

Cilt 2 Sayı 2 Aralık 2021  
Volume 2 Number 2 December 2021

ISSN: 2717-8811(Online)

**JOURNAL**

**Materials  
and  
Mechatronics:A**

2021  
JMM  
A

# **JOURNAL**

**Materials**

**and**

**Mechatronics: A**

**e-ISSN: 2717-8811**

**Cilt: 2 Sayı: 2 Aralık 2021**

**Volume:2 Number:2 December 2021**

**2021**

# JOURNAL of MATERIALS and MECHATRONICS:A

<b>Editör Kurulu / Editorial Board</b>		
Yusuf KAYALI (Editor-in-Chief)	ykayali@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Şükrü TALAŞ (Section Editor)	stalas@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Ali GÜNEN (Section Editor)	ali.gunen@iste.edu.tr	İskenderun Teknik University, TURKEY
Aysel BUYUKSAĞIŞ (Section Editor)	absagis@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Fatih AKSOY (Section Editor)	faksoy@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
İsmail YABANOVA (Section Editor)	iyabanova@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Said Mahmut ÇINAR (Section Editor)	smcinar@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Mahmud YALÇIN (Layout Editor)	mcyalcin@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe University, TURKEY

<b>Danışma Kurulu / Advisory Board</b>	
Dr. Adem KURT	Gazi University, TURKEY
Dr. Adnan MAQBOOL	Institute of Space Technology, PAKISTAN
Dr. Ali Sabea HAMMOOD	University of Kufa, IRAQ
Dr. Anas Al ATTIEH	German University of Jordan, JORDAN
Dr. Anne Schuzl BEENKEN	South Westphalia University of Applied Sciences, GERMANY
Dr. Aytekin HİTİT	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Dr. Aytaç Uğur YERDEN	Gedik University, TURKEY
Dr. Dursun ÖZYÜREK	Karabük University, TURKEY
Dr. Erdoğan KANCA	İskenderun Teknik University, TURKEY
Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Dr. Hazizan Md AKİL	Sains Malaysia University, MALAYSIA
Dr. Kubilay ASLANTAŞ	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Dr. Michał KULKA	Poznan University of Technology, POLAND
Dr. M. Serhat BAŞPINAR	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Dr. Metin ÖZGÜL	Afyon Kocatepe University, TURKEY
Dr. Mourad KEDDAM	University of Science and Technology Houari Boumediene, ALGERIA
Dr. Oğuz ARSLAN	Bilecik Seyh Edebali University, TURKEY
Dr. Ramazan KAÇAR	Karabük University, TURKEY
Dr. Selçuk AKTÜRK	Muğla University, TURKEY
Dr. Süleyman GÜNDÜZ	Karabük University, TURKEY
Dr. Shabana SHEIK	University of Pune, Department of Physics, INDIA
Dr. Sumanjit SINGH	Senior Audi Engineer, GERMANY
Dr. Yılmaz YALÇIN	Afyon Kocatepe University, TURKEY

<b>Yayımcı / Publisher</b>	
Yusuf KAYALI	ykayali@aku.edu.tr

# JOURNAL of MATERIALS and MECHATRONICS:A

İçindekiler/Contents	Sayfa/Page
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Front Suspension System Design of The Lightweight Solar-Powered Vehicle Güneş Enerjili Hafif Aracın Ön Süspansiyon Sistemi Tasarımı Korkut, T.B., Pasinli, Z., Gören, A.	60-71
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Microstructure, Physical and Mechanical Properties of Al/SiC and Al/B <sub>4</sub> C Metal Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Al/SiC ve Al/B <sub>4</sub> C Metal Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri Şanlı, P., Gavas, M.	72-89
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Spot Welding of AISI 1010 Steel Sheets Coated with WC by ESD Technique ESD Tekniği ile WC Kaplanmış AISI 1010 Çelik Sacların Nokta Kaynağı Çelik, B.E., Şimşek, E. T.	90-98
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Estimate of The Flow Stress and Damage Model Parameter Coefficients from Tensile Test with The Help of a Code Kod Yardımı ile Çekme Testinden Akış Gerilmesi ve Hasar Modeli Parametre Katsayılarının Tahmini Çektin, A.	99-111
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Otomotiv Sektöründe Kullanılan Parçaların Robot ve Kamera Yardımı ile Ölçümü Yapılarak, Manuel Hatanın Azaltılması Measuring The Parks Used in The Automotive Industry with The Help of Robots and Cameras, Reducing Manual Error Koç, Y., Özkan, D.	112-126

# JOURNAL of MATERIALS and MECHATRONICS:A

İçindekiler/Contents	Sayfa/Page
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Simpleks Pabuçlu Kampanada Fren Ebatı Değişiminin Fren Faktörü Üzerine Etkisi The Effect on Brake Factor of Brake Dimension Variation of Leading-Trailing Shoe Brake Erkoca, M.C., Bayrakçeken, H.	127-140
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Hareketli Ürünlerin Sayımı için Kızılötesi Tabanlı Sensör Dizaynı ve Yumurta Sayma Uygulaması Infrared Based Sensor Design and Egg Counting Application for Counting Moving Products Yabanova, İ., Yumurtacı, M.	141-149

---

**Araştırma Makalesi / Research Article**

---

**Front Suspension System Design of the Lightweight Solar-Powered Vehicle**

Talha Batuhan KORKUT<sup>1</sup>, Zeynep PASİNLİ<sup>2</sup>, Aytaç GÖREN<sup>3,4\*</sup>

<sup>1</sup> Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechatronics Engineering, Izmir, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1166-6700>, tbatuhankorkut@outlook.com

<sup>2</sup> Dokuz Eylül University, Department of Mechanical Engineering, Automatic Control and Robotic Labs, Izmir, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6283-6933>, zeyneppasinli@gmail.com

<sup>3</sup> Laboratory of Innovative Technologies, Picardie Jules Verne University, Amiens, France,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7954-1816>, aytac.goren@u-picardie.fr

<sup>4</sup> Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Mechatronics Engineering, Izmir, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7954-1816>, aytac.goren@deu.edu.tr

**Geliş/ Received:** 05.03.2021;

**Kabul / Accepted:** 15.04.2021

**ABSTRACT:** The main principle encouraging by solar cars is the potentiality to produce energy from the sun with an attitude that respects the environment. Increasing interest in solar-powered vehicles arise as a topic of study mainly developed by academic institutions, students, engineers, researchers, and also solar car teams all around the world with the aim of promoting sustainable mobility, gives us the opportunity that enhances the make the more efficient solar car with include proper optimization on its mechanics like the suspension system, steering system, vehicle's dynamics, etc. In this study, the finite element analysis of the front suspension system of the solar-powered vehicle was carried out. The regions to be optimized on the relevant suspension system parts were carried out by a topology optimization study. After that, parts and geometries of the new suspension system were designed. The main object of this study is mass optimization of the new suspension system.

**Keywords:** Solar-Powered vehicle, Suspension system, Knuckle arm, Double wishbone.

---

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: aytac.goren@deu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Korkut, T.B., Pasinli, Z., Gören, A. (2021). Front Suspension System Design of the Lightweight Solar-Powered Vehicle. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 60-71.

## Güneş Enerjili Hafif Aracın Ön Süspansiyon Sistemi Tasarımı

**ÖZET:** Güneş arabalarının özendirici temel ilkesi, çevreye saygılı bir tavırla güneşten enerji üretme potansiyelidir. Güneş enerjisiyle çalışan araçlara artan ilgi, temel olarak akademik kurumlar, öğrenciler, mühendisler, araştırmacılar ve ayrıca dünyanın dört bir yanındaki güneş enerjili araba ekipleri tarafından sürdürülebilir hareketliliği teşvik etmek amacıyla geliştirilen bir çalışma konusu olarak ortaya çıkmaktadır. Daha verimli araç, daha verimli süspansiyon sistemi, direksiyon sistemi, aracın dinamikleri gibi mekaniği üzerinde uygun optimizasyon çalışmalarını içermesi, alandaki çalışmalara yön vermesi anlamında önem arz etmektedir. Bu çalışmada, güneş enerjili aracın ön süspansiyon sisteminin sonlu eleman analizi yapılmıştır. İlgili askı sistemi parçaları üzerinde optimize edilecek bölgeler, bir topoloji optimizasyon çalışması ile gerçekleştirilmiştir. Devamında, yeni süspansiyon sisteminin parçaları ve geometrileri tasarlanmıştır. Bu çalışmanın ana amacı, yeni süspansiyon sisteminin kütle optimizasyonudur.

**Anahtar Kelimeler:** Güneş arabaları, Süspansiyon sistemi, Yön verme mafsal kolu, Çift salıncak.

### 1. INTRODUCTION

Energy is indispensable to modern society, unfortunately, most primary sources are unsustainable. Nonrenewable resources are associated with a multitude of environmental impacts, including global climate change, acid rain, freshwater consumption, hazardous air pollution, and radioactive waste. Nevertheless, renewable energy has the potential to meet demand with a much smaller environmental footprint and can help to alleviate other pressing problems, such as energy security, by contributing to a distributed and diversified energy infrastructure. However, wind and solar as major renewable sources are the fastest growing renewable sources, but their contribution is much smaller of the total energy usage of the world rankings (Anonymous, 2020).

From the consumption as well as the production point of view, renewable energy sources are finding their value in the automotive industry. While the automotive companies are willing to develop environmentally-friendly vehicles and introduce sustainable production processes, there is further potential space for renewable energy sources. To illustrate, innovative automotive companies in Germany are investing in sustainable energy projects as part of their company strategy aligning with “Energiewende” politics (Pechancová, 2017).

Renewable energy also plays a role in boutique race teams of academic origin such as solar car teams in the worldwide. In fact, we are writing this academic study based on Solaris 11 solar-powered vehicle, one of the boutique solar racing teams we mentioned. As part of the solar car team, we aim at development and innovation in our new vehicles every year. Therefore, this study brings along suspension optimization, which is a vital parameter in vehicle design.

The suspension system of a car performing a vital role on the vehicle’s stability. Cars must be overcome the surrounding resistance’s inertia with the effective design of suspension system design that could dissipate through ground vibrations and absorbs the detrimental influence of road conditions (Harris, 2020; Camargo et al., 2017) The idea of structural optimization of suspension system gather around two important considerations: stiffness and durability. Hereat the design parameters evaluate for making the suspension lighter, compact, and ensuring it always stays in contact with road during several maneuvers (Camargo et al., 2017). Thus, the suspension system design does not belong to only meet the basic requirements of the vehicle like absorption and safety

but also augment the performance of the solar car where the energy management is a particularly important issue.

Felipe Vannucchi de Camargo et al. have investigated the suspension system of a solar-powered vehicle at their work. They were enhanced three different shapes made out of carbon fiber reinforced plastic was analyzed and compared through static and modal finite element analysis (Camargo et al., 2017).

Burdick et al. have main purpose to optimize their 2016 suspension system which is 15.83 kg more than their 2020 solar car's suspension weighed. Their design consists of a leading double control arm suspension in the front and a trailing arm suspension in the rear. A bell crank shock is used for both systems. All components were mounted to a three-layer M10 carbon fiber chassis board which was selected based on material testing (Burdick et al., 2019)

Odabasi et al. are in their study a preliminary comparison was presented among longitudinal arms with leaf springs, MacPherson and double wishbone, aimed at pointing out the most appropriate design for the solar-powered vehicle hereby considered, considering its its specific demands for low-weight and efficient structures (Odabasi et al., 2018)

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Materials

The suspension system isolates the vehicle and occupants from the vibration of the road surface. When the solar-powered vehicle hits bumps, the suspension system provides handling and steering of the solar car. Before designing the suspension system, the balance of the solar-powered vehicle should be calculated and specified the spring and damper rates for the front and rear wheels. For these calculations' wheelbase, the weight of the car, and the moment of inertia of the solar car must be known. The weight of Solaris 11 is about 2750 N and the wheelbase is typically 2.0 m. Solaris 11 is a solar car that is three-wheeled with two wheels in front and a single rear wheel. All of the tires must be loaded approximately equal weight for stability.

The main weights of the solar-car were assumed to be 785 N for the driver, 200 N for the battery, 150 N for the brushless DC motor, 150 N for the solar array, and 540 N for the monocoque body-chassis. The center of gravity for the 540 N monocoque chassis is assumed to be at the center of the body. The driver and battery weights have been moved to obtain the required 51.5% of the weight on the front wheels. The polar moment of inertia can be calculated after specifying the center of gravity.

A double-wishbone suspension has been chosen to use for the solar-powered vehicle. Because double-wishbone suspension provides the best control of the suspension geometry and it is lighter than the McPherson suspension type. Before enhancing the suspension design, the wheelbase and wheel track must be determined. The wheel track and wheelbase have been determined as 0.8 m and 2.0 m. The following items have been taken into consideration during the design of suspension geometry.

- Lower wishbones in the suspension are longer than the upper wishbones. Longer lower wishbones reduce the scrub and bump steer. These design criteria can be possible with the narrow chassis structure. Also, a wider wheel track provides longer lower wishbones.

- The lower wishbones conduct higher loads to the chassis than the upper wishbones. Therefore, points where the wishbones hook onto the chassis, must be stiff.



•Another critical consideration is the distance between the lower and upper wishbones. If the distance can be increased, death wobble can be reduced. Another point of view, the larger distance can be contributed to reducing loads on the upper wishbone, and scrub, bump steer can be minimized.

