.29.13.30.00	- Bag Filter

The machinery sector in Düzce employs 1380 people. The distribution of employees within this employment is given in Figure 3. As can be seen from the graph, a large portion of the employees have the status of workers (891 people), and their rate in total employment is approximately 65%. This rate is an expected circumstance, especially for a labor-intensive sector such as machinery manufacturing. However, the proportion of those working as masters or technicians in total employment is only 2.5%. This rate is

worrying in terms of activities such as improving product quality, maintaining and raising the service standard, and training newly employed personnel.

Additionally, employment of engineers constitutes approximately 6.1% of the total employment in this field. A large part of this rate is concentrated in companies that are already engaged in R&D activities or have to employ engineers due to legal regulations. Of the 33 companies examined, 9 have no engineers, 10 have no technicians, and 4 have no employees in the master category. With the new incentive packages announced by Small and Medium Enterprises Development Organization (KOSGEB), it is predicted that the employment of university graduates will increase in companies.

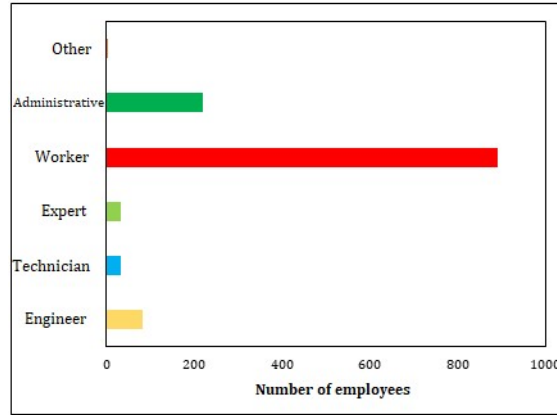


Figure 3. Distribution of Employees in Düzce Machinery Sector (TOBB Sanayi Veritabanı; Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022).

#### D. Import and Export Circumstance of Düzce and Düzce Machinery Sector

In this section, import and export data are compared both for Turkey-Düzce in general and for Türkiye-Düzce Machinery Sector specifically. The contribution of Düzce province to Türkiye's exports over the years is very important in terms of creating the road map of this study.

Export and import figures by year, created from TÜİK data, are given in Figure 4a and Figure 4b, respectively (TÜİK; Dış Ticaret İstatistikleri, 2022). When Düzce's export figures are examined, it is seen that the total exports of Düzce province are 280 million 617 thousand dollars, according to TÜİK data for 2021. With this export figure, Düzce is the 44th province with the most exports. Considering that Türkiye's total export figure for 2021 is approximately 225.2 billion, Düzce's proportional contribution to Türkiye's exports is approximately 0.12% (TÜİK; Dış Ticaret İstatistikleri, 2022). Considering important factors such as Düzce province's logistics advantages, industrial infrastructure and proximity to big cities, it becomes clear that this export figure must go much higher.

While Türkiye's total imports in 2021 were 271.4 billion dollars, the imports of Düzce province were 216 million dollars. With this import figure, Düzce became the 31st province with the most imports (TÜİK; Dış Ticaret İstatistikleri, 2022).

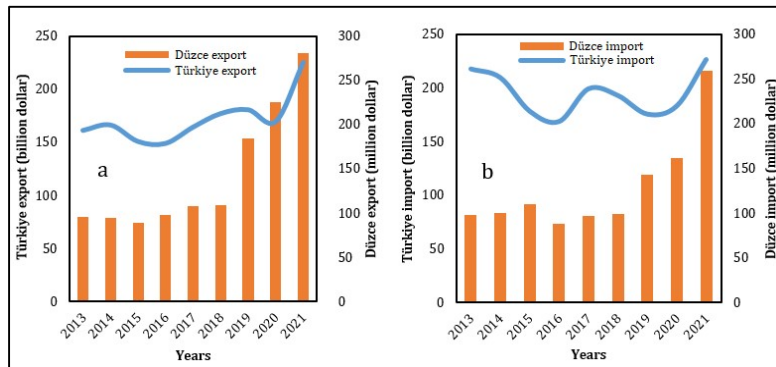


Figure 4. Comparison of export (a) and import (b) data of Türkiye and Düzce province (TÜİK; Dış Ticaret İstatistikleri, 2022).

The changes in Düzce-specific machinery and equipment manufacturing export and import data examined within the scope of this study were requested from TÜİK by official correspondence and compiled from the database and given in Figure 5.

As seen in the figures, there is a significant jump in the export data of machinery and equipment manufacturing not classified elsewhere in Düzce (Figure 5a) in 2019 and onwards. The most important reasons for this circumstance are the serious increase in the activities of I. OIZ, II.OIZ and Gümüşova OIZ as of this date. In addition, other important factors are the increase in the number of capacity reports, which were low before 2019, and the increase in foreign labor costs. Although Türkiye turned into an alternative to China during the global epidemic period, sector exports tended to decrease in 2020, the year in which the epidemic showed its effects most deeply, but recovered in 2021. According to 2021 data, total exports in this field reached 61.9 million dollars with 15 thousand tons of products. When it is remembered that Düzce's total exports for the same year were approximately 280.7 million dollars, it can be seen that the machinery sector alone met approximately 22% of the province's total exports. These export figures are important as they show that the machinery sector is a locomotive sector for Düzce.

When import data for the same sector is examined (Figure 5b), it is seen that the import figures of the sector have also increased as of 2019. Since this period, increasing industrial investments and imported machinery inputs have been factors in the increase in import figures. As a result of increasing exchange rates, machinery imports have increased greatly, especially from countries such as China or Taiwan. According to 2021 data, 18.65 thousand tons of products and 94.43 million dollars were imported in the machinery sector. This value constitutes approximately 44% of the province's total imports for the same year. The size of this ratio is very important as it reveals the importance of efforts to reduce imports in the machinery sector.

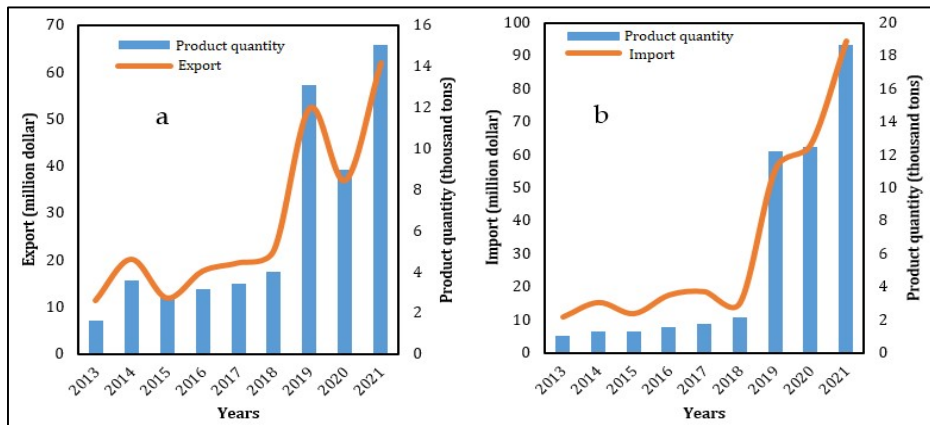


Figure 5. Export and import data of Düzce province Machinery Manufacturing Not Elsewhere Classified.

In Düzce, the top five activity areas with the highest export and import figures in the machinery sector in 2021 are given in Table 6. As seen in the table, the most important field of activity in the field of export in Düzce is the manufacturing of agricultural and forestry machinery. Düzce has been in a very good position in the field of forest industry for many years. For this reason, companies producing machinery in this field are very experienced and have high export capabilities. Especially drying and steaming ovens, wood peeling and sizing machines are important export items in the field of forestry in Düzce.

Table 6. Düzce machinery sector export and import figures for 2021.

Export		Imports	
Activity name	Number (Million dollars)	Activity name	Number (Million dollars)
Agricultural and forestry machinery manufacturing	34.13	Agricultural and forestry machinery manufacturing	51.05
Other pump, compressor, tap and valve manufacturing	13.46	Manufacturing of metal processing machines and machine tools	13.49
Manufacture of other special-purpose machines	3.64	Manufacturing of other general purpose machines	11.80
Manufacturing of other general purpose machines	2.76	Manufacturing of bearings, gear/gear sets, transmission and drive elements	9.02
Manufacturing of lifting and carrying equipment	2.21	Other pump, compressor, tap and valve manufacturing	2.31

When the import section of the same table is examined, it is seen that the primary field of activity in imports is the manufacturing of agricultural and forestry machinery. The reason for this circumstance is that, due to increasing domestic costs, companies, especially in the forestry sector, import and install tree peeling and drying machines from China. Especially in recent years, machines of Taiwan and China origin have shown themselves in every sector, and this has increased the amount of imports. The reason for the high imports of the metal processing machines and machine tools manufacturing activity area, which ranks second in the import rankings, is also the same. Especially in recent years, Taiwan and China have been preferred for CNC manufacturing.

## II. EXPORT AND IMPORT PROBLEMS OF DÜZCE MACHINERY INDUSTRY

### A. Factors Affecting the Use of Imported Inputs in Düzce Machinery Sector and Reasons for Imported Dependence

According to the export and import data specific to Düzce province, which is examined in detail in Section 2, although there was a significant increase in export figures after 2019, import data also increased significantly. The reasons for this increase in import figures, both in terms of foreign currency and product amount, have been evaluated under this heading, based on the meetings held with Düzce TSO 4th Professional Committee Members and the results of the survey filled out by company representatives.

There was a significant increase in capacity reports in Düzce in 2019 and afterwards. For this reason, there is a significant increase in both export and import figures after this year. The biggest reason for the increase in import figures in the Düzce machinery sector, especially in recent years, is the shift of machinery supply abroad as a result of increasing exchange rates and rising costs (labor, energy, etc.).

Machinery installations for the agriculture and forestry sector in Düzce constitute one of the largest markets of the Düzce machinery sector. In recent years, due to increasing domestic costs, equipment such as drying facilities, woodworking machines, etc. have started to be supplied from countries such as China and Taiwan. Although the machines coming from these countries are lower in quality than domestic companies, economic factors direct companies to import. Similarly, it is seen that import figures are quite high in the field of metalworking machines and machine tools manufacturing. The most important reason for this circumstance is that CNC machines and benches are imported from countries such as China and Taiwan.

Meetings held and observations made in the sector have shown that one of the important obstacles to reducing imports and increasing exports is short company lifespans and limited sustainability. As is the case throughout Türkiye, company lifespans are quite short in Düzce. This circumstance creates a deficiency in institutional, experience and trust and limits global competition. However, examples of company mergers or collective work, which are important in terms of increasing exports, are quite limited in Düzce.

Therefore, companies struggle only with their individual competitiveness, which is not enough in most cases.

Another important problem in the Düzce machinery sector is the problems experienced in after-sales services in the sector. In fact, although this circumstance is directly related to the employment of qualified personnel, it is seen as important in terms of creating trust and continuity problems in both the domestic and international markets.

### *B. Foreign Trade Advantages and Disadvantages in Düzce*

Düzce is in a very important position as it is located in the middle of two big cities such as İstanbul and Ankara. However, it is also very close to industrial centers such as Gebze, İzmit, Sakarya and Bursa. For this reason, Düzce is an advantageous city in terms of logistics. These advantages have brought Düzce to an important position in terms of production and industrialization, especially in the last 10 years. Düzce is a very important production center for companies with a very high export capacity throughout Türkiye and many of the local machinery sector companies serve as suppliers. This is an important advantage in terms of increasing the production capacity of the sector and improving the quality of production.

Düzce is also located very close to the ports. Sakarya-Karasu and Zonguldak-Ereğli ports are very accessible. This minimizes logistics costs. Although Düzce has the coastal district of Akçakoca, this district does not have a commercial port. As a result of the discussions about whether this circumstance creates any disadvantages, some company officials said that Karasu and Ereğli ports are sufficient and that the sector does not need a port for now, while others stated that a port project to be built in Akçakoca could be beneficial.

In the interviews held with sector companies, it was stated that the energy quality problems experienced in electricity transmission in the past years have been largely resolved and infrastructure problems are few. All these points are important advantages in terms of export and production.

Düzce was included in the third region in investment incentive practices with the publication of the Presidential Decree No. 31220 dated 21 August 2020 in the Official Gazette. For this reason, it has lost some of the advantages it previously had within the scope of the fourth region. This change causes companies operating in Düzce Central District, Akçakoca and Gümüşova to benefit less from important support items such as tax deduction, insurance premium support, interest or dividend support, in terms of duration or rate. However, according to the same decision, 5 districts of the province (Çilimli, Cumayeri, Gölyaka, Kaynaşlı and Yığılca) continue to benefit from sub-regional incentives (4<sup>th</sup> Region). For this reason, these districts are expected to be an important investment point. However, if the company's investments are within the scope of OIZ, it is possible to benefit from the 4<sup>th</sup> Region incentives. The fact that there are 5 OIZs in Düzce, 3 of which are active, is very important for investors who want to benefit from these incentives.

According to the Annex-2B (Sectors that can benefit from Regional Supports) section of the Presidential Decree No. 31220 dated 21 August 2020, the Machinery and equipment manufacturing sector in Düzce can benefit from incentives. This is important for promoting regional sector investments and exports.

Düzce province is in the drinking water basin of İstanbul and is in the İSKİ protection area. Therefore, very strict restrictions apply. Although these restrictions are quite appropriate in terms of environment and health, they cause some companies in the sector not to invest, and they cause existing companies to not be able to carry out some production operations in Düzce. For example, galvanized coating must be applied to a large part of the machine parts, but this is not allowed. For this reason, sector companies receive this service from other cities, which increases costs.

The lack of customs in Düzce is also a factor that negatively affects exports. Düzce sector companies use Sakarya for customs. This circumstance increases logistics costs significantly. However, since there is no customs in Düzce, customs services cannot be carried out on-site. This circumstance emerges as another important factor affecting companies.

### *C. Qualified Personnel Employment Problems in Düzce*

Verbal interviews with both professional committees and companies show that the employment of qualified personnel is one of the biggest problems facing production and exports in Düzce. Companies operating in the sector are experiencing serious difficulties in meeting the need for not only qualified but



also unqualified personnel to be trained. According to the titles of the employees, the greatest demand is for workers, technicians and technicians, respectively. These professional groups are the backbone of the machinery manufacturing industry and are very important in terms of production continuity and quality. The biggest problem regarding the employment of engineers, which is also one of the important needs of the sector, is the distant attitude of some newly graduated engineers towards working in the labor-intensive manufacturing sector.

In Düzce, many companies experience workforce losses, especially in August, when the hazelnut harvest begins. During this period, absenteeism and even work stoppages increase. In addition to periodic workforce loss in Düzce, another important problem regarding employment is the low corporate affiliation of employees. For this reason, company changes occur frequently. These problems not only lead to the need for new personnel, but also lead to significant losses in terms of material and production due to the training of new personnel.