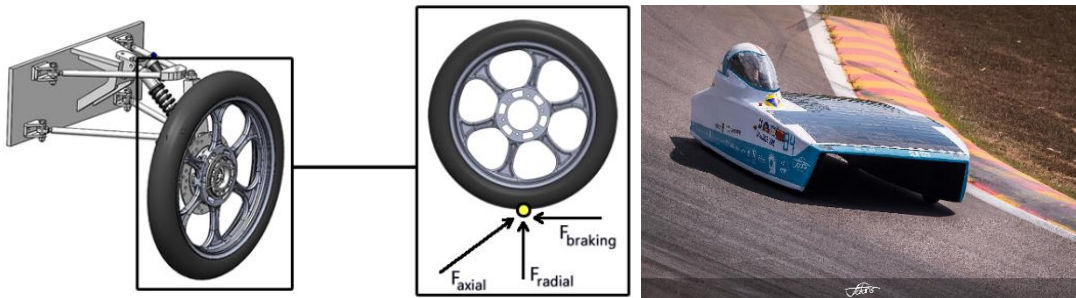
After the calculated wishbones length, the next step is the defining kingpin axis. Angling the kingpin through the center of the tire patch provides the braking loads to are having a zero moment around the kingpin axis. This condition eliminates the brake steer.

**Table 1.** Mechanical properties of aluminum 7074 T6 and AlSi7Mg alloy

Material Properties	Magnitude with Units of Aluminum 7075 T6	Magnitude with Units of AlSi7Mg
Density [kg/m <sup>3</sup> ]	2880	2660
Tensile Strength [MPa]	510-538	220
Poisson's Ratio	0.33	0.33
Young Modulus [MPa]	71.7	74
Elongation at Break [%]	11	2.5

## 2.2 Force Calculation

Before the finite element analysis and part designs, the forces acting on the vehicle should be calculated. As shown in figure 1, three types of forces act on the solar-powered vehicle. These are braking, axial, and radial forces. The radial force is the force perpendicular to the ground acting on the wheel and it is a force that occurs depending on the mass of the relevant land vehicle. Axial force, on the other hand, is a force that depends on mass, speed, and radius of turn.



**Figure 1.** Forces acting on the solar-powered vehicle

The mass of the Solaris 11 vehicle was assumed to be 280 kg. The safety factor was accepted as 2 in the radial force calculation. Because it is assumed that the entire mass is formed on 2 wheels while the vehicle turns around the bend. The radial force calculation has shown in equation 1.

$$m \times g \times SF = 82.6 \times 9.81 \times 2 = 1620.612 \text{ N} \quad (1)$$

As a result of examining the road data of Solaris Solar Car Team in axial force calculation, it was determined that the turning radius of the most critical scenario was recorded while turning with a speed of 16.67 m/s at a 38.9 m bend. The axial force calculation has shown in equation 2.

$$\frac{mv^2}{r} \times SF = \frac{82.6 \times 16.67^2}{33.875} \times 1.5 = 1016.397 \text{ N} \quad (2)$$

In this solar-powered vehicle, it has been decided to use hydraulic disc brakes at the front and rear. In this study, the main focus on the front axle. The solar-powered vehicle designed for the participating Bridgestone World Solar Challenge. In scrutineering, all solar-powered vehicles test for

braking capability. When the velocity is 60 km/h, all vehicles have to stop in 30 meters. For this reason, the first step is calculating the kinetic energy of the solar car in the first braking force.

$$KE = 0.5 \times m \times V^2 = 38904.45 J \quad (3)$$

Stopping distance calculation as,

$$s = 0.1 \times v + 0.0060 \times v^2 = 27.6 m \quad (4)$$

Average braking force calculation as,

$$F_{avg} = \frac{mv^2}{2s} = 1409.581 \quad (5)$$

Deceleration,

$$D_x = 0.5g \quad (6)$$

Stopping time calculation as,

$$V = U - D_x \times t \Rightarrow 3.4 \text{ seconds} \quad (7)$$

Dynamic weight transfer calculation as,

$$W_D = \left(\frac{h}{L}\right) * \left(\frac{W}{g}\right) * D_x = 586.1671 N \quad (8)$$

The radial load on the front axle calculated 1620.612 N and the rear axle is 1126.188 N. In dynamic condition vertical load on the front and rear axles,

$$\begin{aligned} \text{Front Axle} &= 1620.612 + W_D = 2206.779 N \\ \text{Rear Axle} &= 1126.188 - W_D = 540.0209 N \end{aligned} \quad (9)$$

Percentage load transfer while braking,

$$\begin{aligned} \text{Front Axle Percent} &= 0.8034 \\ \text{Rear Axle Percent} &= 0.1966 \end{aligned} \quad (10)$$

Required braking force at the front and rear axles,

$$\begin{aligned} F_{front,required} &= 1132.005 N \\ F_{rear,required} &= 277.0129 N \end{aligned} \quad (11)$$

Braking torque required for a single front wheel,

$$T_F = \frac{\text{Brake Force}}{2} * \mu * \text{Effective Radius of Wheel} = 47.385 Nm \quad (12)$$

Braking torque required for a single rear wheel,

$$T_F = \frac{\text{Brake Force}}{2} * \mu * \text{Effective Radius of Wheel} = 23.192 \text{ Nm} \quad (13)$$

**Table 2.** Force calculation study of Solaris 11 solar-powered vehicle

#	Type	Force [N]
1	Radial	1620.612
2	Axial	1016.397
3	Brake	566.0025

### 2.3 Spring Rate Calculation

One of the main purposes of suspension is to generate as much grip as possible from the tires in order to keep the tires in contact with the road, because it is the friction between the tires and the road that affects a vehicle's ability to steer, brake and accelerate.

Finding the ideal spring rate of the purpose-built solar race car plays a major role in the choice of suspension spring. Primary objective of the calculating ideal spring rates for a car is that calculations are based on ideal wheel loadings of the car. However, the ideal wheel loadings require ideal spring rates to calculate from. Due to this reason, a typical design problem is occurred. In order to overcome this issue, we need to calculate our ideal spring rate with appropriate assumptions to fine tune. When we calculate the ideal spring rate of the solar car, we could choose the appropriate suspension spring (coil spring, leaf spring etc.) from the industry.

- If the weight distribution of the solar-powered vehicle is unequal between the front and rear axle,  $k_{\text{front}}/W_{\text{front}}$  should be about 30% less than  $k_{\text{rear}}/W_{\text{rear}}$ .
- The bounce and pitch frequencies should be close together, and the bounce frequency should not be more than 1.2 times the pitch frequency. A higher ratio results in interference kicks that degrade the performance of the suspension.
- For passenger cars, the bounce and pitch frequencies should be about 1.3 Hz or less to give a nice smooth ride. Solar cars can sacrifice a smooth ride for energy efficiency, as long as it does not get into the range of causing the driver motion sickness or dizziness.

Front ride rate calculation as,

$$K_R = (\Delta W \times 9.81) / X \text{ [N/mm]}$$

$$\Delta W = \text{Front outside wheel change [kg]} \quad (14)$$

$$X = \text{Front bump allowance [m]}$$

Front ride wheel rate calculation as,

$$K_W = \frac{(K_R + K_T)}{(K_T - K_R)} \text{ [N/mm]}$$

$$K_R = \text{Ride rate [N/mm]} \quad (15)$$

$$K_T = \text{Tire vertical rate [N/mm]}$$

Installation ratio calculation as,

$$IR_F = \text{Damper Displacement} / \text{Wheel Displacement} \quad (16)$$

Front spring rate calculation as,

$$K_{SF} = K_{WF}/(IR_F)^2 \quad [N/mm] \quad (17)$$

$$K_{WF} = \text{Front ride wheel rate } [N/mm]$$

## 2.4 Previous and New Suspension Setup

When the solar-powered vehicle crossed the bump, the first contact of the reaction forces happens on the tire and rim. These forces are moved into the suspension arms and are then moved to the actual suspension. Old and new suspension parts were examined. There are many physical differences that are shown between them. Both suspensions setup can divide into 3 main parts. There are knuckle arm, upper and lower wishbones. Specifically, the weights of the old knuckle arm design are 1076.5 grams, the upper wishbone is 598.8 grams and the lower wishbone is 697.18 grams. Besides that, for the new suspension parts, the new knuckle arm design is 489 grams, the upper wishbone is 74.52 grams, and the lower wishbone is 244.63 grams. In conclusion, the weight difference between the two-suspension setup is 1564.33 grams.

There are some physical differences between old and new suspension systems. For instance, the heights of roll centers of front and rear are 0 and 326.05 mm for the old suspension system. The vertical distance between the center of gravity and the roll axis is 25.81 mm. For the new suspension system, the heights of roll centers of the front and rear are 76 and 316 mm. The vertical distance between the center of gravity and the roll axis is 5 mm. Consequently, the calculated amount of torque acting upon the chassis during cornering different for each suspension system. The scenario is a 33 m turning radius and the velocity is 16.67 m/s. The torque acting upon the chassis is 59.28 Nm on the old suspension system and 11.48 Nm on the new suspension system.

The new suspension system has designed for the new solar-powered vehicle. The track width of the old suspension system is 1500 mm, and 800 mm for the new suspension system. The steering and handling conditions are harder for the lower trackwidth. But more efficient aerodynamic bodies have lower track width. Each suspension setups have a positive scrub radius. A positive radius allows the wheel to roll over on lock making parking situations easier. Having a small scrub radius is beneficial as it allows the wheel to react less to braking inputs due to the smaller moment arm and increases steering stability under braking conditions. As shown in Table 3, all physical details of both suspension setups indicated. A hybrid system includes a polymer composite leaf spring and shock absorber at the front suspension at the new suspension setup.

**Table 3.** Formal engineering specification table of the previous and new suspension set-up

#	Parameters	Value [Previous]	Value [New]
1	Weight	280 kg	280 kg
2	Natural Frequency	2.5 Hz	2.17 Hz
3	Speed	75 km/h	75 km/h
4	Tire Scrub	2.82 mm	5 mm
5	Toe Angle	0 degree	0.5 degrees
6	Track Width	1500 mm	800 mm
7	Wheelbase	2200 mm	2200 mm
8	Height of roll center of front	0 mm	76 mm
9	Height of roll center of rear	326.05 mm	316 mm
10	Height of C.G.	150 mm	196.8 mm
11	The vertical distance between C.G. and roll axis	25.81 mm	5 mm
12	W <sub>R</sub> :W <sub>F</sub>	0.6949	0.6949
13	Ideal front spring rate	50 N/mm	72.64 N/mm

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Previous Suspension System

After the finite element analysis of the old suspension system, the topology optimization study of the old suspension system was carried out. The topology optimization study was made realize on the knuckle arm, a-arms, and brackets of the suspension system. According to the analysis results, the maximum stress distribution in the lower wishbone connection area was observed. The maximum strength in this region was observed around 80 MPa. The stresses seen in the upper wishbone connection area are around 45-50 MPa. The stress difference seen between the two connection areas is 50%. The maximum stress value observed in the lower wishbone parts is 161.55 MPa, and the maximum stress value observed in the upper wishbone parts is 123.65 MPa. In Figure 5, the safety factor studies of all suspension parts were observed. All suspension parts are safe in line with the material properties used. For this reason, the mass reduction has been performed in all parts.

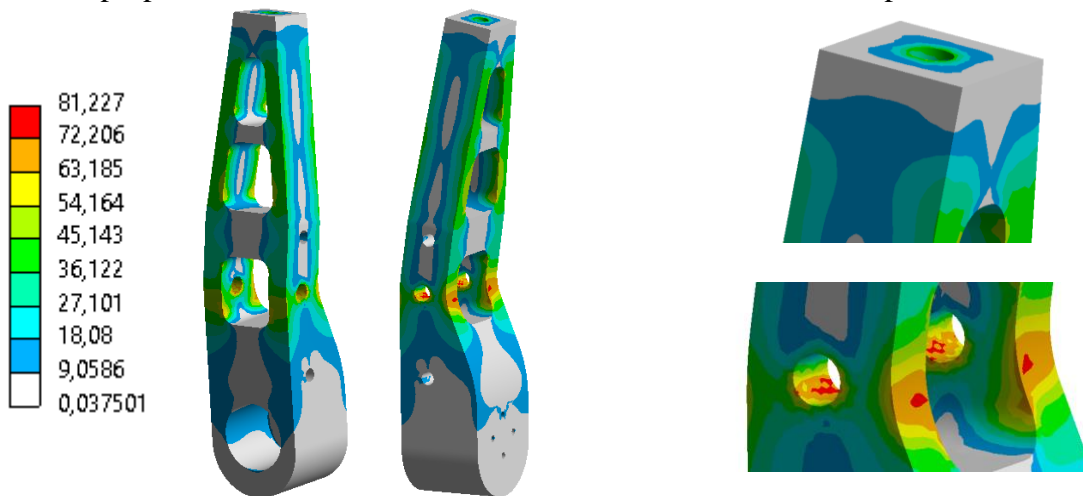


Figure 2. Equivalent stress distribution on old design of knuckle arm [MPa]

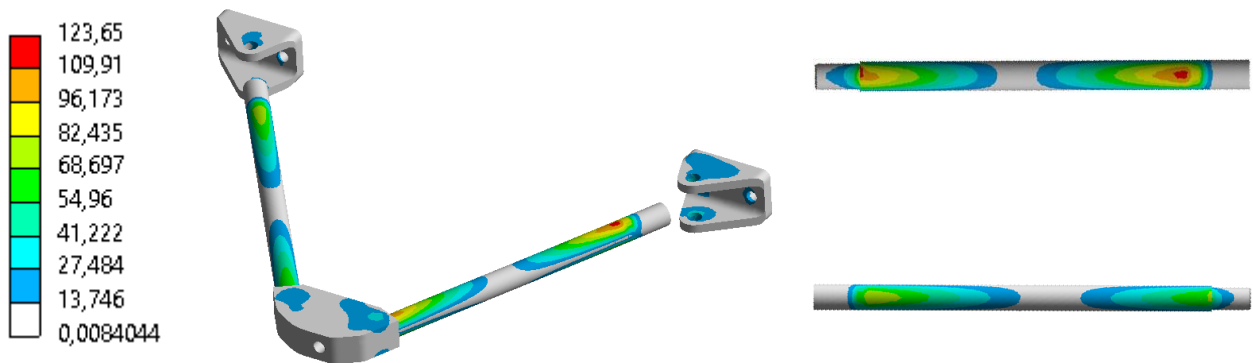


Figure 3. Equivalent stress distribution on old design of upper wishbones [MPa]

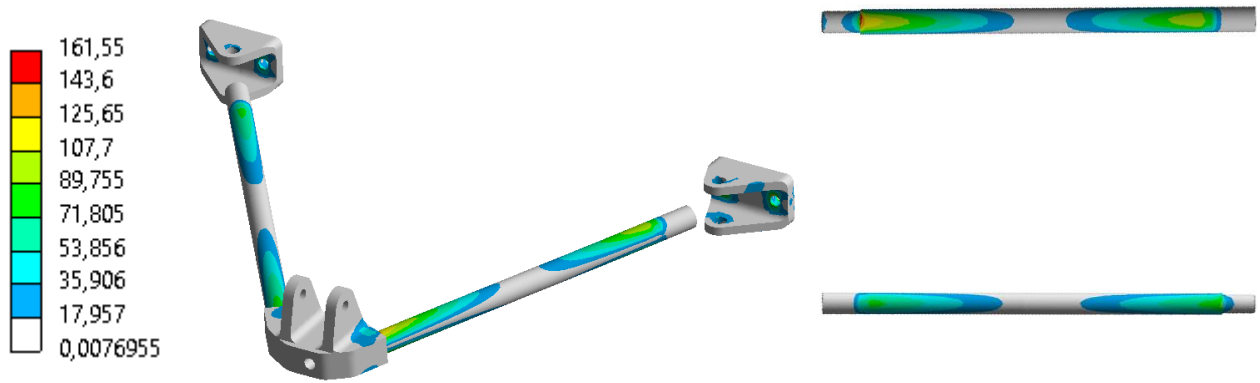


Figure 4. Equivalent stress distribution on old design of lower wishbones [MPa]

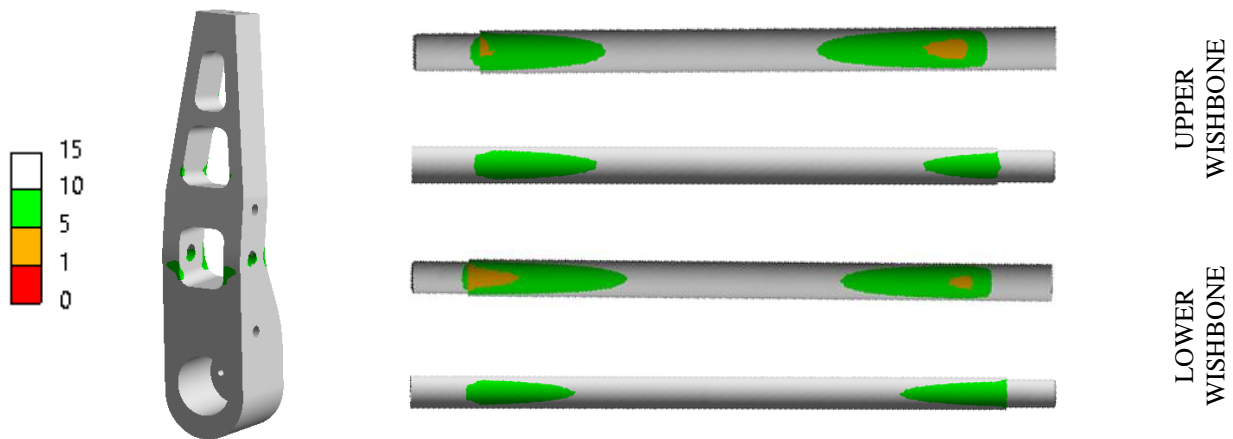


Figure 5. Safety factor study of the old suspension system

### 3.2 New Suspension System

At the end of the new suspension system study, results showed that the maximum equivalent stress occurred on the upper wishbones. The average occurred stress on the knuckle arm design is 8.27 MPa and the maximum stress is 76.66 MPa. The stresses seen in the upper wishbone connection area are around 50-55 MPa and on the lower wishbone are 65-70 MPa. The maximum stress value observed in the lower wishbone parts is 23.47 MPa, and the maximum stress value observed in the upper wishbone parts is 48.62 MPa. Reduction of the occurred stress and mass amounts are shown in table 4. Safety factor studies were shown in Figure 9 and observed. All suspension parts are safe in line with the material properties used.

Table 4. Mass reduction studies in the new suspension systems

Part Name	Mass [gram]		Difference [%]
	Old	New	
Knuckle Arm	1076.5	489	%54.58
Upper Wishbone	598.8	74.52	%87.56
Lower Wishbone	697.18	244.63	%64.91
<b>Total</b>	<b>2372.48</b>	<b>808.15</b>	<b>%65.94</b>

Table 5. Maximum equivalent stress occurred on suspension parts

Part Name	Equivalent Stress [MPa]		Difference [%]
	Old	New	
Knuckle Arm	81.227	76.662	%5.62
Upper Wishbone	123.65	48.616	%60.68
Lower Wishbone	161.55	23.466	%85.47

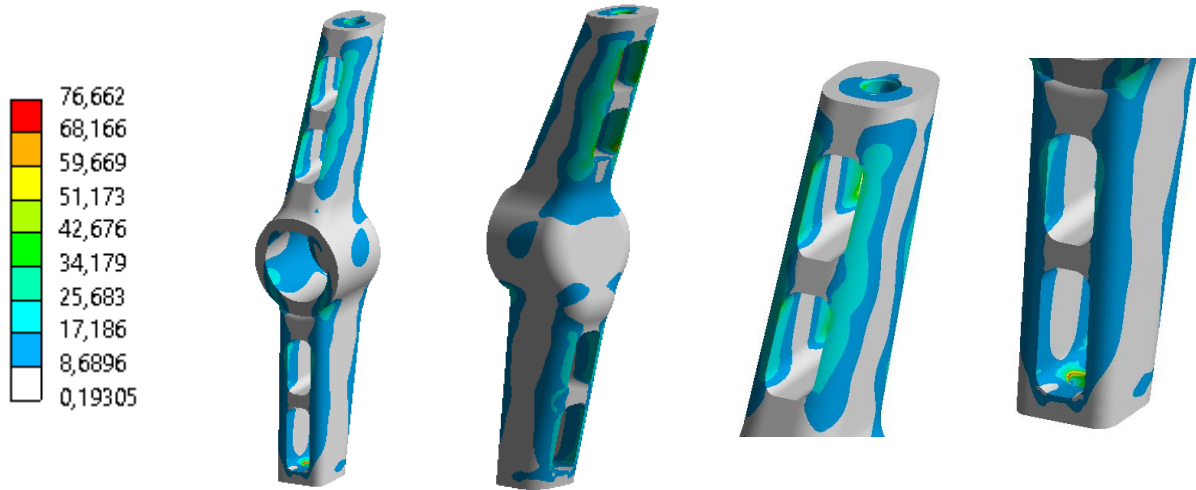


Figure 6. Equivalent stress distribution on new design of knuckle arm [MPa]

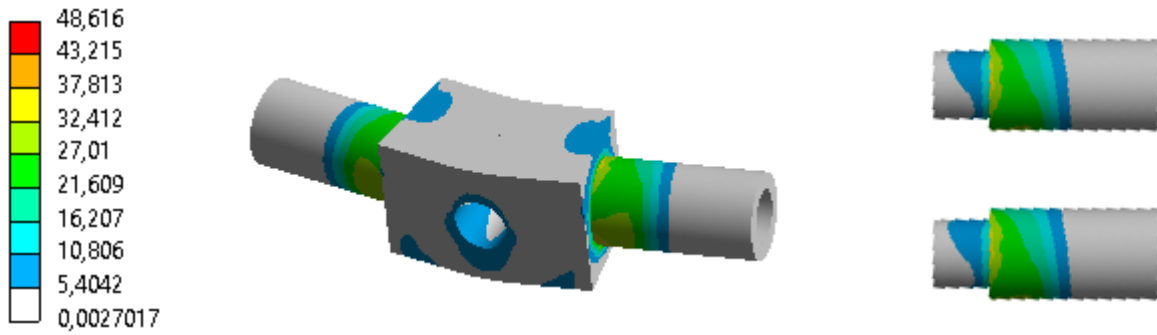


Figure 7. Equivalent stress distribution on new design of upper wishbones [MPa]

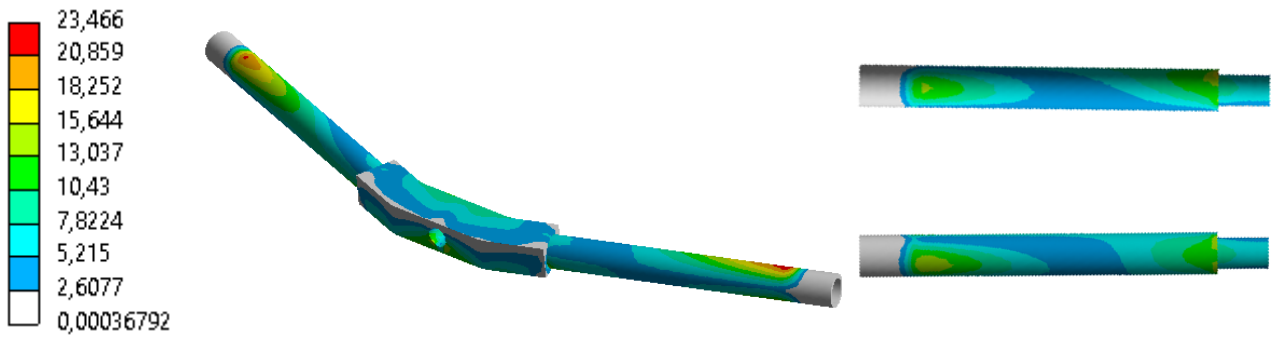


Figure 8. Equivalent stress distribution on new design of lower wishbones [MPa]

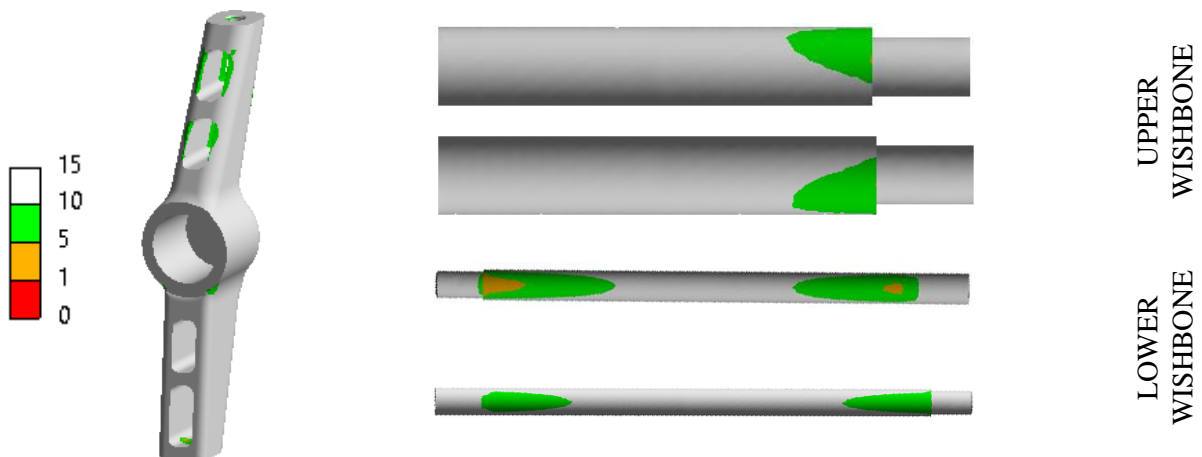
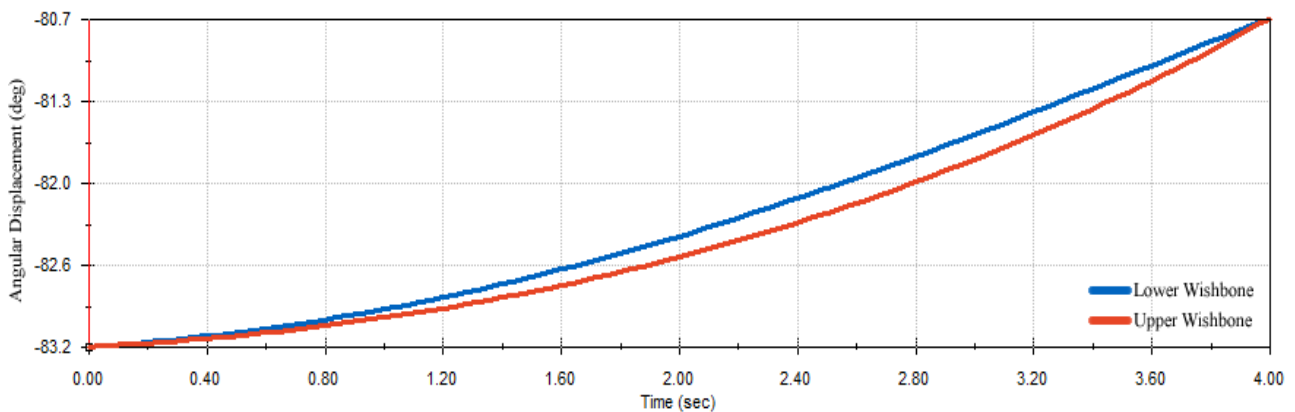


Figure 9. Safety factor study of the new suspension system

Another important issue in the design of the new suspension system is the kinetic analysis of the relevant wishbone mechanism. Because the upper and lower wishbones may not design to be parallel to each other and this mechanism can be locked when the vehicle is on road. For this reason, the spring and shock absorber may not work properly and this may happen the bump steer on the vehicle. Figure 10 shows that the unstable angles of the lower and upper wishbones of the new suspension system with the ground. Upper and lower wishbones work at close angles with each other and they conduct the reaction force to the shock absorber and spring as accurately.