Although the employment of qualified personnel is very critical, especially in a high-tech field such as machinery manufacturing, some companies train and employ unqualified personnel or untrained personnel in the relevant field in order to complete their deficiencies at this point. This circumstance can cause disruptions and malfunctions in the operation of expensive and critical equipment such as CNC and lathes.

### III. CONCLUSION AND SUGGESTIONS

The surest way to reduce imported input use and import dependency is undoubtedly to increase domestic production. Only in this way can foreign dependency on purchasing machinery and equipment be reduced. Especially in recent years, domestic production costs have increased significantly in the machinery sector, as in all sectors. The most important of these costs are raw material, logistics, energy and employee costs. All these costs also increase the price of the machinery and equipment produced. In summary, the most effective solution to reduce imported input use and import dependency is government incentives.

Although there are incentives from institutions such as the Ministry of Industry and Technology, KOSGEB, etc., it is considered important that these incentives are constantly updated according to changing market conditions. However, perhaps the most striking point in the interviews held with the sector was that some sector representatives stated that they did not have enough information about the supports. At this point, especially Düzce Chamber of Commerce and Industry has important duties. Recently, Düzce Chamber of Commerce and Industry has been organizing visits to the chamber members and providing information about the Ministry of Industry and Technology, KOSGEB, Ministry of Commerce, İŞKUR and SGK incentives and grants. It would be appropriate for these information activities to continue and even for representatives from relevant institutions to participate in these information activities.

Customs duty exemptions, both in Düzce and throughout Türkiye, are very important for the sectors. Customs duty exemption is applied for investment goods, machinery and equipment to be procured from abroad within the scope of the Investment Incentive Certificate by the Ministry of Industry. However, this exemption only covers new machinery and equipment. In other words, used or renewed machinery and equipment cannot be procured within the scope of the incentive certificate. For this reason, sector companies import new machinery and equipment, even if it is more expensive, which leads to an increase in import figures. In the interviews with sector companies, it was particularly emphasized that it is important to include the purchase of second-hand machinery and equipment within the scope of incentives. In some cases, especially from European countries, there are very high quality second-hand machines, but since they are not within the scope of customs duty exemption, the sector is forced to turn to countries such as China or Taiwan. At this point, it may be recommended to provide customs duty exemption, albeit at certain rates, for used machinery and equipment with expertise certificates issued by independent organizations.

It is possible to examine the problems experienced in employment in Düzce in two main frameworks. The first of these is the periodic decrease in the workforce and the other is the problems in accessing qualified personnel. Hazelnut, an important agricultural product in Düzce, is a source of income for many families. As of August, when the hazelnut harvest begins, permit usage increases in many companies. Using permits simultaneously puts a strain on sector companies in terms of production. Another important problem that emerged during this period is the increase in absenteeism and turnover. It seems that the most important

step in reducing the effects of this problem is to accept the problem. Considering that hazelnuts are an important source of income for Düzce and that many people are engaged in hazelnut farming, it becomes clear that companies should take action according to this reality. In fact, when some examples of companies across Düzce are examined, it can be seen that steps have been taken to eliminate this problem. The effects of this problem can be reduced by measures such as reducing company activities during this period and scheduling annual leave usage accordingly. However, devoting this period to maintenance-repair-renovation activities can also be an important alternative.

Problems in accessing qualified personnel and solutions to these problems are a much more detailed issue. In the process that started with the increase of uninterrupted education to 12 years, difficulties began to be experienced in finding personnel to be trained in all branches of industry and commerce. Employment in this age range is limited since most high school graduates tend to receive a university education. The decrease in student enrollment in vocational high schools and the low academic levels of students enrolled in these high schools also affect the sector. Some regulations made by the Ministry of National Education to increase interest in vocational education are quite promising. With the new regulation made in the Vocational Education Law No. 3308, the payment of fees to those who register to vocational training centers and the insurance against work accidents and occupational diseases increases the interest in these institutions. Students registered here receive theoretical training at school 1 day a week and practical training in businesses 4 days a week. This regulation is expected to bring beneficial results to all sectors. In addition, the establishment of vocational training centers in all OIZs so that OIZs can benefit from this opportunity has been a pleasing development. Another justified expectation of the sector at this point is to open private or public vocational high schools within OIZs in Düzce province, as in some cities, that can provide education in line with the employment needs of these regions. It is thought that this practice will be useful in training personnel suitable for regional needs.

The interviews held on increasing the employment of associate and bachelor's degree graduates, which is important in meeting the needs of the sector, showed the inadequacy of internship practice. Since the internship practice in many academic units is generally in the summer months, the backlog in this period cannot be spread over the year. Moreover, this period is often insufficient for the employer to get to know the student with employment potential. One of the main demands from the sector in this regard is the dissemination of the workplace training model called 3+1 and 7+1 to the relevant units of Düzce University. It is an important expectation of the sector that the 7+1 system applied in Düzce University Faculty of Engineering programs on an undergraduate basis, especially in the form of 3+1 in associate degree programs. Although this model is seen as useful for both students and employers, it should be implemented by taking into account the problems coming from different universities. The biggest concern with this model is the difficulties that all students may experience over time in finding a company where they can continue their workplace training. For this reason, it is thought that the transition to this practice should be initiated not in all academic programs, but only in programs where the problem of finding a company is less.

At this point, it is possible to say that the "Employment Angel" project, launched by Düzce University in the Spring semester of the 2021-2022 academic year, is capable of meeting the needs of the sector in this regard. The relevant project ensures that students are matched one-on-one with companies while they are still in their education life. Associate degree students and undergraduate students are matched with companies starting from the fifth semester and receive training at the company within the scope of the course until they complete their education. In this way, students gain experience, expand their skills and learn business discipline while they are still in their education life. Companies both guarantee the employment cycle and are largely relieved of the burden of training their new, inexperienced personnel. It is thought that it is very important to introduce this project to the sector and to include sector companies in this project.

Finally, it should be noted that the wage policies of the sector companies and the social rights they offer to their employees are of critical importance in meeting the need for qualified personnel and increasing the belonging of the working personnel. It seems that companies also have important duties in this regard.

It has been discussed in the previous sections that one of the most important problems mentioned by the companies operating in the sector, specifically in Düzce, is that there is no customs in the city. Although Düzce is a bridge between major cities and close to industrial centers, the logistics costs of companies

increase due to the lack of customs, and the lack of on-site customs service puts difficulties on companies at the point of export. The most important suggestion at this point would be to open a customs office in Düzce. Work in this direction continues and it is expected that the customs office will be put into service in a short time. This has been a pleasing development in terms of facilitating exports. It is recommended that this customs office, which is planned to be opened, be located within the OIZ.

Düzce is located in a very advantageous area in terms of location. It dominates the D-100 and TEM highways and is close to the ports. The TEM exit built in Düzce city center after Gölyaka and Kaynaşlı and located close to both the first and second OIZs was also very useful. There is no problem in transferring products to customs, ports or delivery points throughout Düzce. At this point, the most important problem is the high fuel prices, which is also a problem for the country in general. High fuel prices directly affect companies' costs. Another problem cited by the sector regarding logistics is road and bridge tolls. It is clear that state support is required to solve both problems. Making certain discounts from fuel taxes and road tolls depending on the export and/or production amounts of companies can reduce the problems at this point.

### REFERENCES

- Anadolu Ajansı, Ekonomi, <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiyenin-makine-ihracati-22-milyar-dolari-asti/2470855> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- Düzce İli Sektörel SWOT Analizi, Düzce Ticaret ve Sanayi Odası, ISBN: 978-605-137-650-9, 2017.
- Kalkınma Ajansları, Doğu Marmara Kalkınma Ajansı, <https://ka.gov.tr/sayfalar/dogu-marmara-kalkinma-ajansi-imalat-sanayi--6-138> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- MAKDEF, Makine Sanayi Değerlendirmesi, 2021, <http://www.makfed.org.tr/pdf/2021-degerlendirme-raporu.pdf> (Erişim tarihi: 11 Mayıs 2022).
- Saygılı, H., & Saygılı, M. (2011). Structural changes in exports of an emerging economy: Case of Turkey. *Structural Change and Economic Dynamics*, 22(4), 342-360.
- TOBB Sanayi Veritabanı, Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı illere göre dağılımı, 2022, [https://sanayi.tobb.org.tr/yeni\\_kod\\_liste71.php?kod=28](https://sanayi.tobb.org.tr/yeni_kod_liste71.php?kod=28) (Erişim Tarihi: 01 Mayıs 2022).
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, MEYDİP, <https://meydip.sanayi.gov.tr/vatandas/index> (Erişim tarihi: 15 Mayıs 2022).
- T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, AR-GE, Tasarım Merkezleri ve TGB Veritabanı, 2022, <https://www.sanayi.gov.tr/arge-tasarim-merkezleri-ve-tgb> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- T.C. Teknoloji ve Sanayi Bakanlığı, Makine Sektörü Analiz Raporu ve Kılavuzu, TR52 Bölgesi, ISBN: 978-605-7679-18-5, 2021.
- TOBB Sanayi Veritabanı, Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve ekipman imalatı illere göre dağılımı, 2022, [https://sanayi.tobb.org.tr/yeni\\_kod\\_liste71.php?kod=28](https://sanayi.tobb.org.tr/yeni_kod_liste71.php?kod=28) (Erişim Tarihi: 01 Mayıs 2022).
- TOBB Sanayi Veritabanı, İl Genel Durumu, 2022, <https://sanayi.tobb.org.tr/> (Erişim tarihi: 05 Mayıs 2022).
- TOBB Sanayi Veritabanı, Faaliyetlere Göre İl Genel Durumu, 2022, <https://sanayi.tobb.org.tr/> (Erişim tarihi: 05 Mayıs 2022).
- TOBB Sanayi Veritabanı, Sektör Seçimli İl Genel Durumu, 2022, <https://sanayi.tobb.org.tr/> (Erişim tarihi: 05 Mayıs 2022).
- TÜİK, Coğrafi İstatistik Programı, 2022, <https://cip.tuik.gov.tr/#> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- TÜİK, Dış Ticaret İstatistikleri, Mart 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Dis-Ticaret-Istatistikleri-Mart-2022-45538> (Erişim tarihi: 14 Mayıs 2022).
- TÜİK, İşgücü İstatistikleri, 2021, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Isg-ucu-Istatistikleri-2021-45645> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- TÜİK, Küçük ve Orta Büyüklükteki Girişim İstatistikleri, 2020, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Kucuk-ve-Orta-Buyuklukteki-Girisim-Istatistikleri-2020-41129> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).
- TÜİK, Ücretli Çalışan İstatistikleri, Ocak 2022, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Ucretli-Calisan-Istatistikleri-Ocak-202245818#:~:text=%C3%9Ccretli%20%C3%A7al%C4%B1%C5%9Fan%20say%C4%B1s%C4%B1%20y%C4%B1ll%C4%B1k%20%256,536%20bin%20984%20ki%C5%9Fi%20oldu> (Erişim tarihi: 10 Mayıs 2022).

Research Article

## **Investigation of Drilling Performance of Hardened 32CRMOV12-10 Tool Steel on Electro-Discharge Machine**

Gökhan Bedir<sup>a,\*</sup>, Engin Nas<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Düzce Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Düzce/Türkiye.

<sup>b</sup>Düzce Üniversitesi, Engin PAK Cumayeri Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Düzce/Türkiye.

\* Sorumlu Yazar: [gokhanbedir81@gmail.com](mailto:gokhanbedir81@gmail.com)

### **ABSTRACT**

In this study, EDM process was applied to DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) high-quality cold work tool steel with a hardness of 50 HRC with different processing parameters. The experimental design of the study was prepared using Taguchi L27 orthogonal array. Processing parameters were used three different electrode materials (copper, graphite, tuncop), three different currents (10, 20, 30 Amps), three different pulse durations (200, 400, 600  $\mu$ s), constant cutting depth (1 mm) and constant time off (50  $\mu$ s). Following the experiments, the hole diameters formed by the electrode materials on the material surface were measured. The results obtained were examined experimentally and statistically. The smallest hole diameter was measured as 12.2085 mm in the experiments carried out with the copper electrode, and the largest hole diameter was measured as 12.5284 mm with the tuncop electrode. When the study was examined statistically (Signal-to-noise ratio), it was determined that the most suitable processing parameters to create the ideal hole diameter were 10 Amps current and 200  $\mu$ s pulse duration in copper electrode material. When the analysis of variance (ANOVA) results were examined, it was determined that the most effective machining parameter for the hole diameter was the Amps value of 47.85%.

**Keywords:** *Electro discharge machining, Hole diameter, Taguchi method.*

## **Sertleştirilmiş 32CRMOV12-10 Takım Çeliğinin Elektro-Erozyon Tezgahında Delme Performansının İncelenmesi**

### **ÖZET**

Bu çalışmada, sertliği 50 HRC olan DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) yüksek kaliteli soğuk iş takım çeliğine farklı işleme parametreleriyle EDM işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın deneysel tasarımı Taguchi L<sup>27</sup> ortogonal dizi kullanılıp hazırlanmıştır. Deneylerde işleme parametreleri olarak üç farklı elektrot malzeme (bakır, grafit, tuncop), üç farklı akım (10, 20, 30 A), üç farklı vuruş süresi (200, 400, 600  $\mu$ s), sabit talaş derinliği (1 mm) ve sabit bekleme süresi (50  $\mu$ s) kullanılmıştır. Yapılan deneylerin ardından elektrot malzemelerin malzeme yüzeyinde oluşturduğu delik çapları ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar deneysel ve istatistiksel olarak incelenmiştir. Çalışma sonucunda tüm elektrot malzemeleriyle yapılan deneylerde en küçük delik çapının 200  $\mu$ s ve 10 amper akımda, en büyük delik çapının ise tüm elektrot malzemelerinde 600  $\mu$ s ve 30 amper akımda oluşmuştur. En küçük delik çapının bakır elektrot ile gerçekleştirilen deneylerde 12.2085 mm olarak, en büyük delik çapının ise tuncop elektrot ile 12.5284 mm olarak ölçülmüştür. Çalışma istatistiksel (Sinyal-gürültü oranı) olarak incelendiğinde ideal delik çapını oluşturmak için en uygun işleme parametrelerinin bakır elektrot malzeme, 10 A amper akım ve 200  $\mu$ s vuruş süresi olduğu belirlenmiştir. Varyans analizi (ANOVA) sonuçları incelendiğinde ise delik çapı için en etkili işleme parametresinin %47.85 oranında amper değerinin olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Delik çapı, Elektro erozyon işleme, Taguchi metod.*

## I. INTRODUCTION

Electro discharge machining (EDM) is a non-traditional manufacturing process and has proven to be an effective alternative compared to conventional manufacturing processes. In this electro-thermal process, chip is removed from the material by controlled arcs produced between the tool electrode immersed in dielectric liquid and the workpiece. The high temperature of the discharge current melts and vaporizes the workpiece material and creates overlapping craters on the machined surfaces (Clijsters et al., 2010). During this period, no mechanical cutting force is applied to the workpiece material. All metals that have (the ability to conduct electricity can be subjected to this process (Chen et al., 1999). Since there is no mechanical contact between the two electrodes, the process is able to shape any conductive component, regardless of its hardness, into accurate and complex shapes.