**Figure 10.** Motion study of wishbones of the new suspension system



#### 4. CONCLUSION

In this study, the static analysis of the aluminum alloy suspension system parts designed for a solar-powered vehicle was carried out and strengthening and weight reduction studies were conducted. It has been observed that weight and mechanical properties can be improved by different design approaches and material selections. The conclusions are given below:

- According to finite element analysis (FEA) results, it was concluded that a weight reduction may be applied at regions where the low equivalent stresses are observed. The final design has a 65.94% (1.564 kg) weight reduction compared to the initial design (2.372 kg).
- The maximum equivalent stress of the new suspension system parts also reduced by 5.62% on the knuckle arm design, by 6.06% on the upper wishbone, and by 80.23% on the lower wishbone.

#### 5. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank S11 Solaris Team members for their help in the implementation of Finite Element Analysis and performing tests.

#### 6. CONFLICT OF INTEREST

Author approve that to the best of their knowledge, there is not any conflict of interest or common interest with an institution/organization or a person that may affect the review process of the paper.



## 7. AUTHOR CONTRIBUTION

Taha Batuhan KORKUT contributed management of the conceptual and design processes of the study, data analysis and interpretation, creation of the draft paper, critical analysis of the intellectual content. Zeynep PASİNLİ, contributed to the determination and management of the conceptual and design processes of the study, data collection and preparation of the manuscript. Aytaç GÖREN contributed final approval and full responsibility.

## 8. REFERENCES

- Arsie I., Rizzo G., Sorrentino M., Optimal design and dynamic simulation of a hybrid solar vehicle. SAE Technical Paper 2006-01-2997, 2006.
- Bastow D., Howard G., Car suspension and handling, Society of Automotive Engineers, Third Edition Warrendale, PA, 1993.
- Burdick I., Haynes C., Patzer N., Lightweight racing suspension project, Senior Design Project, Western Michigan University, 2019.
- Camargo F. V., Fragassa C., Pavlovic A., Martignani M., Analysis of the suspension design evolution in solar cars, FME Transactions 45(3), 394-404, 2017.
- Center for Sustainable Systems, University of Michigan, U.S. Renewable Energy Factsheet, Pub. No. CSS03-12, 2020.
- Dhir N. S., Design and optimization of suspension geometry of a solar electric passenger vehicle, International Research Journal of Engineering and Technology 5(11), 207-214, 2018.
- George B., Benny A. T., John A., Jose A., Francis D., Design and fabrication of steering and braking system for all terrain vehicle, International Journal of Scientific and Engineering Research 7(3), 7-18, 2016.
- Gillespie T. D., Fundamentals of Vehicle Dynamics, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1992.
- Harris W., 2020. How car suspensions work, <https://auto.howstuffworks.com/car-suspension.htm> (Date of Access: 06.02 2020).
- Kawade G. H., Pharande R. D., Patil S. B., Design of steering and braking system for a solar car, International Journal for Research in Engineering Application & Management 4(10), 333-340, 2019.
- Korkut T. B., Armakan E., Özyaydin O., Gören A., Design and comparative strength analysis of wheel rims of a lightweight electric vehicle using Al6063 T6 and Al5083 aluminium alloys, Journal of Achievements of Materials and Manufacturing Engineering 2(99), 57-63, 2020.
- Milliken W. F., Milliken D. L., Race car vehicle dynamics, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, 1995.
- Odabaşı V., Maglio S., Martini A., Sorrentino S., Static stress analysis of suspension systems for a solar-powered car, FME Transactions 47(1), 70-75, 2019.
- Pechancová V., Renewable energy potential in the automotive sector: Czech regional case study, Journal of Security and Sustainability Issues 6(4), 537-545, 2017.
- Roche D. M., Schinckel A. E. T., Storey J. W. V., Humphris C. P., Guelden M. R., Speed of light: The 1996 World Solar Challenge, Photovoltaics Special Research Center, University of New South Wales, Sydney, Australia, 1997.
- Storey J. W. V., Schinckel A. E. T., Kyle C. R., Solar Racing Cars, Australian Government Publishing Service, Canberra, Australia, 1994.

Araştırma Makalesi / Research Article

Microstructure, Physical and Mechanical Properties of Al/SiC and Al/B<sub>4</sub>C Metal Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy

Polen ŞANLI<sup>1\*</sup>, Muammer GAVAS<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar University, Simav Technology Faculty, Department of Mechanical Engineering, Kütahya, Turkey, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2470-8463>, polen.sanli@dpu.edu.tr

<sup>2</sup> Kütahya Dumlupınar University, Simav Technology Faculty, Department of Mechanical Engineering, Kütahya, Turkey, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3499-4392>, muammer.gavas@dpu.edu.tr

Geliş/ Received: 20.03.2021;

Kabul / Accepted: 29.04.2021

**ABSTRACT:** In this study, aluminum (Al) matrix composites reinforced with silicon carbide (SiC) and boron carbide (B<sub>4</sub>C) in different weight ratios (8 wt.%, 16 wt.%, 24 wt.%) were produced by powder metallurgy method. After mixing, the resulting powder mixtures were compressed with a uniaxial hydraulic press. Compressed cylindrical block-shaped raw samples were subjected to sintering at different temperatures (540°C, 580°C, 620°C) and times (2 and 4 hours). After sintering samples, metallographic sample preparation processes were applied, the density and hardness measurements were made, then the microstructure examinations were performed by optical microscope, scanning electron microscope (SEM) and energy distribution spectrometer (EDX) and the results were evaluated. Thus, the effect of changing reinforcement rate, sintering temperature and sintering time on the microstructure and mechanical properties of the composites produced was determined and a comparison was made. As a result of the study, it was determined that the optimum values were obtained in samples sintered at 620°C for 4 hours. The highest hardness values obtained were determined as ~92 HV for 24wt.% SiC reinforced samples sintered at 620°C for 4 hours and, ~60 HV for 8wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples sintered at 620°C for 4 hours. Thus, compared to ~54 HV value, which is the highest hardness value obtained in unreinforced Al samples sintered at 620°C for 4 hours, 70% higher hardness was obtained in SiC samples and 11% higher in B<sub>4</sub>C samples. Although the B<sub>4</sub>C hardness value is higher than SiC, it was interpreted that the difference in the matrix/reinforcement particle size ratio was effective in obtaining these hardness results.

**Keywords:** B<sub>4</sub>C, Metal matrix composites, Powder metallurgy, SiC.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: polen.sanli@dpu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Şanlı, P., Gavas, M. (2021). Microstructure, Physical and Mechanical Properties of Al/SiC and Al/B<sub>4</sub>C Metal Matrix Composites Produced by Powder Metallurgy. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 72-89.

## **Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Al/SiC ve Al/B<sub>4</sub>C Metal Matrisli Kompozitlerin Mikroyapı, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri**

**ÖZET:** Bu çalışmada, farklı takviye oranlarında (%8, %16, %24) silisyum karbür (SiC) ve bor karbür (B<sub>4</sub>C) ile takviyelendirilmiş alüminyum (Al) matrisli kompozitler toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Tozlar karıştırıldıktan sonra, elde edilen toz karışımları tek eksenli bir hidrolik pres ile preslenmiştir. Silindirik blok şeklinde preslenen ham numuneler, farklı sıcaklıklarda (540°C, 580°C, 620°C) ve sürelerde (2 ve 4 saat) sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme sonrası numunelere metalografik numune hazırlama işlemleri uygulanarak, yoğunluk ve sertlik ölçümleri yapılmış, ardından mikroyapı incelemeleri optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektrometresi (EDX) ile gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Böylece değişen takviye oranı, sinterleme sıcaklığı ve sinterleme süresinin üretilen kompozitlerin mikroyapı, fiziksel ve mekanik özelliklerine etkisi belirlenmiş ve karşılaştırma yapılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** B<sub>4</sub>C, Metal matrisli kompozitler, Toz metalurjisi, SiC.

### **1. INTRODUCTION**

Metal matrix composites, together with their superior properties such as high strength, low density, good wear and corrosion resistance, constitute a better alternative material group compared to traditional materials. Thus, it has widespread use in many fields, especially in the automotive, aerospace and defense industry (Venkatesh and Harish, 2015).

In metal matrix composite materials, metals such as aluminum (Al), magnesium (Mg), titanium (Ti), nickel (Ni), copper (Cu), zinc (Zn) and their alloys are generally used as matrix materials (Kalemtaş, 2014). Among these, aluminum and its alloys are the most preferred ones due to their lightness, good thermal and electrical conductivity, high corrosion resistance, easy availability and therefore economic (Baradeswaran and Elaya Perumal, 2013; Karakoç et al., 2019).

Aluminum and its alloys are reinforced with ceramic particles in order to improve their properties such as strength and wear resistance (Çolak and Turhan, 2016). In this study, particle reinforced metal matrix composites were investigated. Since, metal matrix composites with particulates as reinforcement are comparatively less expensive and have isotropic properties compared to fiber-reinforced metal matrix composites (Bhushan, 2021). The most preferred of these ceramic reinforcing materials are generally alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), SiC and B<sub>4</sub>C. However, B<sub>4</sub>C has been less studied than other reinforcing materials due to its high cost (Gökmeşe et al., 2013).

Powder metallurgy method and liquid phase production methods such as various casting methods are generally used in the production of composites with particle reinforced aluminum metal matrix (Lindroos and Talvitie, 1995). When these two methods are compared, the powder metallurgy method stands out with some advantages. These are advantages such as the wetting problem frequently encountered in liquid phase production methods is much less in the powder metallurgy method and there is no reaction between the matrix-reinforcement due to the production being carried out at low temperatures. In addition to these, net shaped production possibilities with homogeneous distribution and good dimensional tolerances are among the advantages of this method. Powder metallurgy, as a near net shape technology, also provides significant advantages in minimizing material and energy waste for mass production of structural parts (Jeevan et al., 2012; Mohapatra et al., 2016; Hu et al., 2017; Basavarajappa and Parashivamurthy, 2017; Karakoç et al., 2019).

Zaki and Hussain examined the properties of Al/B<sub>4</sub>C composites by producing them with powder metallurgy method at reinforcement ratios of 2-4-6%. According to their results, they found that there was an increase in the hardness values up to 4% B<sub>4</sub>C reinforcement and a sudden decrease in the 6% B<sub>4</sub>C reinforcement rate. From SEM studies, they determined that B<sub>4</sub>C particles in the aluminum matrix have a homogeneous distribution (Zaki and Hussain, 2020). Surya and Prasanthi produced Al7075/SiC composites with varying reinforcement ratios (0, 5, 10, 15, 20, 25 and 30%) using powder metallurgy method and examined their microstructure and mechanical properties. From SEM studies, it was determined that SiC particles up to 15% SiC reinforcement ratio had a homogeneous distribution in the Al matrix and showed less porosity than higher reinforcement ratios than 15%. This showed that a homogeneous distribution can only be achieved up to a certain weight% of the reinforcement. Accordingly, it was determined that the optimum reinforcement ratio was 15% and that the microstructure and mechanical properties of composites were better than other samples at this ratio (Surya and Prasanthi, 2021). Dangarikar and Dhokey produced Al7075/B<sub>4</sub>C composites by using powder metallurgy method with B<sub>4</sub>C reinforcement varying from 2% to 20% in their studies and examined their wear and mechanical properties. It was determined that the density decreased and the hardness increased with increasing reinforcement ratio, and the lowest wear rate was obtained from 10% B<sub>4</sub>C reinforced samples. It has been stated that in B<sub>4</sub>C reinforced composites between 12-20%, the wear rate was higher due to reinforcement segregation and dislodgment (Dangarikar and Dhokey, 2020). Surya produced 0, 5, 10 and 15% SiC reinforced Al6061/SiC composites at varying sintering times (1, 2, and 3 hours) using powder metallurgy technique and examined their microstructure and mechanical properties. It has been determined that the sintering time is highly effective on the density of composites since diffusion is largely dependent on sintering temperature and time. When the SiC reinforcement, ratio was increased from 5% to 15%, the hardness value for composites sintered at 530°C for 3 hours increased from 73 HRB to 81 HRB. When the sintering time increased from 1 hour to 3 hours, the hardness value of the 15% SiC reinforced composite increased from 70 HRB to 81 HRB (Surya, 2021). Salman produced Al6061 matrix composites reinforced with SiC and B<sub>4</sub>C in different ratios (3, 6, 9, and 12%) by powder metallurgy and examined their physical and mechanical properties. It has been determined that mechanical properties such as hardness and compressive strength of composites produced with increasing SiC and B<sub>4</sub>C reinforcement ratios have improved. It has been determined that the hardness of SiC reinforced composites is higher than the B<sub>4</sub>C reinforced ones. It has been suggested that this is due to the stronger bonding of SiC with the matrix compared to B<sub>4</sub>C. It was stated that the optimum rate of reinforcement for SiC and B<sub>4</sub>C was 9% (Salman, 2017). Celik and Kilickap produced B<sub>4</sub>C and SiC reinforced composites in different weight ratios with powder metallurgy technique and examined their hardness and wear properties. It has been observed that the homogeneous distribution of reinforcement elements in the matrix affects the hardness value of the composite produced. It has been determined that the increasing rate of reinforcement increases the hardness. The highest hardness value was determined as 58.7 HV from 16% B<sub>4</sub>C reinforced composite. In addition, it has been determined that the increase in the reinforcement ratio contributes to the increase in wear resistance (Celik and Kilickap, 2019). Kumdalı investigated the properties of B<sub>4</sub>C reinforced composite materials with Al matrix produced by powder metallurgy. It was stated that the increasing size difference between the reinforcement and the matrix grain size resulted in the accumulation of reinforcement powders between the matrix grains and thereby causing agglomeration and thus negatively affecting the sintering and thus material properties. For the reinforcement ratio, it was determined that the hardness increased up to a certain rate, but decreased in 25% reinforced samples. In addition, it was stated that the samples reinforced

at this rate (25%) had a highly porous structure, there were voids where B<sub>4</sub>C grains should be in their structures and these samples were dispersed during the study (Kumdalı, 2008). Ay studied the wear behavior of composite materials produced by reinforcing different proportions of Ti and B<sub>4</sub>C to Al7075 alloy by powder metallurgy method. It was determined that the hardness increased and the density decreased with increasing B<sub>4</sub>C reinforcement ratio. It was determined that the highest hardness was obtained from the composite samples with reinforcement ratios of 6% Ti and 9% B<sub>4</sub>C. As a result of the wear tests, it was stated that the weight loss, i.e. the wear, increased with the increasing sliding distance, and with SEM examinations, the parts that ruptured from the surface during the test were again welded to the surface and this situation increased with increasing reinforcement rates (Ay, 2014). Kalaycıoğlu investigated the effect of reinforcement ratio and reinforcement grain size on microstructure and mechanical properties of Al2017/SiC composite materials produced by powder metallurgy method. It was determined that hardness and porosity increased and density decreased with increasing reinforcement ratio (Kalaycıoğlu, 2010). Kevenlik investigated the effect of different reinforcement ratios and sintering temperatures on Al2014/SiC composite materials produced by powder metallurgy. It has been determined that the hardness, density, and porosity increased with the increasing reinforcement ratio. It was determined that hardness and density increased and porosity decreased with increasing sintering temperature (Kevenlik, 2013).

In this study, besides to a frequently preferred ceramic reinforcement material such as SiC, a relatively less studied B<sub>4</sub>C was selected and comparison was made. In addition, different reinforcement rates, different sintering temperatures and times were selected for each reinforcement, and their effect on the microstructure and mechanical properties of the composite material produced was examined.

## 2. MATERIALS AND METHODS

The general properties of the materials (Al, SiC, B<sub>4</sub>C) that will form the metal matrix composite material composition to be examined in the study are given in Table 1 and the flow diagram of the experimental procedure applied is given in Figure 1. These materials were obtained from Ege Nanotek company, with Al powder average ~40 µm size and >98% purity, SiC powder average ~36 µm size and ~98% purity, B<sub>4</sub>C powder average ~6 µm size and >96% purity.

At the beginning of the experimental studies, the powder mixture weight calculations required for the production of the test samples in desired dimensions were made. These were calculated based on the density of the powder mixture and the volume of samples to be produced. The volume of samples to be produced was calculated using Equation 1. Based on this value, the sample weights to be produced were calculated by using Equation 2. The theoretical densities of the powder mixtures produced were calculated using Equation 3.

$$V = \pi r^2 h \quad (1)$$

$$W = \rho \cdot V \quad (2)$$

$$\rho_{mix} = [(\%W)_1 * \rho_1] + [(\%W)_2 * \rho_2] + \dots + [(\%W)_n * \rho_n] \quad (3)$$

Here V, W, ρ, ρ<sub>mix</sub>, (%W)<sub>n</sub> and ρ<sub>n</sub> are volume(cm<sup>3</sup>), weight(g), density(g/cm<sup>3</sup>), the theoretical density of the powder mixture (g/cm<sup>3</sup>), the weight percentage of n component in the mixture and the density of the n component (g/cm<sup>3</sup>); respectively.

Powder mixtures were prepared by weighing on with Shimadzu precision scales. Mixing processes for the purpose of obtaining homogeneous dispersed powder mixtures were carried out in a V-shaped mixer at 20 rpm for 3 hours. As a result of the examinations made at the end of this period, it was decided that the given mixing time was sufficient to obtain a homogeneous powder mixture.

Before the pressing process, preparation works of the mold to be used in pressing the powder mixtures and thus in the production of raw samples were carried out. The produced mold and the used punch are given in Figure 2. The prepared powder mixtures were pressed with a uniaxial hydraulic press under a load of 450 MPa, and thus the production of raw samples was carried out. Literature studies and preliminary experiments were decisive in the selection of pressing pressure. Prior to pressing process, the inner surface of the mold and the surface of the punch were lubricated with zinc stearate in order to reduce friction and mold wear and to allow the samples to come out of the mold more easily after pressing. The produced samples are cylindrical samples with a diameter of 12 mm and a height of 22 mm. A total of 126 samples were produced, 3 pieces for each different parameter. One of the samples produced is given in Figure 3.

Raw density measurements of raw samples obtained after pressing were made before sintering and then samples were subjected to sintering. Sintering was carried out in three different sintering temperatures, 540°C, 580°C and 620°C, in Nabertherm heat treatment furnace under normal atmosphere. Samples were taken to the sintering temperature in 1 hour and kept at two different sintering times, 2 and 4 hours at this temperature, then left to cool in the furnace environment. In order to reveal the change in density values by sintering, density measurements were performed twice, one before and the other after sintering. These measurements were made according to the Archimedes principle with Shimadzu precision scales. In order to measure densities by Archimedes Principle, Shimadzu Density Measurement Set was also used. Then, the porosity rates and density percentages of the samples were calculated using the experimental densities measured after sintering and the calculated theoretical densities.

The density of unreinforced pure aluminum and produced composite samples were measured using the Archimedes principle described in ASTM B962-13 (Shaikh et al., 2019). For this, first the weights of the samples in air ( $W_a$ ) and water ( $W_w$ ) were measured, then density ( $\rho$ ) was calculated according to Equation 4.

$$\rho = \left[ \frac{W_a}{W_a - W_w} \right] * \rho_w \quad (4)$$

The theoretical density of the composite samples produced was calculated according to the mixing rule. The pores formed in the samples were calculated as the percentage of the difference between the theoretical and experimental density relative to the theoretical density as in Equation 5.

$$\% \text{ Porosity} = \frac{\rho_{th} - \rho_{sin}}{\rho_{th}} * 100 \quad (5)$$

Here  $\rho_{th}$  and  $\rho_{sin}$  are theoretical and sintered (experimental) densities, respectively.

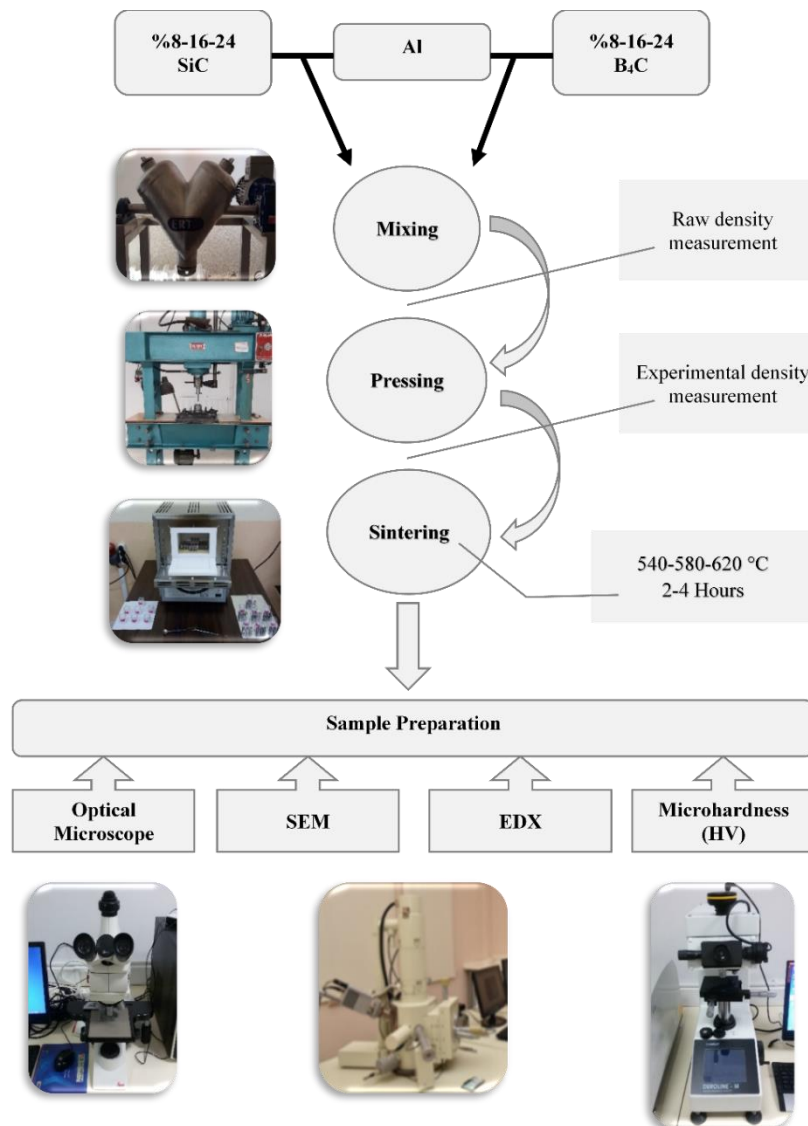
Metallographic sample preparation procedure was applied to the samples after density measurements. For this, the samples were first cut with the Metkon Micracut 201 precision cutter and brought to appropriate dimensions for the bakelite moulding process. The cut samples were then embedded in bakelite with Metkon Ecopress 100 mounting press. Then the samples were grinded

with 600, 800, 1000, 1200 and 2000 grit abrasive papers in Metkon Forcimat grinding-polishing machine, respectively. Lastly, the samples were polished with 1-micron alumina suspension in Metkon Digiprep Accura grinding-polishing machine, and thus metallographic sample preparation processes were completed.

Microstructure images of the finished samples at magnification rates of x10, x20, x50 and x100 were obtained with Leica optical microscope. Microstructure images at x100, x250, x500 and x1000 magnification rates and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) analysis were obtained by Jeol JSM 5600 scanning electron microscope (SEM). Hardness tests were carried out with Metkon Duroline-M microhardness tester in the Vickers scale. In order to obtain optimum results, measurements were taken from three different points on the surface for each sample, and the arithmetic average of these values was determined as the hardness value.

**Table 1.** General properties of the materials used in the experiments

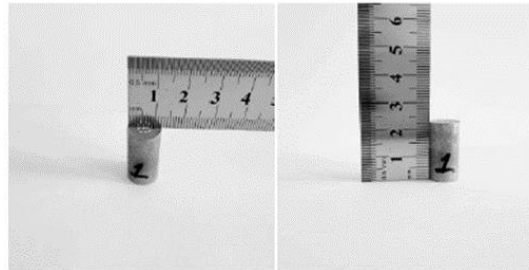
Material	Density ( $g/cm^3$ )	Melting Temperature ( $^{\circ}C$ )	Hardness ( $kg/mm^2$ )
Al	2.7	660	16.7
SiC	3.21	2730	2600
B <sub>4</sub> C	2.52	2350	3200



**Figure 1.** Flow chart showing the experimental procedure of this study



**Figure 2.** Mold and punch used in pressing



**Figure 3.** Produced sample

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

As a result of the experimental studies, it was determined that there was an increase in the density values of the samples depending on the increasing sintering temperatures and times. This increase is thought to occur due to the shrinkage of the pores due to the increase in bond breakage of atoms at the temperatures close to the melting temperature and thus the increase of diffusion between Al grains. In Figures 4 and 5, density variations depending on sintering temperatures of pure Al samples and SiC and B<sub>4</sub>C reinforced Al samples are given.

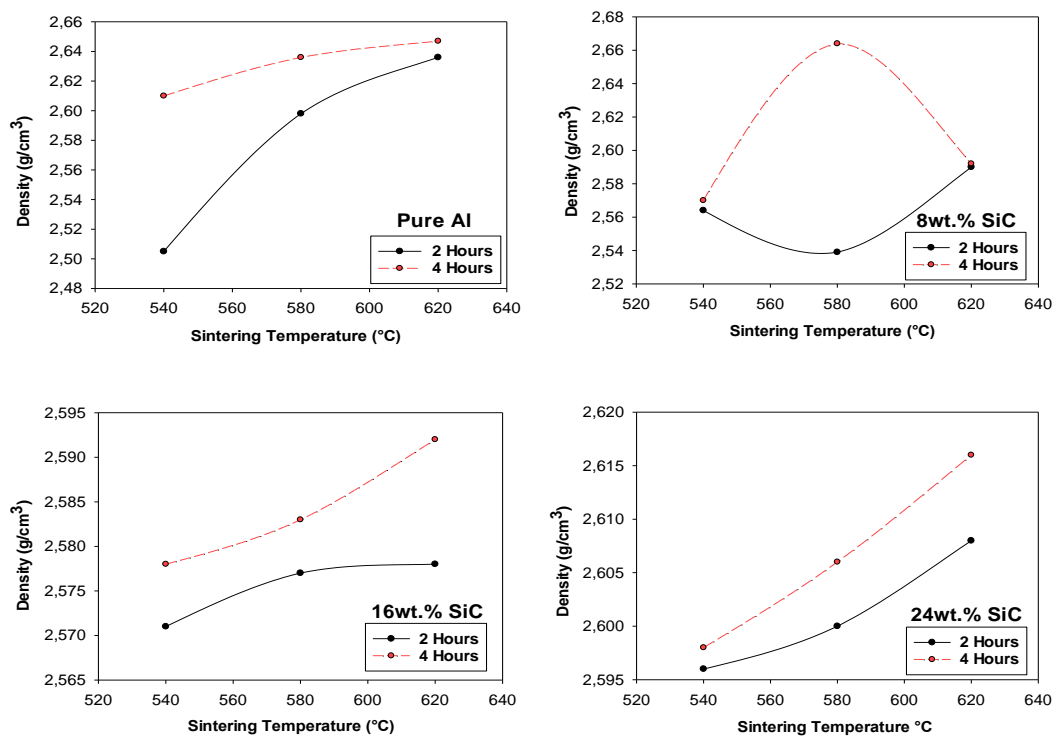
From the graphs showing the change in density depending on the sintering temperature, it can be seen that the 8wt.% SiC graph in Figure 4 and the 24wt.% B<sub>4</sub>C graphs in Figure 5 are different from the others. Since a single sample to be produced for the parameters examined in the study may not always give the correct result and to evaluate the results based on the majority considering the tolerances in the samples and measurements; 3 samples were produced for each parameter and the graphs were obtained by taking the average values of these samples. As mentioned above, since the samples, which do not always give the desired and correct results, are also taken into account, they may cause a difference in the average values taken. This situation can be put forward as an explanation for the situation seen in the graphs mentioned above. Therefore, a similar situation is also reflected in the porosity graphs taken from the same samples.