In the early 1980s, local Turkish companies produced EDM machines to meet the needs of the domestic market and Electro-erosion became a production method that can process complex shapes and hard materials to precise dimensions. Machining properties are independent of the hardness, toughness and strength values of the material. On the other hand, processing efficiency depends on the melting temperature and thermal conductivity of the material (Yilmaz et al., 2015) (Yilmaz, 2013) (Her and Weng, 2001). In research aiming to meet the low machining time, high quality and low-cost expectations of the production sector, special importance is given to improving relative wear, workpiece processing speed, average surface roughness and electrode wear rate (Yilmaz et al., 2015). The development of Electro EDM Machining started in 1943 using controlled discharge conditions to achieve precision machining, and since then, EDM technology has developed rapidly and has been used in mold making, micro machining, prototyping, etc. It has become indispensable in manufacturing applications (Dutta et al., 2015). However, understanding arc discharges even at a steady state remains a challenge. The electrical discharge phenomenon in EDM occurs in a very narrow space filled with liquid in a very short time period and involves evaporation and melting of the electrodes and material, thus making both observation and the theoretical analysis extremely difficult (Kunieda et al., 2005).

EDM technology provides significant improvements in terms of time and cost in metals that are very difficult to process in current processes (Yilmaz, 2013). Any conductive material can be processed by electrodischarge. Tooling electrodes that act as templates are required for machining. The negative of the electrode form becomes processed on the material surface. The most important limitation of EDM is that it removes chips very slowly compared to other machines. The second limitation of the bench is the preparation and consumption of electrodes. Electro-discharge machines require other machines to prepare the electrodes (Özgedik, 2014). Additionally, in order to expand the application scope of the EDM method, rotating electrodes with a diameter of 30-50 mm are used in the drilling process (Springborn, 1967). In the surface finishing process, there are different studies such as metal powder mixed with dielectric liquid (Mohri, 1988), surface variability with composite electrode (Mohri et al., 1993), linear machining (Saito et al., 1986).

In this study, the etching process of DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) tool steel, which has a hardness of 50 HRC, will be carried out on the EDM machine using different processing parameters. The test results will be examined both experimentally and statistically to determine the ideal processing parameters. The result of this study will guide researchers for subsequent EDM studies to be carried out with the same material at different processing parameters.

## II. MATERIAL AND METHOD

In this section, the materials, devices, systems used in the experiments and the methods used to evaluate the data obtained are explained.

### A. Material and Electrode

Experiments carried out at room temperature were carried out using a King ZNC-K-3200 brand model plunge erosion bench. DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) steel (Figure 1) with dimensions of Ø15X10 mm, which is difficult to machine, was used as the workpiece. Heat treatment was applied to a hardness of 50 HRC by vacuum hardening method. This material, which is resistant to high temperatures, has recently been widely

used in the defense industry engineering field. Electrolytic copper, graphite and tuncop materials of  $\text{Ø}12 \times 100$  mm size with density of  $8.90 \text{ g/cm}^3$ ,  $1.80 \text{ g/cm}^3$ ,  $15.20 \text{ g/cm}^3$  were used as electrodes, respectively.

Table 1. Chemical composition of DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) steel used in experiments.

Carbon %	Silicon %	Manganese %	Chromium %	Molybdenum %	Vanadium %
0.32	0.35	0.60	3.00	1.00	0.30

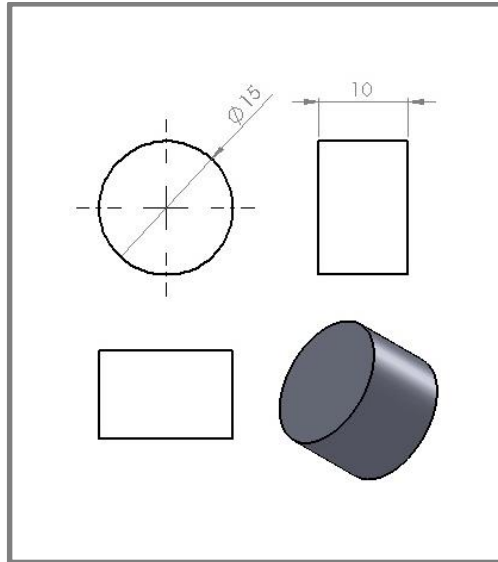


Figure 1. Technical drawing of the workpiece used in experimental studies.

### B. Hole Diameter Measurements

The hole diameters resulting from the abrasions on the material surface of the three different electrodes used in the experiments were determined with the arithmetic average by making 3 different measurements with the Rational VMS-4030G brand video measuring device with a measurement accuracy of  $1/10.000$ .

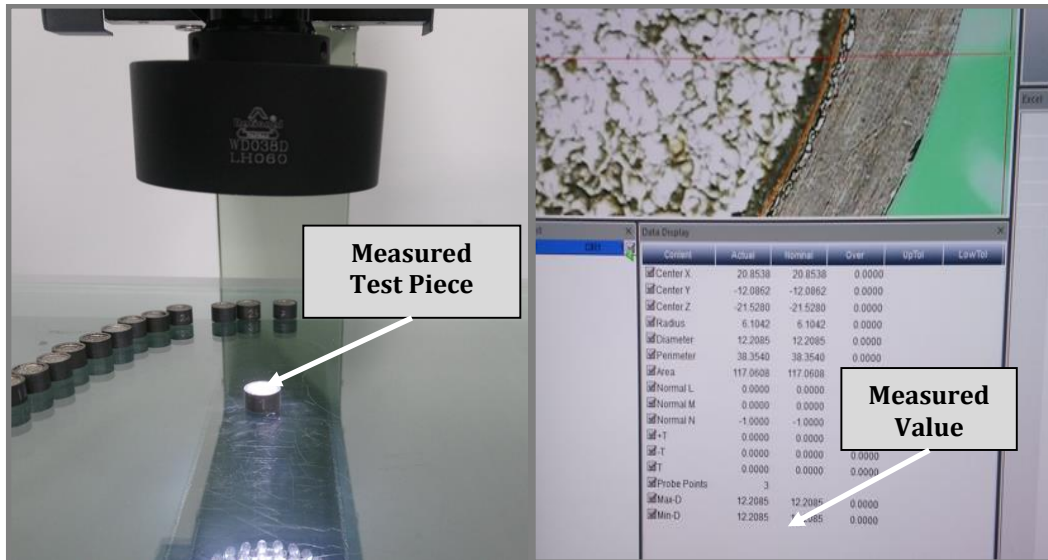


Figure 2. Image of RATIONAL brand VMS-4030G device during hole diameter measurement.

### C. Experimental Parameters

Experiments performed by Taguchi the orthogonal array design is designed according to  $L_{27} (3^3)$  and full factorial design method. The parameters to be used after the preliminary experiments were carried out

were defined as three different pulse durations, current intensity and constant waiting time (Figure 3). The control factors and levels used in the experiments performed are shown in Table 2.

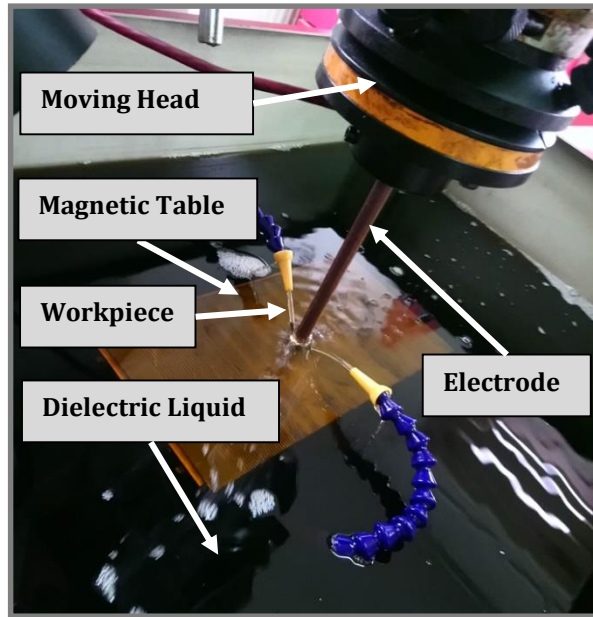


Figure 3. Image of preliminary experiments conducted to determine experimental parameters.

Table 2. Control factors and levels.

Factors	Values	Symbol	Levels
Electrode	Copper, Graphite, Tuncop	A	3
Pulse Duration (Tone), ( $\mu\text{s}$ )	200, 400, 600	B	3
Current (Amps), (A)	10, 20, 30	C	3
Waiting Time (Toff), ( $\mu\text{s}$ )	50	D	1

### III. ANALYSIS AND EVALUATION OF EXPERIMENTAL RESULTS

The average hole diameter values obtained as a result of experimental studies carried out with the electro discharge machining method are shown in Table 3.

Table 3. Average hole diameter values in the experimental study.

Experiment No.	Amps (A)	Time on ( $\mu\text{s}$ )	Hole Diameter $\varnothing$ (mm)		
			Electrode		
			Copper	Graphite	TunCop
1	10	200	12.2085	12.2346	12.2855
2		400	12.2528	12.2785	12.3222
3		600	12.3416	12.3559	12.3569
4	20	200	12.3429	12.3441	12.3613
5		400	12.3521	12.3532	12.4011
6		600	12.4518	12.4733	12.4950
7	30	200	12.3524	12.3662	12.3715
8		400	12.3648	12.3721	12.4526
9		600	12.4905	12.4917	12.5284

Copper, graphite and tuncop electrode materials, as seen in Table 3, the lowest hole diameter average values were 12.2085 mm, 12.2346 mm and 12.2855 mm, respectively, at 200  $\mu\text{s}$  pulse duration and 10 Amps current. It was determined that the average values of the largest hole diameter at 600  $\mu\text{s}$  pulse duration and 30 Amps current processing parameters were 12.4905 mm, 12.4917 mm and 12.5284 mm, respectively. The changes in the average hole diameters of copper, graphite and tuncop electrode materials specified in Table 3 depending on the pulse durations are shown in Figure 4. The hole diameter changes on the material surface at 10, 20 and 30 Amps for copper, graphite and tuncop electrode materials depending on the pulse durations are shown in Figure 5. The hole diameter changes of copper, graphite and tuncop electrode materials at and 10, 20 and 30 Amps depending on the pulse duration are shown graphically in Figure 6.

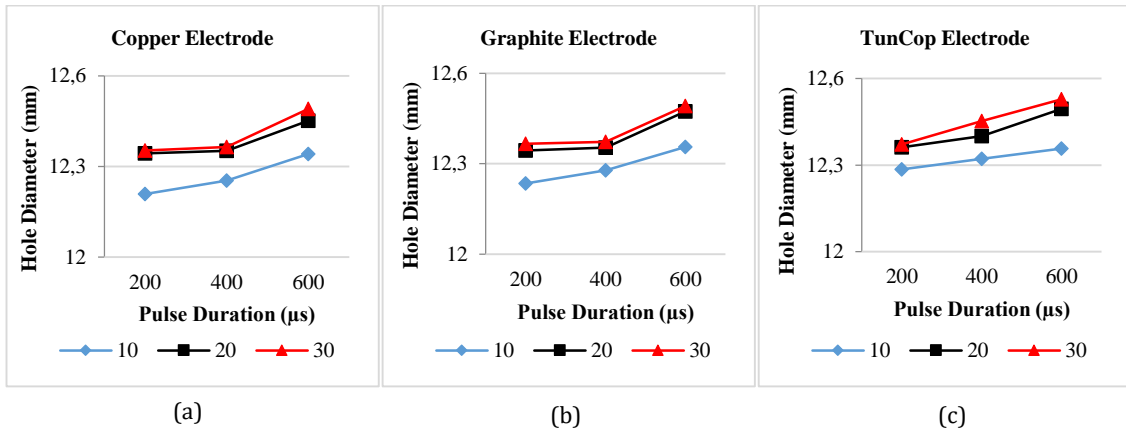


Figure 4. Average hole diameter values compared to pulse times of copper (a), graphite (b) and tuncop (c) electrode.

When the graph in Figure 4 is examined, it is observed that the hole diameter value increases with the increase of pulse duration for copper, graphite and tuncop electrode materials at 10, 20 and 30 Amps current. The hole diameter was larger than the electrode diameter, and as the timeout decreased and the amperage increased, the electrode came into contact with the side walls of the hole depending on the pulse duration, causing a larger diameter to occur (Nas et al., 2021). Therefore, to obtain a specific hole diameter, the pulse duration must be taken into account (Singh et al., 2004).

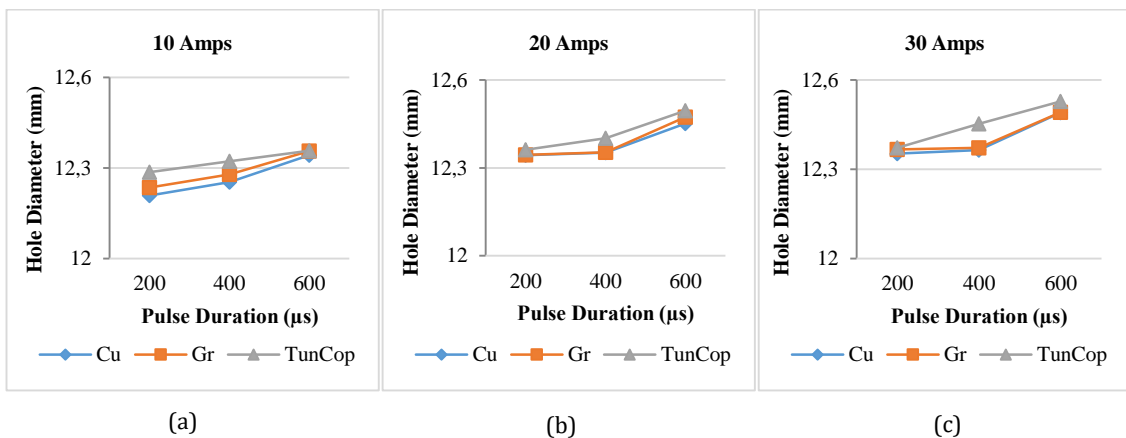


Figure 5. Hole diameter changes on the material surface of the electrodes depending on pulse duration at 10 (a), 20 (b) and 30 (c) Amps current.

When the graph in Figure 5 is examined, it shows that the hole diameter values increase with the increase of pulse duration at 10, 20 and 30 Amps current (Singh et al., 2004). Increasing pulse duration created larger arcs in the machining range, simultaneously causing more evaporation and material removal from the workpiece (Yilmaz, 2013).



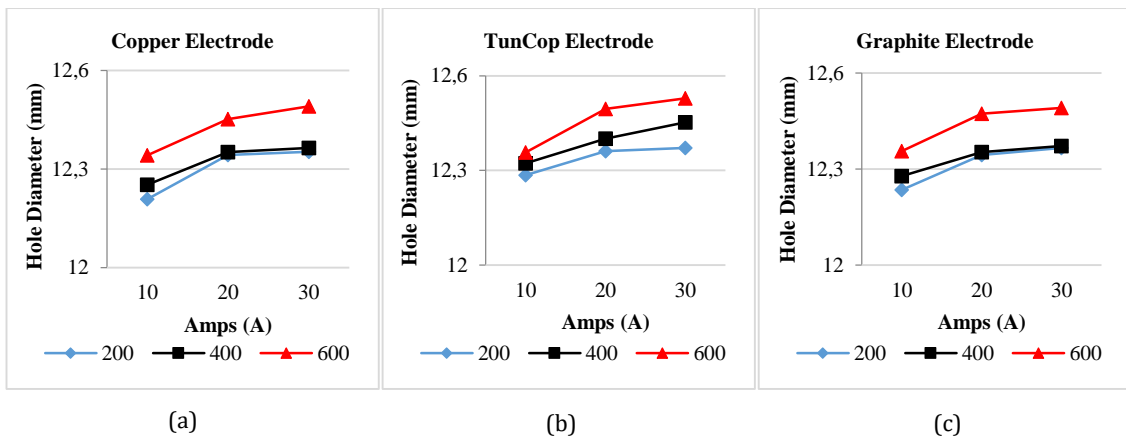


Figure 6. Hole diameter changes of copper (a), graphite (b), tuncop (c) electrode materials depending on pulse duration at 10, 20 and 30 Amps current.

When the graph shown in Figure 6 is examined, it is seen that as the amperage increases for copper, graphite and tuncop electrodes, the hole diameter increases depending on the pulse duration. As the current value increases, the electrode produces sparks with more erosion energy along the hole path. This causes more material to be abraded, resulting in an increase in hole diameter (Yilmaz, 2013).

*A. Taguchi Method*

Taguchi method, one of the most widely used analysis methods, was used to statistically analyze the results obtained. This method was developed by Japanese scientist Dr. It was developed by Genichi Taguchi. In the Taguchi method, the results are converted to Signal/Noise ratio, which is a statistical performance measure. The actual values obtained affect the result as the signal factor, and the factors that affect the result, which are not included in the experimental design, affect the result as the noise factor [16]. In calculating S/N ratios; nominal (written value) is best, smallest is best and largest is best methods are used. For the hole diameter to be closest to the electrode diameter, the "smallest is the best" objective function shown in Equation (1) was used (Nas and Akincioglu, 2019).

$$\text{Most Small -Most Good} : \frac{S}{N} = -10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \tag{1}$$

*B. Signal to Noise Ratio*

The results obtained were analyzed with the Minitab 19 statistical program and the resulting Signal/Noise ratios are shown graphically in Figure 7.

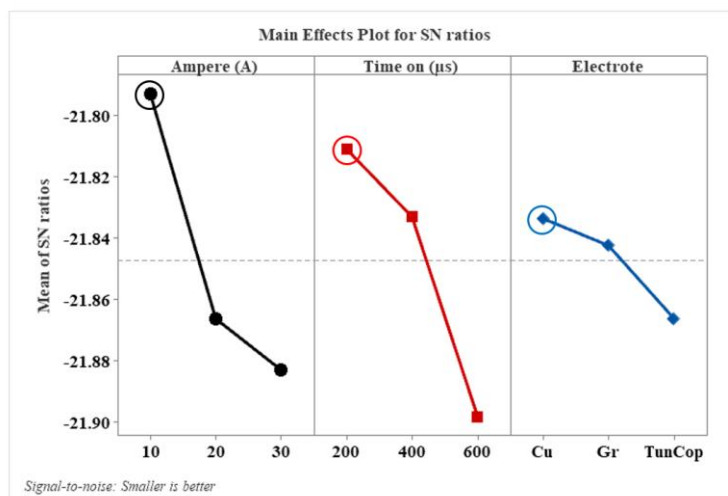


Figure 7. Signal/Noise ratio analysis graph.

The highest vertical point in the graphs is interpreted as the most effective parameter. When Figure 7 is examined, the ideal processing parameter was determined as 10 Amps, 200  $\mu$ s pulse duration and copper electrode in order to ensure that the hole diameter is closest to the electrode diameter.

*C. Variance Analysis*

ANOVA statistical method was used to determine the effect rates of processing parameters. The purpose of ANOVA is to reveal how much input factors affect output values (Özlu, 2021). ANOVA results obtained from the experimental study are shown in Table 4.

Table 4. ANOVA statistical results.

Source	D.F.	Seq SS	Contribution	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Amps (A)	2	0.083623	<b>47.85%</b>	0.083623	0.041812	147.67	0.000
Time on ( $\mu$ s)	2	0.075122	42.99%	0.075122	0.037561	132.65	0.000
Electrote	2	0.010353	5.92%	0.010353	0.005176	18.28	0.000
error	20	0.005663	3.24%	0.005663	0.000283		
Total	26	0.174761	100.00%				
<b>R- sq</b>					96.76%		

When ANOVA results were examined, the most effective parameter was determined to be Amps with 47.85%. When the study was examined, it was determined that increasing the amount of amperage negatively affected the hole diameter. This situation causes large deformation on the material surface with the increase in amperage during the machining process (Pekşen and Kalyon, 2021).

*D. Regression Analysis*

Regression analysis is used to examine the dependence of a variable on one or more quantitative variables. The mathematical model obtained by analyzing the results obtained from the experimental study allows for predicting the results of studies that will be carried out with the same material and different parameters. This prevents loss of time, energy, labor and materials (Özlu, 2021).

Table 5. Mathematical models of the results obtained by regression analysis.

Electrote	
Cu	Diameter (mm) = 12.0984
Gr	Diameter (mm) = 12.1109 + 0.006409 Amps (A) + 0.000311 Time on ( $\mu$ s)
TunCop	Diameter (mm) = 12.1447

**IV. RESULTS**

In this study, the drilling performance of hardened DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) tool steel with copper, graphite and tuncop electrodes was examined experimentally on an electro-erosion bench. After the experiments, the effect of variable parameters on the measured hole diameter results was statistically investigated. The results obtained are presented below in items.

- It was determined that the lowest hole diameter obtained with the copper electrode was 12.2085 mm at 200  $\mu$ s pulse duration and 10 Amps value, and the highest hole diameter was 12.4905 mm at 600  $\mu$ s pulse duration and 30 Amps value.
- It was observed that the lowest hole diameter obtained with the graphite electrode was 12.2346 mm at 200  $\mu$ s pulse duration and 10 Amps value, and the highest hole diameter was 12.4917 mm at 600  $\mu$ s pulse duration and 30 Amps value.
- The lowest hole diameter obtained with the Tuncop electrode was found to be 12.2855 mm with a pulse duration of 200  $\mu$ s and a value of 10 Amps, and the highest hole diameter was found to be 12.5284 mm with a pulse duration of 600  $\mu$ s and a value of 30 Amps.
- It has been determined that the hole diameter increases as the pulse duration increases for copper, graphite and tuncop electrode materials.

- In the experiments, it was determined that the minimum hole diameter for all electrode materials was 10 Amps and 200  $\mu$ s pulse duration, and the maximum hole diameter was 30 Amps and 600  $\mu$ s pulse duration.
- Among the electrode materials, the smallest hole diameter in experiments using copper electrodes is 12.2085 mm, and in experiments using tungsten electrodes, the maximum hole diameter value is 12.5284 mm.
- When the signal-to-noise ratio was examined statistically, it was determined that the most suitable processing parameters to obtain the optimum hole diameter value were copper for the electrode material, 10 Amps for the current value and 200  $\mu$ s for the pulse duration.
- When ANOVA analyses were examined, it was determined that the most effective processing parameter was the amperage value with 47.85%.

## V. DISCUSSION

In the study, optimum conditions were determined for the processing of hardened DIN 32CrMoV12-10 (1.7765) tool steel on the EDM machine, experiments were carried out with different processing parameters (electrode, waiting time, pulse time and amperage) and the electrode forms formed on the machined surface were ensured to be formed at the most ideal values. Since the increase in the pulse duration will cause the effect of the discharge current to last longer, the amount of chip removed by creating much faster melting has directly affected the hole diameter and increased in the measurements. Compared to other studies in the literature, the re-cast layer, micro cracks, micro pits, spherules, craters and surface damage caused by high thermal energy, which are considered disadvantages of the raw hardness material on the machining surface, increase depending on the hitting time (Salman and Kayacan, 2006). It has been confirmed that as the hardness increases, the resistance of the material against abrasion increases in direct proportion, resulting in a decrease in the amount of craters formed on the material surfaces, resulting in better quality surfaces and healthier measurement results in the operations performed.

## VI. CONCLUSION

By calculating the electrode forms that will form on the material with the estimated results, time and cost loss will be minimized, and material with advanced surface quality will be produced in a short time compared to different processing methods.

## ACKNOWLEDGEMENT

I would like to express my sincerest gratitude to the academic and administrative department of Dr. Engin PAK Cumayeri Vocational School.

## REFERENCES

- Chen, S. L., Yan, B. H., & Huang, F. Y. (1999). Influence of kerosene and distilled water as dielectrics on the electric discharge machining characteristics of Ti-6Al-4V. *Journal of Materials Processing Technology*, 87(1-3), 107-111.
- Clijsters, S., Liu, K., Reynaerts, D., & Lauwers, B. (2010). EDM technology and strategy development for the manufacturing of complex parts in SiSiC. *Journal of Materials Processing Technology*, 210(4), 631-641.
- Dutta, P., Panja, S. C., & Sastry, G. R. K. (2015). An Investigation of Machining Time and Surface Roughness in Wire-EDM for Inconel 800. *Applied Mechanics and Materials*, 789, 20-24.
- Erdem, S., Özdemir, M., Rafighi, M., & Yavuz, M. (2022). Effect of cutting parameters on surface roughness and cutting forces in hard turning of 1.2367 hot work tool steel. *Politeknik Magazine*, 1-1.
- Her, M. G., & Weng, F. T. (2001). Micro-hole machining of copper using the electro-discharge machining process with a tungsten carbide electrode compared with a copper electrode. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 17, 715-719.
- Kunieda, M., Lauwers, B., Rajurkar, K. P., & Schumacher, B. M. (2005). Advancing EDM through fundamental insight into the process. *CIRP annals*, 54(2), 64-87.
- Mohri, N. (1988). Surface modification by EDM-an innovation in EDM with semi-conductive electrodes. In *Proceedings of the Winter annual meeting of the ASME, Chicago, USA* (Vol. 34, pp. 21-31).
- Mohri, N., Saito, N., Tsunekawa, Y., & Kinoshita, N. (1993). Metal surface modification by electrical discharge machining with composite electrode. *CIRP annals*, 42(1), 219-222.
- Nas, E. & Akincioğlu, S. (2019). Electro-discharge machining performance optimization of cryogenically treated nickel-based superalloy. *Academic Platform- Journal of Engineering and Science*, 7(1), 115-126.

- Nas, E., Özbek, O., Bayraktar, F., & Kara, F. (2021). Experimental and statistical investigation of machinability of AISI D2 steel using electroerosion machining method in different machining parameters. *Advances in Materials Science and Engineering*, 1-17.
- Özgedik, A. (2014). Modifications applied to the machine, workpiece and electrode in electro discharge machining. *Technological Research*, 11, 19-38.
- Özlü, B. (2021). Experimental and statistical investigation of the effects of cutting parameters on kerf quality and surface roughness in laser cutting of Al 5083 alloy. *Surface Review and Letters*, 28(10), 2150093.
- Özlü, B. (2021). Investigation of the effect of cutting parameters on cutting force, surface roughness and chip shape in turning of Sleipner cold work tool steel. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 36(3), 1241-1251.
- Pekşen, H., & Kalyon, A. (2021). Optimization and measurement of flank wear and surface roughness via Taguchi based grey relational analysis. *Materials and Manufacturing Processes*, 36(16), 1865-1874.
- Saito, K., Kishinami, T., Konno, H., Sato, M., & Takeyama, H. (1986). Development of numerical contouring control electric discharge machining (NCC-EDM). *CIRP annals*, 35(1), 117-120.
- Salman, Ö., & Kayacan, M. C. (2006). Examination of surface roughness caused by EDM processing of hardened powder metal material. *Engineers and Machinery*, 47(560), 16-22.
- Singh, S., Maheshwari, S., & Pandey, P. C. (2004). Some investigations into the electric discharge machining of hardened tool steel using different electrode materials. *Journal of materials processing technology*, 149(1-3), 272-277.
- Springborn, R. K. (1967). Nontraditional machining processes. *American Society of Tooland Manufacturing Engineers*, Dearborn Michigan, 105-133.
- Yilmaz, V. (2013). *Experimental investigation of drillability of micro holes using electro discharge machining* (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Gazi University Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara).
- Yilmaz, V., Özdemir, M. & Dilipak, H. (2015). Investigation of the effects of machining parameters on basic performance outcomes in drilling AISI 1040 steel with electro discharge machining method. *Journal of Science Design and Technology*, 87(1-3), 417-426.
- Yilmaz, V., Özdemir, M., Dilipak, H. & Uzun, G. (2015). Investigation of surface roughness in drilling micro deep holes in Hadfield steel using electro discharge machining method. *2 International Symposium On Innovative Technologies in Engineering oath Science (ISITES)*, Karabük, Turkey, Jan. 18-20.

Derleme Makalesi

## ***Tıbbi Bir Tekstil Olarak; TheraTogs ve Uygulamaları***

Filiz Dursun

Düzce Üniversitesi, Düzce Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Düzce/Türkiye.