It has been determined that there was a numerical increase in density values due to the increased reinforcement rates for SiC because the SiC density is higher than Al density. But in real, it was found that with increasing reinforcement rates, porosity increased and density values grow away from the theoretical density value. Similarly, it was determined that there was a numerical decrease in density values due to the B<sub>4</sub>C density being less than Al density, and again with the increasing reinforcement rates, it was found that porosity increased and density values grow away from the theoretical density value.

When porosity values were analyzed, it was seen that porosity decreases with increasing sintering temperatures and times. In Figures 6 and 7, porosity variations depending on sintering



temperatures of pure Al samples and SiC and B<sub>4</sub>C reinforced Al samples are given. It was determined that the least porosity was observed in pure Al samples and the highest porosity was observed in 24 wt.% SiC and 24 wt.% B<sub>4</sub>C reinforced Al samples. The reason for this is thought to be due to the increasing SiC and B<sub>4</sub>C ratios, and the diffusion difficulty of Al around this increasing reinforcing grains in the structure and thus Al's having difficulty in binding these grains. In other words, it has been commented that porosity generally increases in increasing reinforcement rates and the reason for this situation is that pores generally occur around the reinforcement grains. In addition, due to the refractory properties and low thermal conductivity of the reinforcing materials, it is thought that the increased reinforcement rates in the structure reduce the diffusion by preventing the heat conduction and thus the sintering mechanism during sintering, thereby preventing the shrinkage and reduction of the pores. It is thought that another reason for the increase of porosity with increasing reinforcement rates may be the reduction of the compressibility of the composite by increasing the amount of reinforcement grains, which has high hardness and low compressibility, in the structure. As a result, it was determined that porosity decreases with increasing sintering temperature and time, and increases with increasing reinforcement rates. It has been determined during literature studies that similar results have arisen in studies conducted by Kumdalı, Kalaycıoğlu and Kevenlik (Kumdalı, 2008; Kalaycıoğlu, 2010; Kevenlik, 2013).



**Figure 4.** Variation of density depending on sintering temperature in SiC reinforced samples

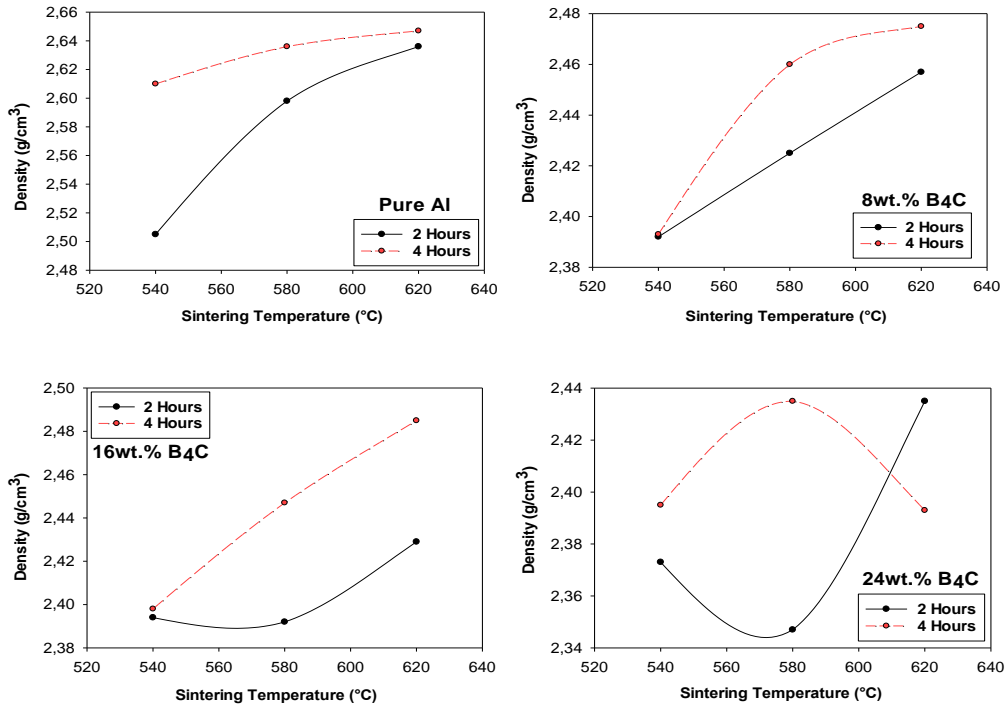


Figure 5. Variation of density depending on sintering temperature in B<sub>4</sub>C reinforced samples

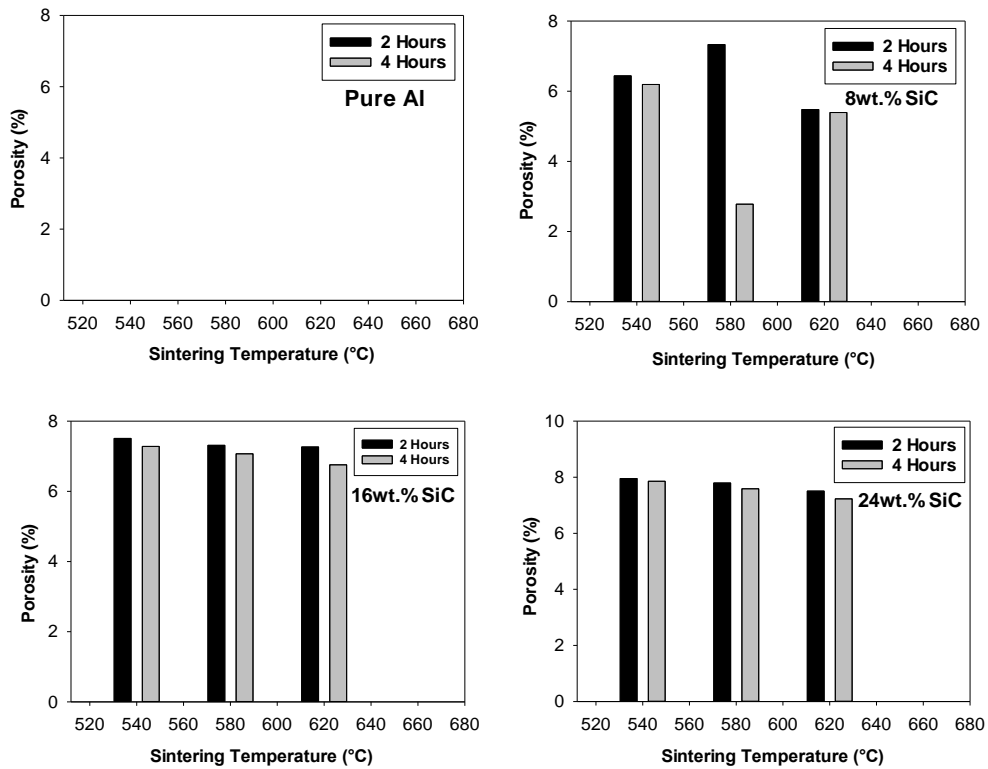
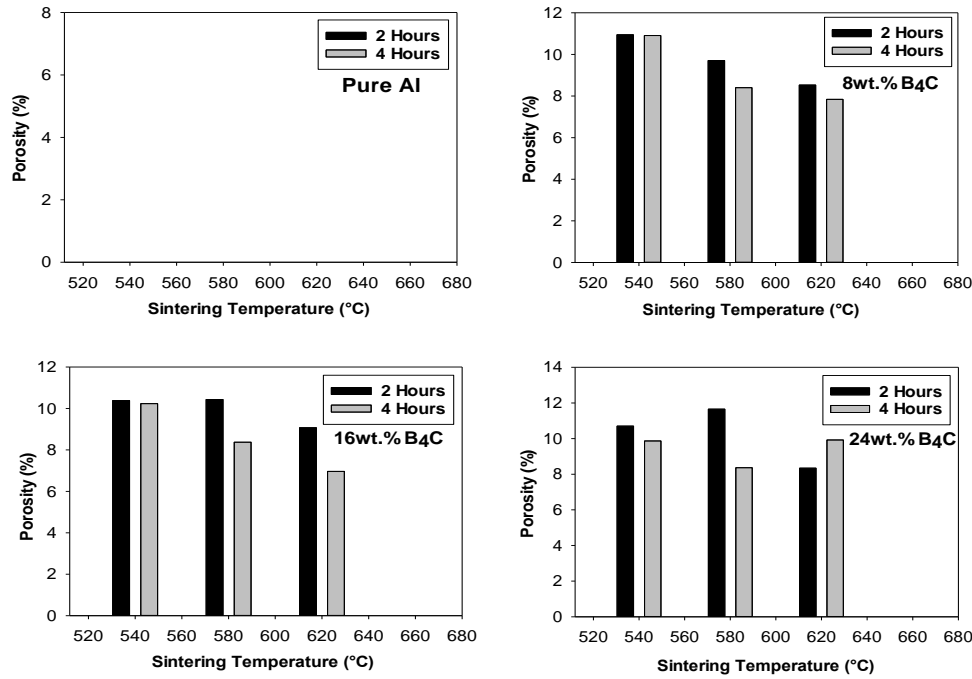


Figure 6. Variation of porosity depending on sintering temperature in SiC reinforced samples



**Figure 7.** Variation of porosity depending on sintering temperature in B<sub>4</sub>C reinforced samples

When the hardness results were evaluated for SiC reinforced samples, it was determined that there was an increase in the hardness of the samples with increasing SiC reinforcement rate, sintering temperature and sintering time (Figures 8 and 9). It can be said that this situation is due to the increase in the amount of SiC, which has a much higher hardness than the matrix material. Increasing hardness with increasing sintering temperature and time is thought to be due to the increase in diffusion and bonding between the grains thereby shrinking the pores and thus obtaining a structure closer to the theoretical density. In Figure 8, the variation of hardness depending on sintering temperature in SiC reinforced samples is given. It has been determined during literature studies that similar results have arisen in studies conducted by Kalaycıoğlu and Kevenlik (Kalaycıoğlu, 2010; Kevenlik, 2013).

When the hardness results of B<sub>4</sub>C reinforced samples were evaluated, it was seen that the hardness increased with sintering temperature and time, similar to SiC reinforced samples. However, it was determined that there was a decrease in the hardness of the samples at increasing B<sub>4</sub>C ratios, above 8 wt.% reinforcement rate (Figures 9 and 10). So much so that during sample preparation for microstructure studies, 24 wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples had ruptures from the surface during grinding. One of these samples is given in Figure 11. Even when these samples were compared with pure Al samples, there was no significant increase in their hardness, only 8 wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples sintered at 620°C for 2 and 4 hours had higher hardness values. It has been determined during literature studies that similar results have arisen in studies conducted by Kumdalı, Ay, Salman, and Zaki and Hussain (Kumdalı, 2008; Ay, 2014; Salman, 2017; Zaki and Hussain, 2020). This situation is thought to occur due to the decrease in compressibility of the powders as a result of the increase in the amount of B<sub>4</sub>C, whose hardness in the structure is higher than the matrix. It is thought that pressing does not take place effectively in these samples since the pressing pressure is insufficient for these samples, and this situation can be eliminated by increasing the pressure. In addition, B<sub>4</sub>C with refractory properties and low thermal conductivity is thought to make sintering difficult by reducing Al diffusion with its increase in structure, thereby reducing hardness by poor binding due to reduced wetting of B<sub>4</sub>C grains. It is also thought that the average size of the B<sub>4</sub>C grains being much smaller

than the average size of the SiC grains and the divergence from the average size of the Al matrix is also effective in this situation. Because, it is thought that the divergence of the matrix and reinforcement grain sizes prevents a good mixture, in such cases, B<sub>4</sub>C grains aggregate at the Al grain boundaries, thereby preventing binding and causing a weak structure. Hence, it is concluded that matrix and reinforcement grain sizes should be chosen close to each other.

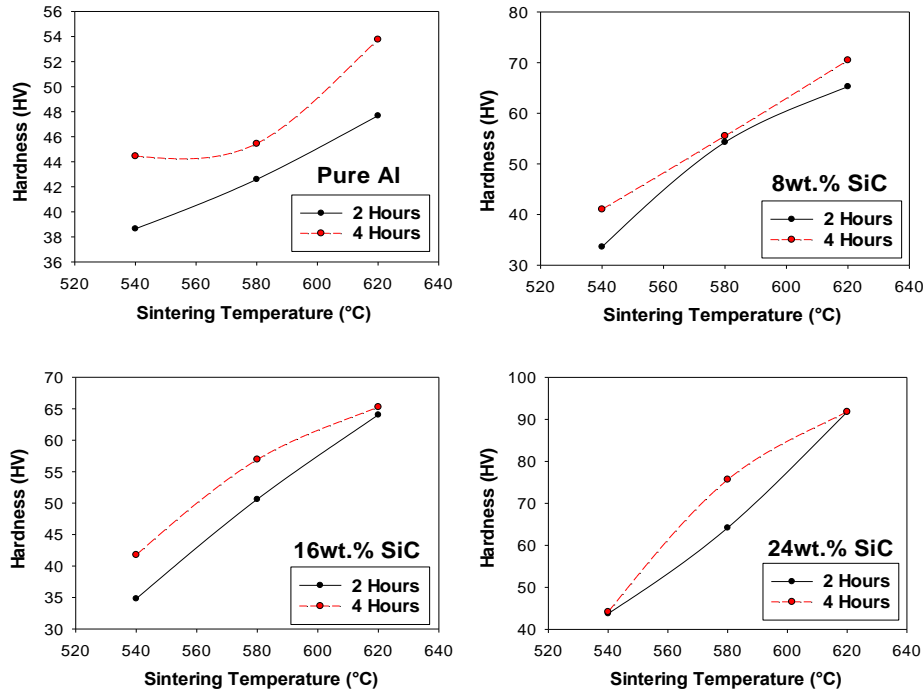


Figure 8. Variation of hardness depending on sintering temperature in SiC reinforced samples

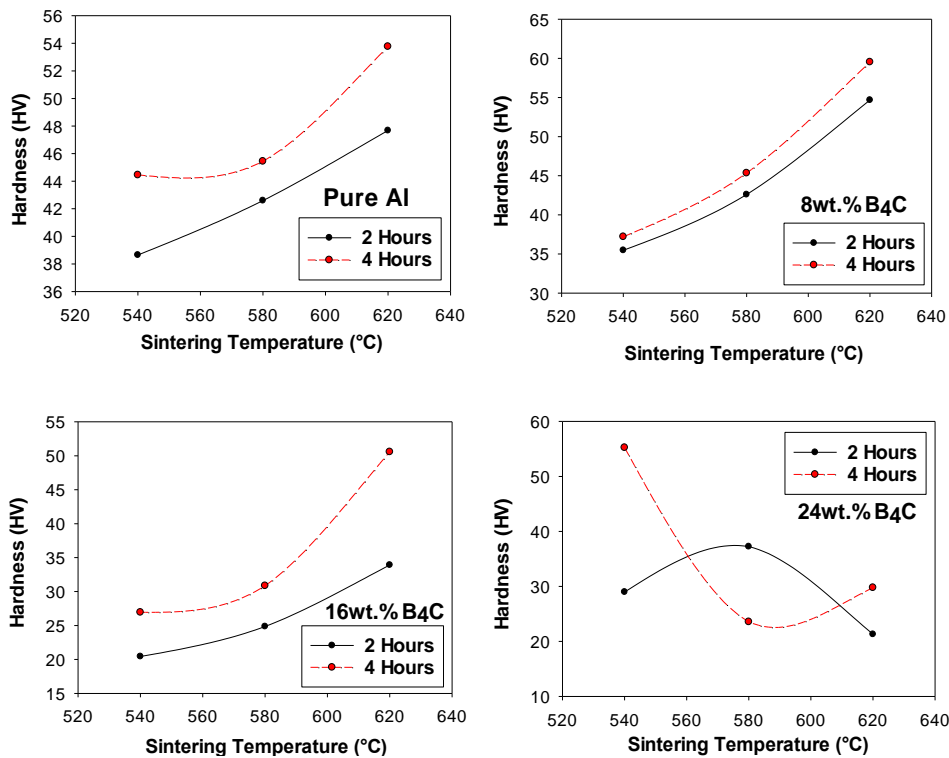
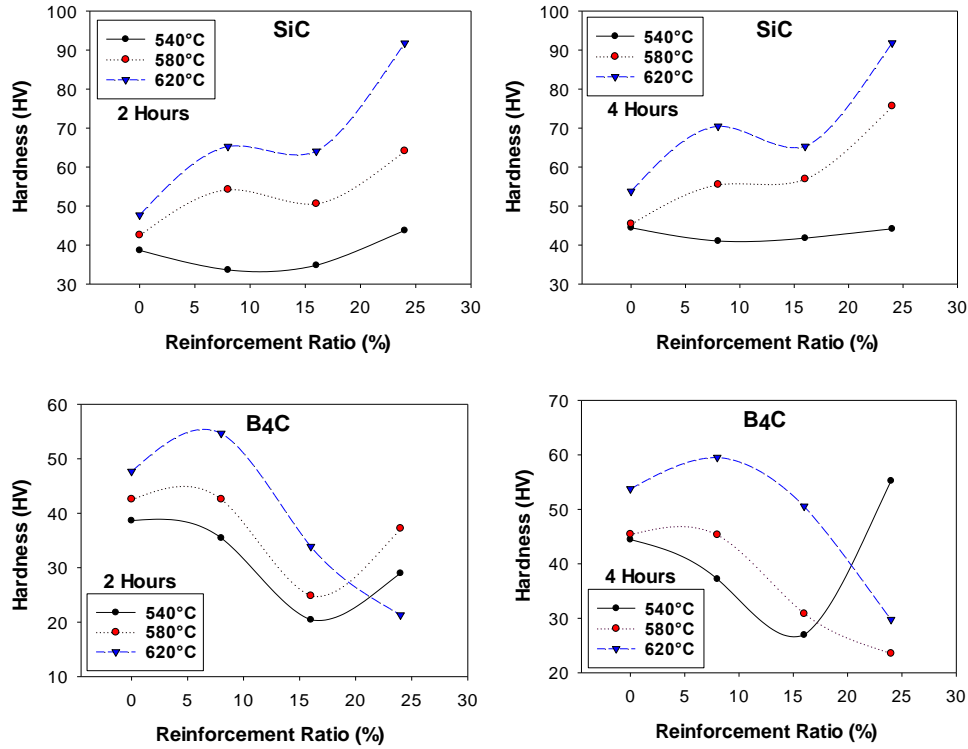


Figure 9. Variation of hardness depending on sintering temperature in B<sub>4</sub>C reinforced samples



**Figure 10.** Variation of hardness depending on the reinforcement ratio of SiC and B<sub>4</sub>C reinforced samples sintered for 2 and 4 hours



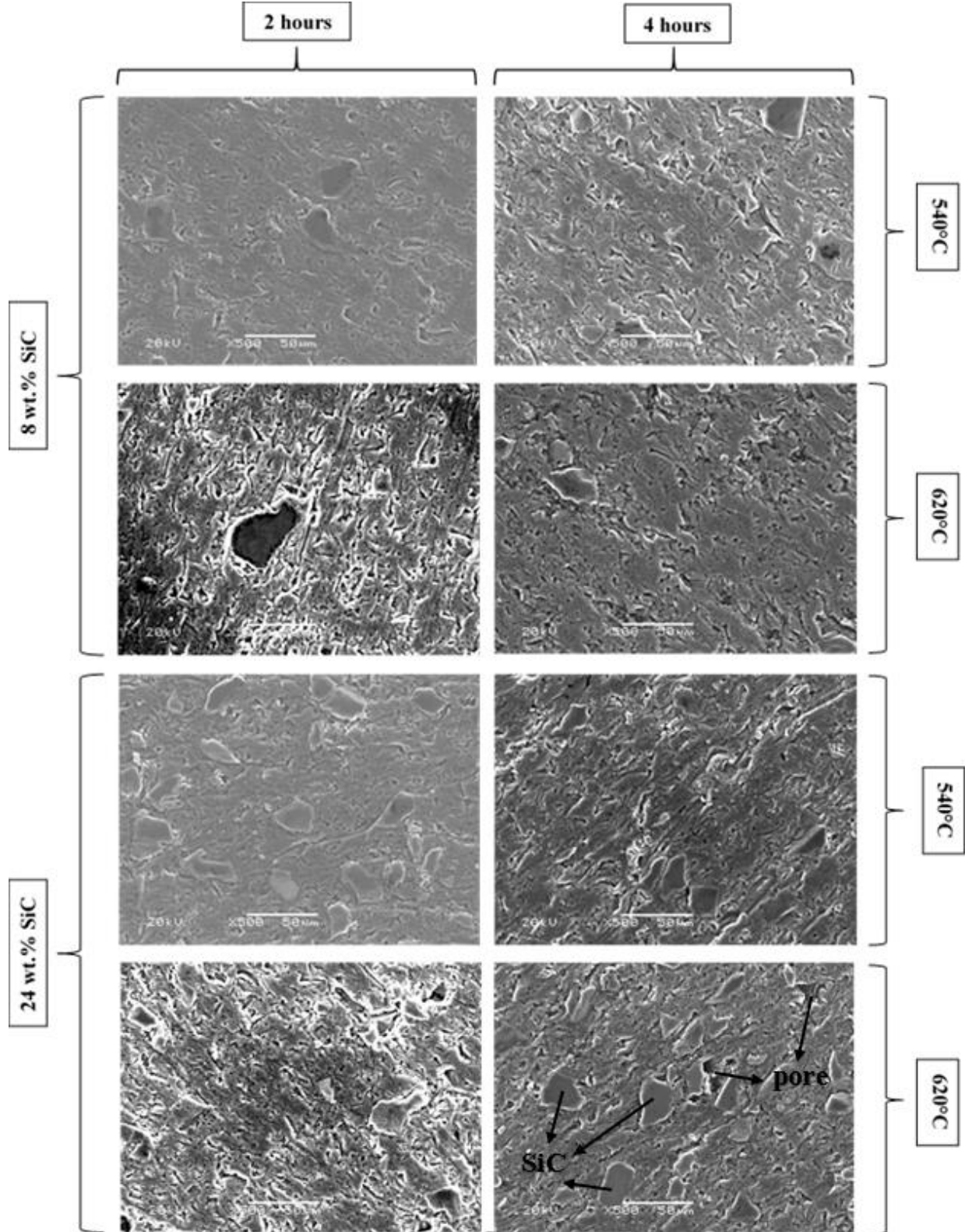
**Figure 11.** One of the 24 wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples where surface damages occur

As the optimum experimental parameters, 620°C and 4 hours were determined. The highest hardness and experimental density values and the lowest porosity were obtained at these parameters. The highest hardness value was determined as ~92 HV from the samples with 24wt.% SiC reinforcement produced with these parameters, and thus, a 70% increase was obtained compared to the ~54 HV, which is the highest value obtained from the unreinforced Al samples.

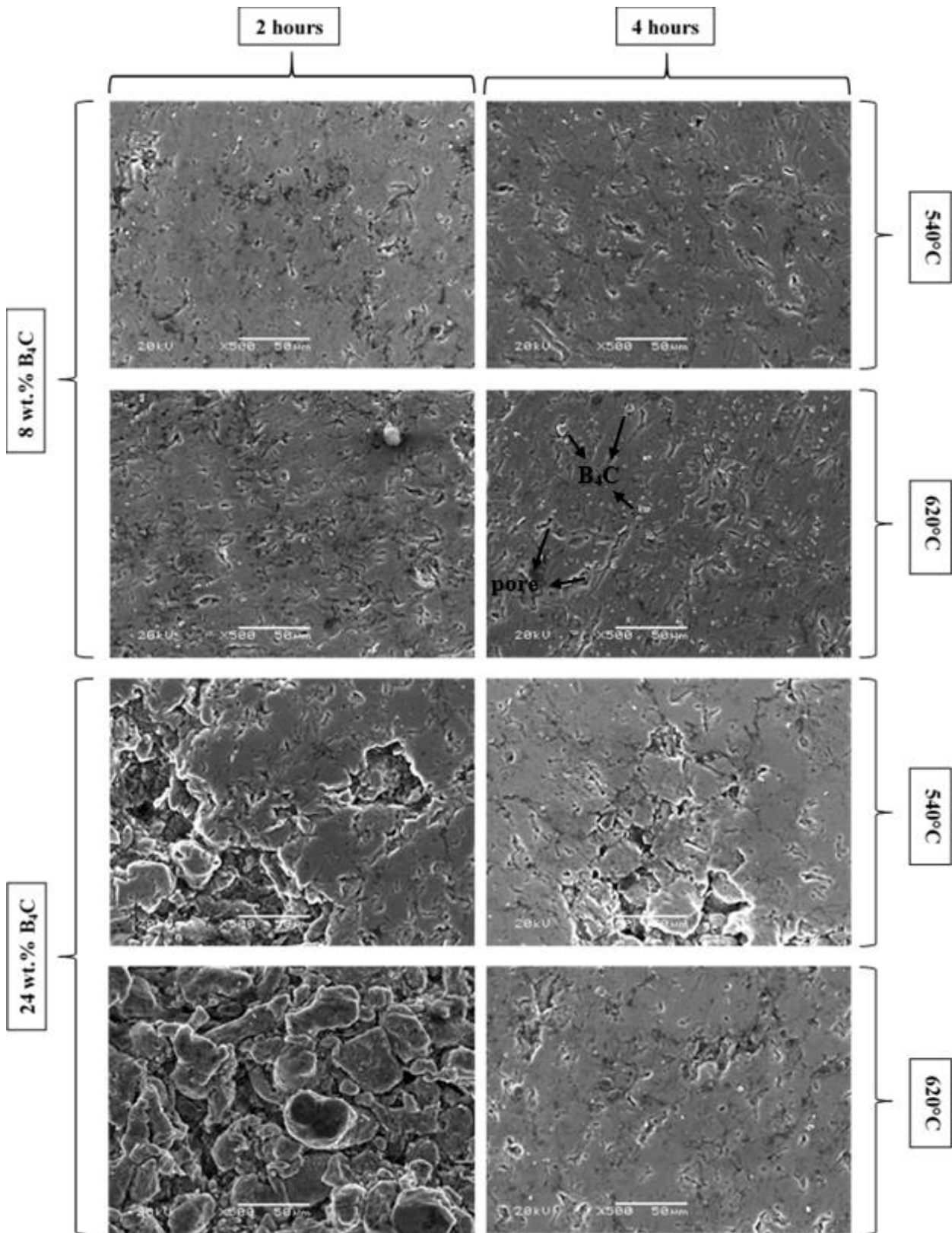
In order to carry out microstructure studies, microstructure images were taken with optical microscope and SEM from samples and EDX analyzes were carried out to verify their elementary composition (Figure 12-16). For comparison, only SEM images of those with the highest and lowest parameter values from samples produced in different parameters were given.

When the microstructure images were examined, it was seen that the mixing time was sufficient to obtain a homogeneous distribution in the structure. In other words, it has been seen that SiC and B<sub>4</sub>C reinforcing materials were homogeneously distributed in the structure. However, in samples

reinforced with 24 wt.% B<sub>4</sub>C, surface ruptures were detected during the sample preparation stage, as mentioned before in the hardness measurements. In the microstructure studies of these samples, this situation can be clearly seen due to the differences with the images of other samples. In addition, the increase of reinforcement particles and porosity in the structure with increasing reinforcement rates, can be noticed. Because, the pore formation in the structure generally occurred at the matrix grain boundaries and matrix-reinforce interfaces.