Sorumlu Yazar: [filizdursun@duzce.edu.tr](mailto:filizdursun@duzce.edu.tr)

### **ÖZET**

Hayatımızın hemen her alanına dokunan tekstil ürünleri giyim tekstili, ev tekstili ve teknik tekstil olarak üç alt sınıfta ele alınmaktadır. Bu sınıflar incelendiğinde giyim tekstili ve ev tekstili daha çok moda ve tasarım alanlarında yer alırken teknik tekstil grubu Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmalarının gerçekleştirildiği katma değerli ve fonksiyonel ürünlerin ortaya çıkarıldığı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Araştırmanın amacı; Teknik tekstillerden vücut içine yerleştirilemeyen tıbbi ürünler grubunda yer alan, farklı kompozit tekstil malzemelerinden oluşan, fizyoterapistler tarafından kullanılması tavsiye edilen bir tıbbi malzemeler bütünü olarak bilimsel yolla tasarlanmış, GoldTone, TogRite, Velcro kanca isimleri verilen ürünlerin bir arada kullanılmasıyla oluşan TheraTogs adını alan yüksek performanslı teknik tekstilin özellikleri ve kullanım yerlerini de belirterek tanıtmaktır. Bununla birlikte, TheraTogs ile yapılmış çalışma sonuçlarını inceleyerek, bu malzemeler bütününe etkililiğini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda; araştırmada sırasıyla, teknik tekstiller, Med-tech uygulama alanları, TheraTogs, Spandex ile TheraTogs uygulama alanları ele alınmıştır. Araştırma sonucunda TheraTogs adlı tıbbi teknik tekstil ürününün, uzman kontrolünde doğru şekilde kullanıldığında, çeşitli nöromotor bozuklukların (SP, down sendromu ve diğer kromozomal anormallikler ile travmatik beyin - akut vb.) yönetimi, tedavisi ve hastaların yaşam standartlarının artmasında son derece olumlu etkilere sahip olan bir yöntem olduğu tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** *Spandex, Teknik tekstil, TheraTogs, Tıbbi tekstil,*

## ***TheraTogs and Its Applications as a Medical Textile***

### **ABSTRACT**

Textile products that touch almost every aspect of our lives are divided into three subclasses: clothing textiles, home textiles and technical textiles. When these classes are examined, while clothing textiles and home textiles are mostly in the fields of fashion and design, the technical textile group appears as an area where R&D and P&D studies are carried out and value-added and functional products are produced. Purpose of the research; The high-performance technique called TheraTogs, which is a combination of products called GoldTone, TogRite and Velcro hooks, which is scientifically designed as a set of medical materials recommended for use by physiotherapists, consisting of different composite textile materials, which is in the group of medical products that cannot be placed inside the body from technical textiles. To introduce textiles by stating their properties and usage areas. However, the aim is to reveal the effectiveness of these materials by examining the results of the study conducted with TheraTogs. In this direction; In the research, technical textiles, Med-tech application areas, TheraTogs, Spandex and TheraTogs application areas were discussed, respectively. As a result of the research, it was determined that the medical technical textile product called TheraTogs, when used correctly under expert control, is a method that has extremely positive effects on the management and treatment of various neuromotor

disorders (SP, down syndrome and other chromosomal abnormalities, traumatic brain - acute, etc.) and increasing the living standards of patients. .

**Keywords:** Medtech, Spandex, Technical Textile, TheraTogs.

---

## I. GİRİŞ

Tekstil; lif üretiminden başlayarak, iplik üretimi, dokuma, örme veya dokusuz yüzey oluşumu (kumaş), terbiye işlemleri ve hazır giyim üretimi basamaklarının bütünü oluşturulan bir kavramdır. Hayatımızın olmazsa olmazları arasında yer alan tekstil; giyim tekstilinden, mekân tekstiline ve teknik tekstillere kadar çok geniş çaplı bir üretim ve buna paralel bir tüketim potansiyeline sahiptir. Tekstil sektöründe gelişim potansiyeli olan araştırma ve geliştirmek (Ar-Ge) ile ürün geliştirme (Ür-Ge) çalışmalarına ağırlık veren firmalar; mevcut her sektör için farklı, fonksiyonel, nitelikli ve katma değerli ürünler üretilebilmekte, her türlü sorun ve durum için çözüm önerileri geliştirebilmektedir. 21. Yüzyıl'da moda ile bağlantılı olarak giyim tekstilleri ön planda olsa da en önemli tekstil dalının, fonksiyonel özellikleri ile ön planda, daha kapsamlı ve katma değerli ürünler olan teknik tekstiller olduğu bilinir. Teknik tekstiller; gıda sektöründen, inşaata, tarıma, otomotiv sektöründen, sağlık sektörüne her alanda karşımıza çıkar. Her sektör için büyük önem arz ettiği bilinen teknik tekstillerin en önemlilerinden biri de Medtech olarak adlandırılan tıbbi tekstillerdir. Tıp ve hijyen uygulamalarında kullanılan teknik tekstiller dört gruba ayrılır, bunlar; vücut içine yerleştirilebilen ve yerleştirilemeyen ürünler ile ekstra bedensel ürünler, bakım ve hijyen ürünleridir.

Çalışmanın amacı; vücut içine yerleştirilemeyen tıbbi tekstiller grubunda yer alan, bilimsel olarak kompozit yapıda tasarlanmış farklı tekstil malzemelerinin (GoldTone, TogRite, Velkro kanca isimleri verilen parçalar) bir arada kullanılmasıyla oluşturulmuş ve fizyoterapistlerin gözetiminde kullanılması tavsiye edilen bir tıbbi malzemeler bütünü olan TheraTogs adlı yüksek performanslı teknik tekstili tanıtmak, özellikleri ve kullanım yerleri ile TheraTogs kullanarak yapılmış deneysel çalışma sonuçlarını incelemektir. Bu doğrultuda, araştırmada sırasıyla, teknik tekstiller, tıbbi tekstiller ve TheraTogs, Spandex, TheraTogs uygulanarak yapılan çalışmalar ele alınmıştır. Çalışmanın disiplinler arası bir çalışma olduğu göz önünde bulundurularak, hem tıbbi teknik tekstilleri, hem de TheraTogs ile yapılmış deneysel çalışmaları içermesi bakımından literature katkı sağlayacağı, bununla birlikte yeni tıbbi teknik tekstillerin Ar-Ge çalışmalarında altyapı oluşturabileceği düşünülmektedir.

## II. TEKNİK TEKSTİLLER

### A. Teknik Tekstil

Teknik tekstiller; estetik veya dekoratif özelliklerinden ziyade, daha çok teknik performansları ve fonksiyonel özellikleri için üretilen tekstil malzeme ve ürünleri olarak ifade edilir (Özdizdar, 2004). Ayrıca, teknik tekstiller; kimyasallara, hava şartlarına ve mikroorganizmalara dayanıklı, yüksek performans ve fonksiyonel özelliklere sahip, katma değeri yüksek bir ürün grubu olarak da tanımlanır (Bulut & Sular, 2010). Genel olarak teknik tekstiller, üretiminde kullanılan lif veya ipliğin cinsine göre değil, elde edilen ürünün son kullanım yerine ve özelliklerine bağlı olarak üretilir. Ancak, teknik tekstil ürün performansında öncelikli olarak lif özellikleri ve ürün geometrisi ile uygulanan işlemler etkili olur (İTKİB, 2008).

Teknik tekstil üreticilerinin katıldığı, Messe Frankfurt teknik tekstiller fuarında yapılan gözlem ve çalışmalar neticesinde teknik tekstil ürünlerinin nihai kullanım alanlarına göre 12 ana gruba ayrıldığı bildirilmiştir (Marmaralı, 2012):

Teknik tekstillerin son kullanım alanlarına göre sınıflandırılması

1. Ziraî tekstiller (Agrotech); tarım, orman ve su ürünlerinde,
2. Bina ve inşaat tekstilleri (Buildtech); bina ve inşaatlarda, inşaat mühendisliği toprak üstü alan uygulamalarında,
3. Giyim teknik tekstilleri (Clothtech); giyim ve aksesuar astarları, dikiş ipliği, bağcık vb.,
4. Jeolojik tekstiller (Geotech); inşaat ve jeoteknik mühendislik alanlarında, toprak altı uygulamalarda,
5. Ev tekstilleri (Hometech); mobilya, ev tekstili, yatak ve yer döşeme teknik bileşenlerinde,
6. Endüstriyel tekstiller (Indutech); endüstriyel amaçlı filtre, taşıma ve temizleme vb. sanayi uygulamalarında,
7. Tıbbi tekstiller (Medtech); hijyen amaçlı vücut içi veya dışı uygulamalarda,
8. Taşıt araçları için tekstiller (Mobiltech); Kara, deniz ve hava araçları ile uzay sanayinde,
9. Ekolojik tekstiller (Oekotech); çevre ve ekolojik koruma amaçlı,
10. Ambalaj tekstilleri (Packtech); ambalaj ve paketleme sanayinde, endüstriyel tarımsal ve diğer ürünlerin paketlenmesi, taşınma, depolama ve korunmasında,
11. Koruyucu tekstiller (Protech); insanlar için tehdit oluşturan silah, kimyasallara, zararlı madde ve kötü çevre koşullarına karşı koruma amaçlı (giysi, örtü, çadır ve ekipman vb.),
12. Sportif tekstiller (Sporttech); spor ve rahat giysiler ile spor amaçlı aksesuarlarda kullanılan tekstillerdir (İTKİB 2008; Mecit et al., 2007).

Bunların yanı sıra, son yıllarda ön planda olan akıllı tekstiller ise herhangi bir etkiyi (ışık, ısı, basınç, elektromanyetik dalgalar, ses ve ses ötesi dalgalar, hareket vs.) veya değişimi algılama ve buna bağlı olarak tepki verme özelliğine sahip olan tekstil ürünleridir. Ultraviyole (UV) ışınlarının etkisiyle renk değiştiren ürünler, yaşam verilerini izleyerek sinyal gönderebilen veya vücut sıcaklığını düzenleyen giysiler vb. teknik tekstiller içerisinde katma değeri en yüksek olan bu ürünler, çok disiplinli Ar-Ge çalışmaları ile geliştirilebilmekte, ileri teknoloji ürünü bu akıllı tekstillerin kullanım alanları günden güne artmaktadır (Coşkun & Oğulata 2008; Marmaralı, 2016).

#### *A.1. Tıp ve hijyen teknik tekstilleri (Medtech)*

Teknik tekstiller içerisinde aktif gelişim gösteren ve geniş bir ürün grubuna sahip alanlardan birisi olup, toplumların yaşam standartlarındaki yükselme, arzu edilen hayat kalitesi ile yaşlı nüfus ve çalışan kadın sayısındaki çoğalma nedeniyle, hijyen ve bakım ürünlerine yönelik talepler de son yıllarda önemli oranda artmıştır. Bu artışın gelecekte de süreceği öngörülmektedir (Adanur, 1995; Mecit et al., 2007b). Bu malzemeler genel olarak dört sınıf altında toplanır ki bunlar;

İmplant edilebilen (vücut içine yerleştirilebilen) ürünler: Ameliyat iplikleri (biyolojik olarak çözünebilen/ çözünemeyen), yumuşak doku (yapay tendon, ligament, kıkırdak, kas, deri ve göz kontakt lens/yapay kornea) implantları, ortopedik (yapay eklem ve kemik) implantlar ve kardiyovasküler (damar greftleri, kalp kapakçıkları ve tamiri için kullanılan kumaşlar) implantlar (Adanur, 1995; Emek, 2004; Akter, Azim, & Al Faruque, 2014).

İmplant edilemeyen (vücut içine yerleştirilemeyen) ürünler: İnsan vücudunun dışında uygulanan yara sargıları, bandajlar, plasterler (basit elastik ya da elastik olmayan bandaj, hafif destek bandajı, baskı bandajı, ortopedik bandaj), gazlı bezler, sargı bezleri ve tamponlar bu gruba giren ürünlerdir (Adanur, 1995; Akter, Azim, Al Faruque, 2014).

Ekstra bedensel ürünler (ekstrakorporal): Yapay böbrek, yapay karaciğer veya mekanik akciğer gibi kanın arıtılmasında kullanılan yapay organlardır (Adanur, 1995; Akter, Azim, & Al Faruque, 2014; Horrocks & Anands, 2003).

Bakım ve hijyen ürünleri: Tıbbi giysiler (önlük, başlık, maske, çorap, eldiven, üniforma, koruyucu giysi), cerrahi kaplamalar (örtüler, kumaşlar, perdeler), yatak örtüleri (çarşaf, yastık kılıfı, battaniye, minder, yorgan), idrar tutucu pedler (bebek bezi/yatak pedi), kadın hijyenik pedi, temizlik bezleri ve cerrahi çoraplar (Adanur, 1995; Emek, 2004; Akter, Azim, & Al Faruque, 2014).

### III. THERATOGS

TheraTogs, sensorimotor bozukluğu olan hastalara postüral hizalama ve stabilite sağlayan, hareket beceri ve hassasiyeti ile eklem stabilitesini iyileştirmek için yeni bir yaklaşım sunan GoldTone, TogRite, Velcro kancadan oluşan ortez bir iç çamaşırı ve kayış sistemidir. Bu çok özellikli malzeme, genellikle belirli kasların veya kas gruplarının çalışmasını kolaylaştırmak veya engellemek veya modifiye edilmiş hizalama ve geliştirilmiş duruş, hareket ve işleve davet etmek için tedavi hedefleri göz önünde bulundurularak oluşturulur (Bazata, 2006). TheraTogs çemberlemenin (bağlama sistemi) temel prensibi, işlevsel bağlamda yetersiz kullanılan, aşırı uzatılmış kasların uzunluğunu dinamik olarak desteklemek veya azaltmaktır. Bağlama sistemi sayesinde seans boyunca hareketi kısıtlanan kas grubu aynı etkiyi gün boyu günlük hayata taşıırken, doğal olarak bu manuel kolaylaştırmanın bazı duyuşsal ve manuel etkilerini taklit ederek öğrenme gerçekleştirir. Fonksiyonel hizalamayı ve kas alımını etkilemek için fizyoterapistler bunları KinesioTaping ile birlikte kullanmayı önerir (Cusick, 2007).

Fizyoterapistler, etkili terapi araçları olarak çeşitli postüral yardımcıları kullanırlar, ki bu araçlar sıkıştırma ve postural hizalama ayrıca, oturma ve konumlandırma müdahalesinin bir parçası olarak da kullanılabilirler. Terapi araçları olarak basınçlı giysiler (Benik, Hug, Velvasoft ve SPIO) ve postüral hizalama için de TheraTogs, abdominal bağlayıcılar ve kinesiotape mevcuttur. Kompresyon giysileri, fonksiyonel hareket olanakları ile uzuv/vücut pozisyonu hissini ve genel stabilite ile dengeyi geliştirmek için tasarlanmıştır (Bazata, 2006).

TheraTogs sistemleri, nöromotor eğitimle uğraşan lisanslı bir sağlık bakımı pratisyeni tarafından tavsiye edilmesi ve onun gözetimi altında uygulanması amaçlanan FDA Sınıf I tipi tıbbi cihazlardır. TheraTogs ürünleri arasında, Ankle Dorsiflexion Assist (DFA) System, Clinical Starter System (CSS), Dragonfly TLSO System, Full Body System, Lower Extremity System, Posture&Torso Alignment (PTA) System, Sit-Up System, TogRite Strapping, Wrist&Thumb Positioning System ve Wunzi Infant System sayılabilir. TheraTogs sistemleri, su bazlı elastomerik üreterandan yapılmış köpük arkalı ve tescilli bir kompozit kumaş olan GoldTone'dan yapılmıştır. TogRite kayış; inert ve hidrofilik silikon bazlı bir kavrama yüzeyine sahip elastomerik bir banttır. TheraTogs™ ortez giysi sistemlerinin tüm malzemeleri ve bileşenleri imalat ve ambalajlarında lateks içerir (Theratogs Products, <https://theratogs.com/products/> Accessed 03.03.22; Theratogs Full Body System Product Properties, <https://theratogs.com/product/fbs/> Accessed 03.03.22).

TheraTogs'un genel ve teknik özellikleri

Kumaştaki dikey direnç, postüral stabiliteyi desteklemek için tasarlanmış olup, tüm iklimlerde yatay esneklik, rahatlık ve birey konforu ön plandadır. TheraTogs çıkartılmadan tuvalete erişim imkânı sunar. Tasarımla doğru orantılı çok yönlülüğü sayesinde özel boyutlandırma seçenekleri, kırpma çizgilerine dâhil edilmiştir. Hipster tek taraflı yapılabilir ve tamamen uyarlanabilir bir çemberleme sistemine sahiptir. Uygulama işaretleme sistemi, (varsa) bakıcının evde yeniden uygulamasını kolaylaştırır. TheraTogs sistemi; özel olarak oturan yan panellere sahip kolsuz bir atlet, her biri iki uyluk manşeti olan iki hipp, farklı sertlik kalibreli elastikleştirilmiş kayış çeşitleri, evde doğru kayış ve panel yerleşimini sağlamak için bir işaretleme kiti, resimli takma talimatları ve bağlama önerilerinden oluşur.



Resim I. GoldTone, TogRite ve Velcro Kanca (Kafy & El-Shamy, 2021).



#### Teknik özellikler

• TheraTogs, normal kıyafetlerin altında gözden uzak bir şekilde doğrudan cilt üzerine giyilir. Sıkıca uygulandığında, cilt yüzeyine kaymadan rahatça yapışır ve bu da uygun çemberleme sistemi ile hastanın hareketini, dengesini, duruşunu ve yürüyüşünü doğru bir şekilde etkilemesine izin verir.

• TheraTogs, su bazlı bir elastomerik üreterandan yapılmış bir köpük tabakası ile Nylon ve Spandex'den yapılmış elastik, lateks içermeyen ve elde yıkanabilen kompozit yapılı özel kumaşlardan oluşur (Anonymous,2003;TheratogsFullBodySystem,[https://theratogs.com/wpcontent/uploads/2014/02/TearSheet\\_TogsULTRA\\_FBS\\_20101.pdf](https://theratogs.com/wpcontent/uploads/2014/02/TearSheet_TogsULTRA_FBS_20101.pdf)/ Accessed 03.03.22).

TheraTogs; GoldTone, TogRite, Velcro kancadan oluşan ortez bir iç çamaşırı ve kayış sistemidir. TheraTogs'un daha iyi anlaşılabilmesi için bunların her biri ve bu ürünlerin üretiminde yer alan Spandex aşağıda ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

#### A. GoldTone

GoldTone, biyomekanik eğitim talepleri için özel olarak formüle edilmiş esneme, çekme ve geri tepme özelliklerine sahip, üstün bir örgü malzemenin kaplanması ile elde edilmiş kompozit bir malzemedir. Patentli olan bu kumaş terbiye işlemi kullanılarak elde edilmiştir. Diğer esnek malzemelerden farkı, TheraTogs ultra sistemlerinin rahatsız edici kompresyon veya sert destek olmadan nöromotor sisteminin yeniden konumlandırmasına ve yeniden eğitilmesine olanak tanıyan ve cildi kavrayan yumuşak dokusu köpük kaplama katmanından kaynaklanır. TheraTogs, maksimum noktaya kadar esneyecek, biyomekanik düzeltmeleri dokuz saatten fazla günlük kullanım için sıkı bir şekilde koruyacak ve bir gecede orijinal boyutlarına geri dönecek şekilde tasarlanmıştır. Giysi ve çember şeritleri için kullanılan Velcro® kancası, GoldTone kumaş yüzeyinde tekrarlı uygulama ve şerit çıkarma işlemlerini gerçekleştirebilecek şekilde tasarlanmıştır. Gerginlik, malzeme vücut çevresinde birçok yöne gerildiğinde, esasen giysinin merkezinden dışarıya doğru yayılan hafif bir kuvvet oluştuğunda, gerçekleşir. Az miktarda kumaş gerilimi, iki yönlü bir kuvvet vektörü sağlar ve bu da GoldTone' un bir eklem çevresinde yeniden konumlandırma yeteneğini oluşturur. Geri tepme yeteneği ile GoldTone malzemesi bir yük veya kuvvet vektörü ortadan kaldırıldıktan sonra, orijinal konumuna veya şekline geri döner. Ayrıca, açık hücreli köpük iç katmanı, yumuşak dokuyu ve alttaki fasya ve cildi aşırı sıkılaşmaz, yapışkan veya lateks katkı maddeleri kullanmaksızın aktif olarak yeniden konumlandırma ile tutuş yeteneğine sahiptir (Theratogs GoldTone™ Fabric for TheraTogs ULTRA <https://theratogs.com/> Accessed 28 Aralık 20; TheraTogs ULTRA Features New GoldTone Fabric, <https://theratogs.com/> Accessed 7 Ocak 21).

#### B. TogRite ve Velcro Kanca

TogRite™ elastik kayışlar, güçlü esneme ve geri gelme özelliğine sahiptir. Alt taraftaki silikon kayışlar; kumaş yüzeyini kavrayıp, kayışların hareket ve fiziksel aktiviteler sırasında yerinden kaymasını önlerken, cilde karşı yerleştirildiğinde ise uzuvlar üzerinde aynı kavrama ve yeniden konumlandırma etkisini sağlar. Çeşitli şekillerde kullanılabilen TogRite, birçok klinisyen tarafından farklı aktiviteler üzerinde çalışırken konumlandırmayı desteklemek, yardımcı olmak veya hızlı düzeltmeler gerçekleştirmek için kullanılır. TheraTogs bileşenleri, Spandex-Nylon malzemenin esnekliğini ve geri tepmesini güderi benzeri bir his ile ince ve nefes alabilen bir köpük yüzeyle birleştiren tescilli ve farklı bir kompozit kumaştan yapılmıştır. Vücut ile uyumlu, etkili, rahat ve kaymaz özelliklere sahip TogRite'nin temel özellikleri (dikey gerilim altında daha sert ve yatay yönde daha elastik), Velcro® kancanın alıcılığı ve dayanıklılığı ile köpük tabakasının tutuşu, TheraTogs sistemlerinin çalışmasını sağlamak için bir araya getirilmiş unsurlardır. Buradaki köpük arkalık, su bazlı elastomerik bir üreterandır (Theratogs GoldTone™ Fabric for TheraTogs ULTRA <https://theratogs.com/> Accessed 28 Aralık 20; TheraTogs ULTRA Features New GoldTone Fabric, <https://theratogs.com/> Accessed 7 Ocak 21).

TheraTogs'un kullanım alanları TheraTogs™ ve TheraTogs Ultra ortez giysi sistemleri, fiziksel ve mesleki terapistler ile diğer kalifiye sağlık pratisyenlerinin bakımı altındaki bireylerde kullanılmak üzere tasarlanmış tedavi yöntemleridir. TheraTogs, zorlanma olmaksızın, manuel rehberlik ve postüral hizalama işlevsel becerilerinin kolaylaştırılmasına yanıt veren veya proprioseptif girdi ve postüral destekten yararlanan hastalar için ortez iç çamaşırı olarak bireysel kullanım için tasarlanmıştır.

TheraTogs Tam Vücut Sistemi ise başlangıçta, karmaşık nöromotor bozuklukları olan çocuklar için tasarlanmış olmasına karşın, şimdi çeşitli uygulamalar için çok farklı boyutlarda kullanılır ki bunlar; optimum kemik ve eklem gelişimini teşvik etmek, eklem stabilitesi ve artan vücut farkındalığı sağlamak, duruş, denge, yürüme ve hareket becerilerini geliştirmek, genellikle ayak ve ayak bileği ortezlerinden beklenen postüral düzeltme ile iş yükünü azaltmak, terapi seansları sırasında motor performansını iyileştirmek ve seanslar arasında terapi programını desteklemektir. Ayrıca, çok çeşitli tanıların neden olduğu nöromotor bozuklukların (serebral palsy (SP), Down sendromu ve diğer kromozomal anormallikler, travmatik beyin hasarı-akut, akut sonrası ve kronik aşamalar, inme nedeniyle hemipleji-akut, akut sonrası ve kronik fazlar, multiple skleroz gibi) ve endikasyonlarının (ataksi, kas dengesizliği, parmaklar içe veya dışa dönük yürüyüş, postüral hizalanma gibi) yönetimi için etkili bir yöntemdir. Tüm bunların yanında, TheraTogs Tam Vücut Sistemi; geliştirilmiş duruş ve solunum kapasitesi sağlayıp, göğüs ve pelvis arasındaki sapmaların azalması ile duyu farkındalık ve destek tabanı artışının yanı sıra kalça kaçırıcılara ve kalça kas sistemini stabilize etmeye yardımcı olurken, azaltılmış işlevsel serbestlik derecesi sağlayarak; yeterli alımı olmayan kaslara yardımcı olup, yürüyüş sapmalarını azaltır ve geliştirilmiş stabilite ve konfor sağlayarak da; cerrahi hedefleri desteklemek için bağlamada kullanılır (Anonymous, 2003; Theratogs Full Body System, [https://theratogs.com/wp-content/uploads/2014/02/TearSheet\\_TogsULTRA\\_FBS\\_20101.pdf](https://theratogs.com/wp-content/uploads/2014/02/TearSheet_TogsULTRA_FBS_20101.pdf)/ Accessed03.03.22).

### C. Spandex (Poliüretan/Elastomer Lifi)

Glikol ile diizosiyanat bileşiklerinin katılma reaksiyonları sonucunda oluşan poliüretan bir adisyon polimeridir. Bu sınıf polimerler genellikle elastomer liflerin üretiminde kullanılırlar. Yapısında en az %85 elastomer yapıda polimer bulunan liflere spandex adı verilmektedir (Başer, 1992). Kumaşlar üzerinde gerilme davranışı gösteren elastik lifler; esneme ve rahatlık özellikleri dolayısıyla özellikle spor endüstrileri ve teknik tekstiller açısından büyük öneme sahiptir. Spandeks elyafın mükemmelliği, ilk üretildikleri günden bu yana artmaktadır. Başlangıç polimerlerini değiştirerek, gelişmiş elastik davranışa sahip lifler geliştirilebilmektedir (Alam, Islam & Akter, 2020). Genel olarak bu alandaki kavramlara bakıldığında; gerilmiş kumaşlara atıfta bulunmak için Elastan terimi kullanılmaktadır. Spandeks (spandex) ise esnekliği nedeniyle değerli olan yapay bir kumaştır. Birçok kaynakta "spandeks" terimi bir ürün adı değildir ve bu kelime genellikle çeşitli üretim teknikleriyle yapılmış polieter-poliüri kopolimer kumaşları ifade etmek için kullanılmaktadır (Islam, Parvin, Urmy, Ahmed and Islam, 2020). Spandex, Lycra ve elastane kelimeleri aynı veya neredeyse eşittir. Bu kumaş türü, normal boyutunun 5-8 katı kadar esneyebilir (Pu, 2020). Spandeks üretmek için kullanılan temel maddeler, 1937'de Almanya'da IG Farben tarafından icat edilen poliüretandır (Islam, Rahman & Mazumder, 2020).

#### B.1. Spandeks elyafının fiziksel özellikleri

Spandex lifi düşük mukavemete sahiptir, kuru dayanımı 3,1 cN-tex, kırılma mukavemeti 0,5-1,0 g/denier arasındadır. Orijinal uzunluğunun 500-800 katına kadar uzatılabilir ve ayrıca mükemmel elastik iyileşmeye sahiptir (Mehra et al., 2016; Ongwuttivat et al., 2018; Mangut ve Karahan, 2005). Spandeks lifler sudan etkilenmez ancak sıcak suya batırılırsa, ısı nedeniyle büzülme meydana gelebilir. Sıcaklığın spandeks kumaşlar üzerinde doğrudan etkileri vardır ısı, genellikle elastik kumaşlarda termal büzülme yaratır. Güneş ışığı spandeks kumaşları doğrudan etkilemez, ancak ısı oluşması durumunda kumaşların rengi değişebilir, bazen güneş ışığı hafif termal çekmeye neden olur ancak önemsizdir (Burningham, 2018; Islam & Alam, 2018; Mc Quenn&Ehnes, 2018). Küf ve mikroorganizmalara ayrıca böceklere karşı çok iyi direnç gösterir (Islam, et al., 2018; Islam, 2018). Spandeks lifler filament olarak üretilir, beyaz veya şeffaf renktedir. Bazı spandeks lifleri parlak bazıları ise mat görünüme sahiptir Spandeks bezler alevden uzak tutulmalıdır (Mangut & Karahan, 2005). Ayrıca bu elyaflar daha düşük elektriksel iletkenlik gösterir ve radyasyondan etkilenmez (Shimizu, 2016).

#### B.2. Spandeks elyafının kimyasal özellikleri

Spandeks liflerinin nem çekme özellikleri çok düşük olup, hidrofob karakterlidir bu sebeple her türlü yağ ve terlemeye karşı çok iyi bir dirence sahiptir. Elastan lifleri alkali çözeltilerden biraz etkilenir,

yüksek sıcaklıktaki alkali çözeltide ise ağır hasar görür (Başer, 1992). Elastik kumaşlar asit çözeltilerine karşı az bir dirence sahiptir. Asit solüsyonu spandeks bezlerde renk bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle hem asidik hem de bazik maddelerle işlemlerde dikkatli olunmalıdır. Spandeks kumaşlar, dispers, asit, krom, vb. gibi bazı boyalara karşı iyi bir çekiciliğe sahiptir (Başer, 1992; Mangut & Karahan, 2005). Spandeks lifler organik çözücüler ve kuru temizleme çözeltilerinden etkilenmez. Bu ürünler sabun ve deterjan gibi temizleyiciler ile yıkanabilir ama makinede yıkama liflere zarar verebilir (Mangut & Karahan, 2005; Herath, 2013; Kraemer 2010). Yıkamalarda suyun ısısı 60 C'den fazla olmamalıdır. Termoplastik yapıda olduğundan yüksek sıcaklık, liflerin ve içerdiği malzemelerin elastikiyetini azaltabilir. Spandeks içeren kumaşları ağartmadan kaçınılmalı veya hafif ağartma yapılmalıdır ayrıca klorlu ağartıcılar kullanılmamalıdır (Mangut & Karahan, 2005; Yin, et al., 2014).

Elastik liflerin performansları, üretim süreçlerine bağlıdır. Spandeks liflerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, kapladığı maddelere bağlıdır. Elastan liflerinin mükemmelliğini garanti etmek için üreticiler, üretimin her aşamasında ürünü gözlemler. İncelemeler, içeri giren hammaddelerin değerlendirilmesi ile başlar. Örneğin, ürünlerin pH, viskozite, esneklik gibi ortak özellikleri test edilebilir. Üstelik görünüm, gölge ve koku da değerlendirilebilir. Malzemeler üzerinde sert kalite kontrolü yaptırarak, üreticinin güvenilir bir ürün yaratacağı güvencesi verilir (Alam, Islam & Akter, 2020).

Poliüretanlar (PU), özellikle yapı-özellik ilişkilerine bağlı olarak, farklı uygulamalarda kullanım için büyük potansiyele sahip çok yönlü bir malzeme sınıfıdır. Spesifik mekanik, fiziksel, biyolojik ve kimyasal özellikleri, farklı uygulamalarda kullanılmak üzere PU'ları uyarlamaya yönelik önemli araştırmalar bulunmaktadır. PU bazlı malzemelerin özelliklerinin ve performansının iyileştirilmesi, üretim sürecinde veya bunların imalatında kullanılan hammaddelerde yapılan değişiklikler veya gelişmiş karakterizasyon tekniklerinin kullanılmasıyla sağlanabilir. Açıkça, hammaddelerin ve üretim sürecinin uygun yöntemlerle değiştirilmesi ile çeşitli özel uygulamalar için uygun PU'lar üretebilir (Akindoyo et al., 2016). Ayrıca poliüretan, polimerik köpük olarakta üretilmektedir. Polimerik köpükler, muadil malzemelere göre avantajlı özelliklerinden dolayı hemen hemen her yerde bulunabilir. Muhtemelen en önemli polimerik köpük sınıfı, poliüretan köpüklerdir çünkü düşük yoğunlukları ve termal iletkenlikleri, ilginç mekanik özellikleriyle birleştiğinde, onları mükemmel termal ve ses yalıtkanlarının yanı sıra yapısal ve konfor malzemeleri haline getirmektedir (Gama, Ferreira & Barros-Timmons, 2018), Doğru belirtilmiş ve uygulanmış elastomerik kaplamalar, poliüretan köpüğü yüzey bozulmalarını korumaktadır. Elastomerik kaplamalar Nem buharı geçişini engellemek, sistemin estetiğini arttırmak, sistemin darbe ve aşınma direncini arttırmak, yangınlık ve kod gereksinimlerini sağlamak için de kullanılabilir (Courier, 2004).

#### *D. TheraTogs konulu vaka çalışmaları*

TheraTogs ile ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş ve bunların arasından deneysel (vaka çalışmaları) olanlar tarih sırasına göre verilmiştir;

Engelmeyer et al., (2007) spastik hemiplejisi ve pahalı bir tıbbi geçmişi olan beş yaşındaki bir çocuk üzerinde yaptıkları vaka çalışmalarında TheraTogs lehine önemli sonuçlara ulaşmışlardır. Rojas et al., (2008) bilateral rijit ayak bileği ortezi (AFO) ile dolaşan spastik diplejik serebral palsi tanısı olan sekiz yaşında bir erkek çocuk ile yaptıkları vaka çalışmalarında Theratogs uygulamasının çocuğun yürüyüş kalitesini ve verimliliğini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Her eklemdede, normale daha çok benzeyen bir yürüyüş paternine işaret eden bir miktar iyileşme kaydedilmiş ve TheraTogs kullanımı ile biyomekanik bir bakış açısıyla yürüyüşün geliştiğini gözlemişlerdir. Flanagan et al., (2009) diplejik serebral palsisi olan 7 ila 13 yaş aralığında beş çocuk üzerindeki yarı deneysel çalışmalarında diğer değerlendirme koşullarına kıyasla TheraTogs giyildikten sonra; yürüyüş kinematiği, tedavi sonrası pik kalça ekstansiyonu ve pelvis hizasında önemli gelişmeler saptamış, fakat yürüyüş hızı, kadans veya adım uzunluğunda herhangi bir değişiklik tespit edememişlerdir. Maguire et al., (2009) ilk tek taraflı inmeyi takiben hemiplejisi olan 13 hasta üzerinde yaptıkları rastgele, katılımcı içi deneysel çalışmalarında TheraTogs lehine anlamlı sonuçlara ulaşmışlardır. Sefacka et al., (2009) daha önce tıbbi veya cerrahi öyküsü olmadığı bildirilen birden fazla serebrellar AVM bulunan 13 yaşındaki bir kız çocuğunun olduğu tek konulu vaka çalışmalarında; AtaxiTogs ile birlikte beş haftalık geleneksel müdahaleden sonra, AtaxiTogs takılı ve takılı olmadan alınan tüm objektif önlemlerde önemli gelişmeler kaydedilmiş ve artan

fonksiyonel yeteneklerin yanı sıra hareket gücü, kontrolü ve artan yaşam kalitesi ve güven algısı tespit etmişlerdir. Fenneman and Ries, (2010) 7 yıl, 6 aylık Down sendromu teşhisi ve ek tıbbi öyküsü bulunan tek konulu vaka çalışmalarının sonunda TheraTogs lehine olumlu yönde toplamda %40,1'lik değişim saptamışlardır. Elbasan et al., (2011) tek konulu vaka çalışmalarını rehabilitasyon merkezinde üç yıldır fizik tedavi ve iyileştirme programına devam etmekte olan dört yaşındaki diparetik serebral palsi tanısı konmuş bir kız çocuğu üzerinde gerçekleştirmiştir. Burada, yürüyüş parametrelerindeki iyileşmelerin, TheraTogs™ ile elde edilen stabilizasyon sayesinde olduğu gözlenmiş ve özellikle giysinin lateral stabilizasyonu ve dış rotasyondaki iyileşme ile yürüyüş kalitesinin daha dengeli bir şekilde iyileşmesine katkı sağladığı saptanmıştır. Richards et al., (2012) yürüyüş sırasında iki taraflı ayak parmakları olan L4 spina bifidalı iki yaşında bir kız çocuğu olan vaka çalışmalarında; TheraTogs kullanımı ile ilgili yürüyüş verilerinde, kalçalardaki dış rotasyon ile ayak progresyonunun arttığını göstermişler ve yürüyüş özelliklerinde ise TheraTogs kullanımı ile gelişmiş yürüyüş hızı gözlenirken, adım uzunluğu için aynı durum söz konusu olmamasına karşın ebeveynler, TheraTogs için memnuniyet ve tercihlerini bildirmişlerdir. El-Kafy and El-Shemy, (2013) rastgele kontrollü 30 çocuk üzerindeki iki gruplu çalışmalarında (6-8 yaş, diplejik serebral palsi, çömelme yürüyüşü ve kaba motor fonksiyonu sınıflandırma sistemine göre (GMFCS) I-II) iki grup arasından TheraTogs giyen grup lehine anlamlı farklar elde etmişlerdir. Sheehan, (2014) birincil tanısı müsküler distrofi (MD) kompleksi 1+3 ve ek olarak bilateral ayak aşırı pronasyonu, alt ekstremitte iç rotasyonu, diz hiperekstansiyonu ile kalça fleksiyonunda artış ve ayakta dururken lomber lordoz artışı olan 11 yaşındaki tek konulu vaka çalışmalarında sekiz aşama (hafta) TheraTogs ile müdahale edilmiş ve TheraTogs'un desteğiyle hasta, gelişmiş postüral kontrol ve dayanıklılık ile tüm aktiviteleri gerçekleştirebilmiştir. Sekiz haftalık tedaviden sonra, hastanın her bir test pozisyonuna bağımsız olarak girebildiği ve bağımsız olarak merdivenleri, kaldırımları ve rampaları manevra edebildiği ve akranlarıyla daha fazla meşgul olmaya başladığı tespit edilmiştir. El-Kafy, (2014) 6-8 yaş, diplejik CP ve çömelme yürüyüşü olan 51 çocuk üzerinde rastgele kontrollü çalışmalarında; GMFCS I-II ile denekler üç gruba ayrılmıştır. Burada, TheraTogs™ çemberleme sistemi ile birleştirilmiş statik zemin reaksiyonlu ayak bileği ayak ortezinden oluşan ortez müdahalesi; spastik diplejik SP'li çocuklarda, yürümeyi, TheraTogs™ ile veya onsuз olarak, geleneksel tedaviye göre, daha iyi hale getirdiği tespit edilmiştir. George ve Sweeney, (2015) SP'li 11 çocuk (4-11 yaş arası) üzerinde yaptıkları vaka analizi çalışmasında; istatistiksel olarak anlamlı olmasa da TheraTogs lehine pozitif eğilimler gözlemlendiği ve ebeveynlerin deney grubu yani TheraTogs giydirilen çocukların işlevlerinde gözlemlenebilir nitelikte değişimler saptadıklarını tespit etmişlerdir. Maguire et al., (2016) 14 yıllık total kalça artroplastisi öyküsü olan, 12 hafta önce büyük trokanteri konservatif olarak tedavi edilen avulsiyon kırığını takiben gecikmiş iyileşme gösteren 49 yaşındaki bir kadın üzerindeki tek konulu vaka çalışmalarında; elektromiyografi (EMG) analizi sonucunda, yardımsız yürümeye kıyasla, TheraTogs ile kas aktivitesinin arttığını ve koltuk değneği ile azaldığını, ayrıca, yürüme hızının, TheraTogs evresinde, koltuk değnekleri evresine göre daha hızlı oranda iyileştiğini tespit etmişlerdir. İlâveten, koltuk değneği ve yardımsız aşamalarda gövde sallanmasının arttığı fakat TheraTogs aşamasında ise daha kararlı hale geldiği ve hastada ölçülen tüm parametrelerin fonksiyonu ve iyileşme oranlarının, TheraTogs aşamasında, koltuk değneği veya yardımsız fazdan daha fazla arttığını tespit etmişlerdir. Ehlert et al., (2017) 11 yaşında diplejik SP teşhisi konan bir çocuğa Postural Assessment Software (PAS) ile postüral değerlendirme yaptıkları vaka çalışmasında nicel değerlendirme yapmışlardır. Duruşta, TheraTogs'un kalça ekstansiyonu üzerinde daha fazla etkiye sahip olduğu ve bu değişikliğin kullanım sırasında daha da fazlaştığı tespit edilmiştir. Plantar basınç dağılımı değerlendirmesinde ise, ilk temasta plantar basıncın posteriorizasyonunda bir artış meydana geldiği, itme ve ilk salınım faz performanslarının iyileştiği ve işlevsellik açısından; çocuğun hareket kabiliyetinde gelişmeler gözlemlendiği, ancak TheraTogs® ile kendi kendine bakım becerilerinin azaldığı saptanmıştır. Shaari et al., (2020) ataksik spastik dipleji SP tanısı konulan 13 yaşında bir çocukla yapılan tek vakalı deneysel tasarım (SCED) çalışmalarında; gövde ataksisi nedeniyle yürüme çerçevesiyle bile otur-kalk hareketini yapmakta güçlük çeken çocuğun vücut boyutunun, çalışmada kullanılan her iki ortez giysisinin ürettiği ara yüzey basıncını etkilemediği ve her iki ortez giysisinin de pozisyon ve hareket aktivitelerine

farklı tepki verdiği bulunmuştur. Bu model, hastanın cildine uygulanan sabit bir yüksek basınç olmadığını ve bu çalışmada kullanılan iki tip ortez giysisinin kullanımının güvenli kabul edildiğini göstermiştir. Genel olarak, ısmarlama ortez giysisinin (DLFO), hazır ortez giysisi (TheraTogs™) ile hemen hemen aynı basıncı uygulayabildiği bulunmuş ve bu nedenle; pozisyon ve aktivitelerin, farklı tipteki ortez giysiler tarafından uygulanan ara yüzey basıncını etkilediği saptanmıştır. Ayrıca, TheraTogs'un kişiye özel çalışılan ısmarlama ortez giysi kadar iyi olduğu sonucuna varılmıştır. El-Kafy and El-Shamy, (2022) yaşları 8 ile 10 arasında değişen diplejik serebral palsili 40 çocuk ile gerçekleştirdikleri randomize kontrollü bir çalışmalarında; Kontrol grubundaki çocuklara torasik kifotik postürü modüle etmeyi amaçlayan 2 saatlik geleneksel egzersiz protokolü birbirini takip eden 12 hafta boyunca haftada 3 kez uygulanmış Çalışma grubundaki çocuklar, geleneksel egzersiz programıyla birlikte her gün 8 saat boyunca bağlama sistemli TheraTogs ortezleri kullanılmıştır. Çalışma grubundaki çocuklar tedavi sonrası tüm birincil ve ikincil önlemlerin puanlarında kontrol grubuna kıyasla anlamlı iyileşmeler göstermiştir ( $P < 0.05$ ). TheraTogs ortez sistemi ile geleneksel egzersiz tedavisinin birleşiminden oluşan konservatif tedavi, spastik diplejik serebral palsili çocuklarda torasik kifozun modüle edilmesinde ve dorsal hareket açıklığının iyileştirilmesinde etkilidir ve bu iyileşmenin postüral denge performansı üzerinde olumlu etkisi vardır ve bu çocuklarda düşme riskini azaltır sonuçlarına ulaşmışlardır.

#### IV. SONUÇLAR

Teknik tekstiller alanında yapılan çalışmalar sınır tanımadan, hızla ve disiplinler arası olarak devam etmekte ve insanlık ve dünya için olası olumsuzlukları önleyip, yok etme ve yüksek yaşam standartlarının ötesinde refah yaşam olanakları sağlama konularında hızla gelişme göstermektedir. Teknik tekstillerin insan yaşamı için en önemli dallarından biri olan tıbbi tekstillerde de durum aynıdır. Önlenemeyen sağlık sorunları olan bireylere yönelik olarak geliştirilen tıbbi teknik tekstiller; hastaların iyileşmesi, iyileşme süreçlerinin hızlandırılması ve daha rahat koşullarda yaşamlarını devam ettirebilmeleri amacıyla çok geniş bir yelpazede üretilip, kullanılmaktadır. Çalışmada, TheraTogs adı verilen ve geniş çaplı kullanım alanı sunan tıbbi teknik tekstil ürününün, çeşitli tanuların neden olduğu nöromotor bozuklukların (SP, down sendromu ve diğer kromozomal anormallikler ile travmatik beyin - akut vb.) yönetiminde, tedavisinde ve hastaların yaşam standartlarının artmasında son derece olumlu etkilere sahip olan bir yöntem olduğu, incelenen vaka çalışmalarının sonuçları ile gösterilmiştir.

Daha yüksek standartlarda ve sağlıklı yaşam açısından büyük bir öneme sahip ve de gelişmeye açık bir alan olan medikal tekstiller özelinde; özellikle yatalak hastalar, yaşlılar ve günlük aktivitelerini yerine getiremeyen hastaların çektikleri acıların üstesinden gelmelerine yardımcı olacak yeni teknolojilerin ve tekstil ürünlerinin geliştirilmesi bir gereklilik olup, bunun için, özellikle ve öncelikle mevcut teknolojiler incelenmeli ve daha fonksiyonel, hijyenik, doğal ve az maliyetli ürünlerin geliştirilip, üretilmesine odaklanılmalıdır.

#### KAYNAKLAR

- Adanur S. (ed). (1995). Wellington Sears Handbook of Industrial Textiles. Medical Textiles. Lancaster: Wellington Se- ars Co.
- Akindoyo, JO., Beg M.D.H., Ghazali, S., Islam, M.R., Jeyaratnamand, N., & Yuvaraj, A.R., (2016). Polyurethane types, synthesis and applications – a review DOI: 10.1039/c6ra14525f www.rsc.org/advances
- Akter, S., Azim, A.Y.M.A., & Al Faruque, M. A. (2014). Medical Textiles: Significance and Future Prospect in Bangladesh, European Scientific Journal, Esj, 10(12). Retrieved From <https://Eujournal.Org/Index.Php/Esj/Article/View/3196>
- Alam S.M.M., Islam S., & Akter S., (2020). Reviewing the Production Process, Physical and Chemical Properties of Spandex Fibers. Adv Res Text Eng. 5(2): 1051.
- Anonymous, (2003). New Products Theratogs, Pediatric Physical Therapy: Summer 2003 - Volume 15 - Issue 2 - p 142-143 doi:10.1097/01.PEP.0000072445.53166.0F, <https://journals.lww.com/pedpt/Fulltext/2003/01520/THERATOGS.11.aspx> © 2003 Lippincott Williams & Wilkins, Inc.
- Bazata, C., (2006). Terapi Ülkesi'nde Bu Günlerde Neler Oluyor ve AT'ciler İçin Neden Önemli? "Within and Without" 22nd International Seating Symposium March 2-4, 2006 1601 Bayshore Drive Vancouver, BC Canada
- Başer, İ., (1992). Elyaf Bilgisi, Marmara Üniversitesi Yayın No: 524 ISBN: 975-400-075-1. 163-166, İstanbul

- Burningham, B.M., (2018). An Investigation of the Impact of Changing Social Norms on Female Clothing Attire Pre and Post WW II, Undergraduate Honors Capstone Projects. 470. <https://digitalcommons.usu.edu/honors/470> Utah State University
- Coşkun, E., & Oğulata R.T. (2008). Akıllı Tekstiller ve Genel Özellikleri, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Cilt 18-3.
- Courier, J. (2004). A Guide for Selection of Elastomeric Protective Coatings Over Sprayed Polyurethane Foam. Recommended Design Considerations and Guide Specifications (Www.Sprayfoam.Org)
- Cusick, B. (2007). Getting Down to the Bare Bones Pediatric Orthopedics Part 1: The Modeling Process. NDTA Network
- Ehlert, R., Manfio, E.F., Heidrich, R.D.O., & Goldani, R., (2017). Cerebral Palsy: Influence Of Theratogs® On Gait, Posture And in Functional Performance. *Fisioter. Mov.*, Curitiba, v. 30, n. 2, p. 307-317, Apr./June 2017 Licenciado sob uma Licença Creative Commons DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1980-5918.030.002.AO11>
- Elbasan B., Tekeli, H., & Elbasan, A., (2011). Diparetik Serebral Palsi’li Bir Olguda Theratogs™ Kullanımının Sonuçları, 2. Ulusal Pediatrik Rehabilitasyon Kongresi Sözel Sunum ve Poster Özetleri 2nd Congress of National Pediatric Rehabilitation Abstracts of Oral Presentations and Posters
- El-Kafy E.M.A., & El-Shemy S.A., (2013). Modulation of lower extremity rotational deformities using TheraTogs and strapping system in children with spastic diplegia. *Egypt J Neurol Psychiat Neurosurg.* 2013; 50(4):397-402.
- El-Kafy E.M.A. (2014). The Clinical Impact of Orthotic Correction of Lower Limb Rotational Deformities in Children With Cerebral Palsy. *Clin Rehabil.* 28 (10):1004-1014.
- El-Kafy, Ehab Mohamed Abd, and Shamekh Mohamed El-Shamy. (2022). “The impact of conservative soft orthotic intervention with strapping on thoracic kyphotic posture and spinal mobility in children with cerebral palsy: a randomized control trial.” *Bulletin of Faculty of Physical Therapy* 27.1, 1-8.
- Emek, A. (2004). Teknik Tekstiller Dünya Pazarı, Türkiye’nin Üretim ve İhraç İmkanları, T.C. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı, Uzmanlık Tezi, Ankara.
- Engelmeyer, K., Meyer A., Quinlisk A., Wassel M., and Ross S. (2007). The Effect of Theratogs on Gait in a 5 Year Old with Spastic Hemiplegia. Maryville University-St Louis MO, Physical Therapy Program
- Fenneman, P., & Ries, J.D. (2010). Effects of TheraTogs on the Postural Stability and Motor Control of a 7-year-old Girl with Down Syndrome and Severe Motor Delays, Poster presented at APTA Combined Sections meeting.
- Flanagan A, Krzak J., Peer M., Johnson P., & Urban M. (2009). Evaluation Of Short-Term Intensive Orthotic Garment Use in Children Who Have Cerebral Palsy. *Pediatr Phys Ther.*21:201-204.
- Gama, N.V., Ferreira, A., & Barros-Timmons A. (2018), Polyurethane Foams: Past, Present, and Future Materials, 11, 1841; doi: 10.3390/ma11101841 [www.mdpi.com/journal/materials](http://www.mdpi.com/journal/materials)
- George K.W, & Sweeney J.K. (2015). Effectiveness of Soft, Dynamic Garment And Elastic Strapping On Functional Movement In Children With Cerebral Palsy Abstracts\* of Poster Presentations at the 2015 Combined Sections Meeting
- Herath C.N. (2013). Investigation of Air Permeability of Core Spun Cotton/Spandex Weft Knitted Structures Under Relaxation. *Fibers and Polymers*, 14: 1339- 1346.
- Horrocks, A. R., & Anands, C. (2003). Teknik Tekstiller El Kitabı (Technical Textiles Handbook), the Textile Institute, Türk Tekstil Vakfı.
- İTKİB (2008). Türkiye’de ve Dünya’da Teknik Tekstiller Üzerine Genel ve Güncel Bilgiler, İTKİB Genel Sekreterliği Ar & Ge Ve Mevzuat Şubesi, Haziran.
- Islam S., Parvin F., Urmy Z., Ahmed S., Islam S., (2020). A Study on the Solutions of Environment Pollutions and Worker’s Health Problems Caused by Textile Manufacturing Operations. *International Journal of Textile Research.* 2: 1-21.
- Islam, M.T., Rahman, M.M., Mazumder, N.U.S. (2020). Editors; Mohd Shabbir, Shakeel Ahmed, Javed N. Sheikh. (2020). *Frontiers of Textile Materials: Polymers, Nanomaterials, Enzymes, and Advanced Modification Techniques.* 13-59. Wiley, ISBN: 978-1-119-62036-5
- Islam S., Urmy Z., Amirul I., Suza A., Arif B., Rabeya I., (2018). A Comparative Study on Different Dimensions of CAD. *Trends Textile Eng Fashion Technol.* 2018; 1.
- Islam S., & Alam S.M.M. (2018). Investigation Of The Acoustic Properties Of Needle Punched Nonwoven Produced Of Blend With Sustainable Fibers. *International Journal of Clothing Science and Technology*, 52: 1-34.
- Islam S., (2018). Textile CAD Analysis for Warp and Weft Patterning. *J Textile SciEng.* 8: 332.
- Kafy, El, Ehab Mohamed Abd, and Shamekh Mohamed El-Shamy. (2021). “Efficacy of TheraTogs orthotic undergarment on modulation of spinal geometry in children with diplegic cerebral palsy.” *Bulletin of Faculty of Physical Therapy* 26.1, 1-8.

- Kraemer W.J., Flanagan S.D., Comstock B.A., Fragala M.S., Earp J.E., Dunn-Lewis C. (2010). Effects Of A Whole Body Compression Garment On Markers Of Recovery After A Heavy Resistance Workout In Men And Women, *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24: 804-814.
- Maguire C., Sieben JM., Scheidhauer H., Romkes J., Suica Z., and De Bie RA. (2016). The Effect Of Crutches, An Orthosis Theratogs And No Walking Aids On The Recovery Of Gait In Patient With Delayed Healing Post Hip Fracture: A Case Report. *Physiother. Theory Pract.* 32(1), 69–81.
- Maguire C., Sieben JM., Frank M., Romkes J. (2009). Hip Abductor Control In Walking Following Stroke—The Immediate Effect Of Canes, Taping And Theratogs On Gait, *Clin Rehabil*, 24(1): 37-45. DOI: 10.1177/0269215509342335
- Mangut, M., & Karahan, N. (2005). *Tekstil Lifleri*. Ekin Kitapevi. 287-292, Ankara.
- Marmaralı, A. (2012). Türkiye'de Teknik Tekstil Sektörü, Gaziantep Sanayi Odası, <http://www.gso.org.tr/userfiles/file/3%20T%C3%BCrkiye%60de%20Tekstil%20Teknik%20Sekt%C3%BCr%C3%BCne%20Gene%20Ba%k%C4%B1s.pdf>, Erişim tarihi: 20 Ekim 2021.
- Marmaralı, A. (2016). Türkiye'de Teknik Tekstil Sektörü, Ekonomideki Yeri ve Ar-Ge Çalışmaları, Küresel Gelişmeler Işığında Dünyada ve Türkiye'de Tekstil Sektörü ve Tekstil Makineleri İmalat Sanayi Semineri, İktisadi Araştırmalar Vakfı, Kahramanmaraş.
- Mc Queen R.H., & Ehnes B. (2018). Antimicrobial Textiles and Infection Prevention: Clothing and the Inanimate Environment. In *Infection Prevention*, 117- 126.
- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., & Tarakçıoğlu, I. (2007a). Technical Textiles and Applications (Part 1), *Textile and Apparel*, 17 (2), 79-82. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tektstilvekonfeksiyon/issue/23626/251636>
- Mecit, D., Ilgaz, S., Duran, D., Başal, G., Gülümser, T., & Tarakçıoğlu, I. (2007b). Technical Textiles and Applications (Part 2), *Textile and Apparel*, 17 (3), 154-161. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/tektstilvekonfeksiyon/issue/23627/251645>
- Mehra B., Bhattar S., Saxena S., Rawat D., Bhalla P. , (2016), Garden Swing Hanging Dream Chair Lounger Chaise Arc Stand Air Porch Swing Hammock Chair, 50webs.com. *Journal of Laboratory Physicians*. 2016; 8: 36.
- Ongwuttivat K., Sudprasert S., & Leephakpreeda T. (2018). Determination of human thermal comfort due to moisture permeability of clothes, *International Journal of Clothing Science and Technology*.
- Özdizdar, A. (2004). *Teknik Tekstil Sektör Araştırması*, İstanbul Ticaret Odası Yayını, s.32.
- Pu X. (2020). *Textile Triboelectric Nanogenerators for Energy Harvesting. Flexible and Wearable Electronics for Smart Clothing*. 67-86.
- Richards, A., Morcos, S., Rethlefsen, S., & Ryan, D. (2012). The Use Of Theratogs Versus Twister Cables in The Treatment Of in-Toeing During Gait in A Child With Spina Bifida, *Pediatric Physical Therapy*, vol. 24, no. 4, pp. 321–326, 2012. DOI: 10.1097/PEP.0b013e318268a9c7.
- Rojas, A., Weiss M., & Elbaum L. (2008). The Effect Of Theratogs On The Gait Of A Child With Cerebral Palsy A Case Study, Florida *International University Department of Physical Therapy*, Miami Florida. FIU HONORS COLLEGE ANNUAL RESEARCH CONFERENCE
- Sefecka, A. (2009). Case Report: The AtaxiTog System As An Adjunct To Traditional Physical Therapy Intervention For A 13-Year-Old With Postural Instability Post Non-Traumatic Cerebellar Injury;A Five-Week Program. Poster presented at APTA Combined Sections meeting.
- Shaari I.H., Abu Osman N.A., & Shasmin H.N. (2020). A Case Study on Interface Pressure Pattern of Two Garment Orthoses on a Child with Cerebral Palsy. *Proc Inst Mech Eng H*. Aug; 234(8):884-894. Doi: 10.1177/0954411920923541. Epub 2020 May 27. PMID: 32459140.
- Sheehan S. (2014). The Use of an Orthotic Garment System on a Pediatric Patient with Mitochondrial Disease Complex 1+3: A Case Report, <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Use-of-an-Orthotic-Garment-System-on-a-Patient-Sheehan/f7e4c607027c8dc3e415627db55757044d3b57cd>.
- Shimizu H. (2016). Thermoplastic Polyurethane Nonwoven Fabric “Espansione”. In *High-Performance and Specialty Fibers*, 421-431.
- Theratogs Products, <https://theratogs.com/products/> Accessed 03.03.2022
- Theratogs Full Body System Product Properties, <https://theratogs.com/product/fbs/> Accessed 03.03.2022
- Theratogs GoldTone™ Fabric for TheraTogs ULTRA <https://theratogs.com/> Accessed 28 Aralık 2020
- TheraTogs ULTRA Features New GoldTone Fabric, <https://theratogs.com/> Accessed 7 Ocak 2021
- Theratogs Full Body System, [https://theratogs.com/wp-content/uploads/2014/02/TearSheet\\_TogsULTRA\\_FBS\\_20101.pdf](https://theratogs.com/wp-content/uploads/2014/02/TearSheet_TogsULTRA_FBS_20101.pdf) /Accessed 03.03.2022
- Yin Y., Yao D., Wang C., & Wang Y. (2014). Removal of Spandex from Nylon/Spandex Blended Fabrics by Selective Polymer Degradation, *Textile research journal*, 84: 16-27.