**Figure 12.** SEM photos of SiC reinforced samples produced with different production parameters at a magnification of x500



**Figure 13.** SEM photos of  $B_4C$  reinforced samples produced with different production parameters at a magnification of x500

When the EDX analysis was examined, it was seen from the analysis results of the pure Al sample given in Figure 14 that the structure consists of 100% Al and contains no impurity. Figure 15 shows the numbered regions where measurements were taken from a 24 wt.% SiC reinforced sample for EDX analysis. When the EDX analysis obtained from these regions is examined, it can be seen

that the results are as expected. In EDX analysis for B<sub>4</sub>C, healthy analyses could not be obtained due to both device inability and the problem on the surfaces. Although boron was selected as an element, it could not be seen by the device, because it was inadequate in determining sub-carbon elements. Still, the result of the analysis is presented in Figure 16, and as seen, the net results could not be obtained. So much so that the percentage of Al was read as 0.357%, although the screening was a general scan. Therefore, these results were not taken into account in terms of evaluation.

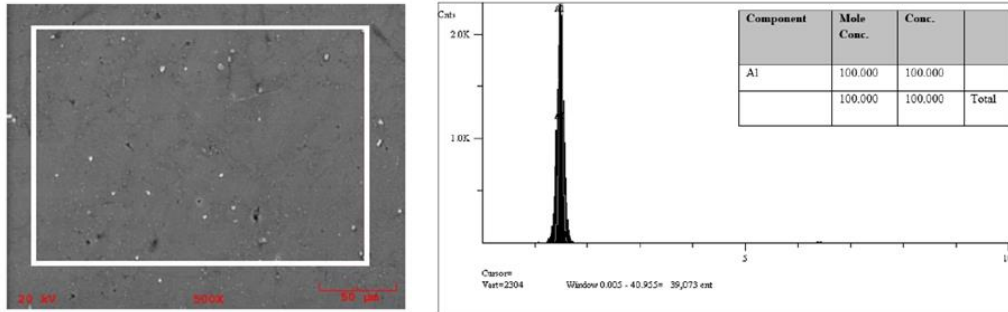


Figure 14. EDX analysis of pure Al sample sintered at 540°C for 2 hours

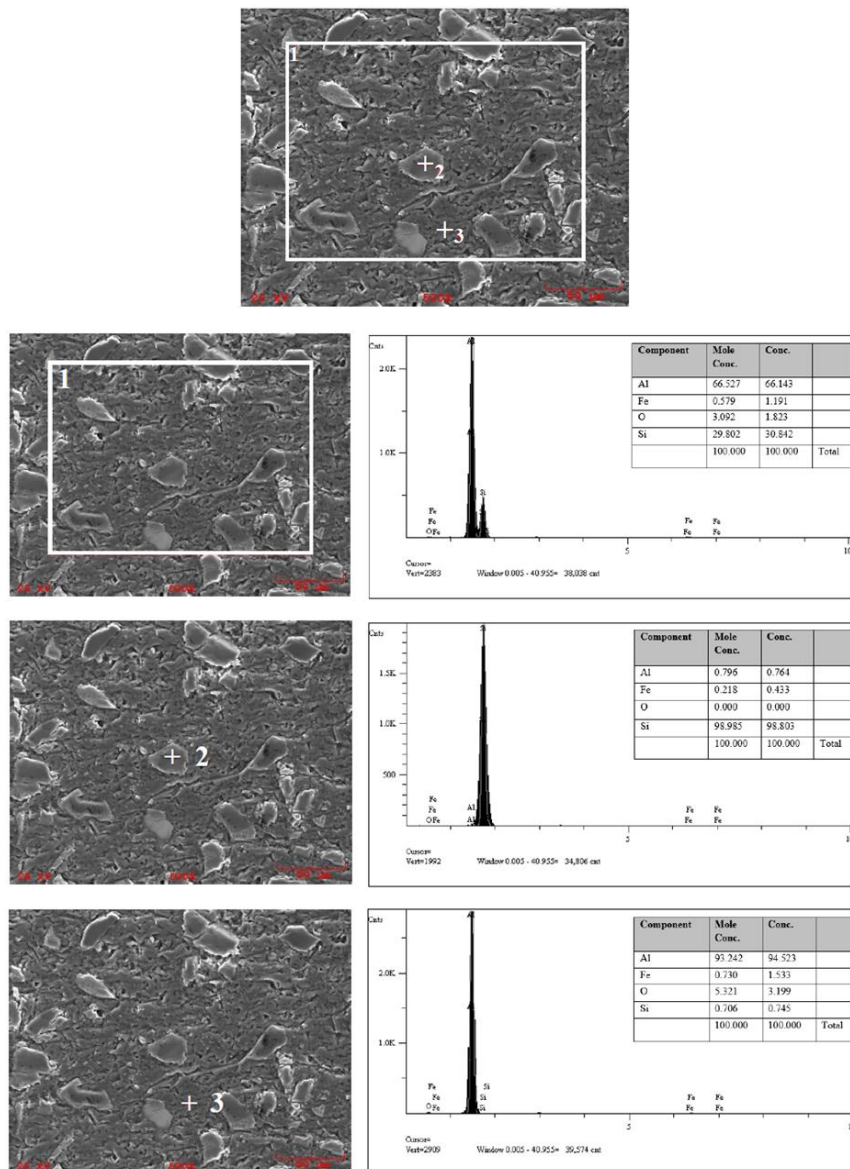


Figure 15. EDX analysis of 24 wt.% SiC reinforced samples sintered at 540°C for 2 hours



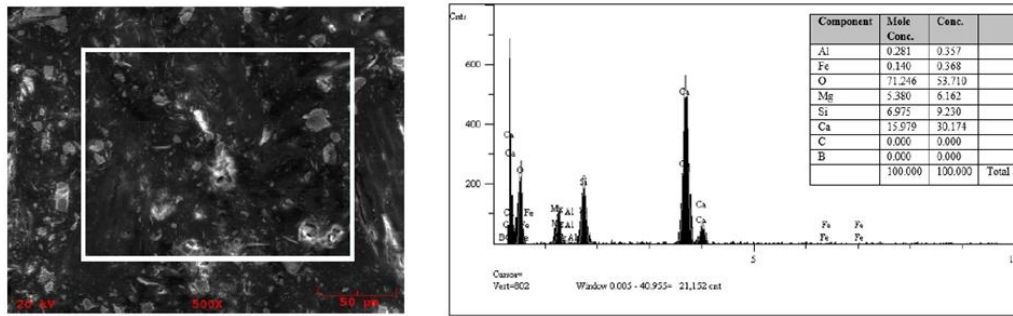


Figure 16. EDX analysis of 24 wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples sintered at 540°C for 2 hours

#### 4. CONCLUSION

In this study, microstructure and mechanical properties of composite samples produced in 3 different reinforcement ratios, 3 different sintering temperatures and 2 different sintering times were investigated. The results obtained by evaluating the effects of these different production parameters on these properties were interpreted as follows:

- With increasing sintering temperature and time, hardness and density increased and porosity decreased.
- Porosity in samples increased with increasing reinforcement rates.
- While the hardness values increased with increasing reinforcement rates for SiC reinforced samples, there was no effective hardness increase for the B<sub>4</sub>C reinforced samples with more than 8 wt.% reinforcement ratios. In fact, high reinforcement rates in these samples caused ruptures.
- It has been found that the difference between the matrix and reinforcement grain sizes causes the B<sub>4</sub>C grains, which are smaller than Al, to aggregate at the Al grain boundaries, thereby preventing wetting and thus resulting in a weak structure.
- It is concluded that a homogeneous distribution is obtained from microstructure examinations, the porosity increases with increasing reinforcement rates, and these pores mostly occur in matrix grain boundaries and matrix-reinforcement interfaces.
- As the optimum experimental parameters, 620°C and 4 hours were determined. The highest hardness values were obtained at these values, and it was detected as ~92 HV for 24wt.% SiC reinforced samples and ~60 HV for 8wt.% B<sub>4</sub>C reinforced samples. In other words, 70% higher hardness value was obtained in SiC samples and 11% higher in B<sub>4</sub>C samples compared to ~54 HV, which is the highest hardness value obtained in unreinforced Al samples.

To summarize, it was found that the perception that there will be an improvement in the mechanical properties of the materials produced with the increasing B<sub>4</sub>C ratio in the structure, which is frequently seen in the literature reviews, was not confirmed by our study. On the contrary, it was found that a negative effect occurred on the mechanical properties after a certain B<sub>4</sub>C ratio in the produced part. As a result, it has been observed that increasing reinforcement rates do not always lead to an improvement in the structure.

In light of the findings of the study and literature reviews, it has been interpreted that this situation is highly dependent on particle size, particle morphology, and reinforcement ratio. Accordingly, it has been interpreted that when optimization of properties such as particle size, particle

morphology, and reinforcement ratio is achieved, the properties that could be obtained with the addition of high rates of SiC might be obtained with the addition of B<sub>4</sub>C at lower rates. Thus, a new discussion has also been opened for further studies.

## 5. CONFLICT OF INTEREST

Authors approve that to the best of their knowledge, there is not any conflict of interest or common interest with an institution/organization or a person that may affect the review process of the paper.

## 6. AUTHOR CONTRIBUTION

Polen ŞANLI and Muammer GAVAS have the full responsibility of the paper about determining the concept of the research, data collection, data analysis and interpretation of the results, preparation of the manuscript and critical analysis of the intellectual content with the final approval.

## 7. REFERENCES

- Ay H., Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen AA7075 Alüminyum Alaşımına Ti ve B<sub>4</sub>C İlavesinin Aşınma Davranışı Üzerine Etkisinin İncelenmesi. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2014.
- Baradeswaran A., Elaya Perumal A., Influence of B<sub>4</sub>C on The Tribological and Mechanical Properties of Al 7075-B<sub>4</sub>C Composites. *Composites Part B: Engineering* 54, 146-152, 2013.
- Basavarajappa M. P., Parashivamurthy K. I., Synthesis and Tribological Characterization of In-situ Prepared Al-TiC Composites, *American Journal of Materials Science* 7(4), 108-111, 2017.
- Bhushan R. K., Effect of SiC Particle Size and Weight % on Mechanical Properties of AA7075 SiC Composite. *Advanced Composites and Hybrid Materials* 4, 74-85, 2021.
- Çelik, Y. H., Kilickap, E., Hardness and Wear Behaviours of Al Matrix Composites and Hybrid Composites Reinforced with B<sub>4</sub>C and SiC. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics* 57(9), 613-622, 2019.
- Çolak N. Y., Turhan H., Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretilen Al-Si/B<sub>4</sub>C Kompozit Malzemenin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi* 28(2), 259-266, 2016.
- Dangarikar, S. U., Dhokey, N. B., Study of Hot-Pressed Sintering of Premixed Al7075 Based B<sub>4</sub>C Reinforced Composites on Wear Mechanism Materials Today: Proceedings, 2020.
- Gökmeşe H., Taşçı U., Bostan B., AA 2014 Al Matrisli B<sub>4</sub>C Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mikro Yapı ve Aşınma Davranışının İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji* 1(4), 161-168, 2013.
- Hu B., Warzel III R., Ropar S., Neilan A., The Effect of Porosity on Machinability of PM Materials. *International Journal of Powder Metallurgy* 53(1), 27–36, 2017.
- Jeevan V., Rao C.S.P., Selvaraj N., Compaction, Sintering and Mechanical Properties of Al–SiCp Composites. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology* 3(3), 565-573, 2012.

- Kalaycıoğlu, A. S., SiC Tane Katkılı Alüminyum Kompozitlerin Toz Metalurjisi ile Üretimi ve Karakterizasyonu, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2010.
- Kalemtaş A., Metal Matrisli Kompozitlere Genel Bir Bakış. *Putech & Composites* 22, 18-30, 2014.
- Karakoç H., Ovalı İ., Dündar S., Çıtak R., Wear and Mechanical Properties of Al6061/SiC/B<sub>4</sub>C Hybrid Composites Produced with Powder Metallurgy. *Journal of Materials Research and Technology* 8(6), 5348-5361, 2019.
- Kevenlik, O. F., Toz Metalurjisi Yöntemi ile SiC Takviyeli Al 2014 Esaslı Kompozit Üretimi ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2013.
- Kumdalı F., Alüminyum Matrisli B<sub>4</sub>C Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemi ile Üretimi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2008.
- Lindroos V. K., Talvitie M. J., Recent Advances in Metal Matrix Composites. *Journal of Materials Processing Technology* 53(1-2), 273-284, 1995.
- Mohapatra S., Chaubey A. K., Mishra D. K., Singh S. K., Fabrication of Al-TiC Composites by Hot Consolidation Technique: Its Microstructure and Mechanical Properties. *Journal of Materials Research and Technology* 5(2), 117–122, 2016.
- Salman, K. D., Comparison the Physical and Mechanical Properties of Composite Materials (Al/SiC and Al/B<sub>4</sub>C) Produced by Powder Technology, *Journal of Engineering* 23(10), 85-96, 2017.
- Shaikh M. B. N., Arif S., Aziz T., Waseem A., Shaikh M. A. N., Ali M., Microstructural, Mechanical and Tribological Behavior of Powder Metallurgy Processed SiC and RHA Reinforced Al-Based Composites, *Surfaces and Interfaces* 15, 166-179, 2019.
- Surya, M. S., Effect of SiC Weight Percentage and Sintering Duration on Microstructural and Mechanical Behaviour of Al6061/SiC Composites Produced by Powder Metallurgy Technique. *Silicon*, 2021.
- Surya, M. S., Prasanthi, G., Manufacturing, Microstructural and Mechanical Characterization of Powder Metallurgy Processed Al7075/SiC Metal Matrix Composite. *Materials Today: Proceedings* 39, 1175-1179, 2021.
- Venkatesh B., Harish B., Mechanical Properties of Metal Matrix Composites (Al/SiCp) Particles Produced by Powder Metallurgy. *International Journal of Engineering Research and General Science* 3(1), 1277-84, 2015.
- Zaki, M. U., Hussain, S., Impact of Addition of Manganese and Boron Carbide on Aluminium Metal Matrix Composites Using Powder Metallurgy Process. *Materials Today: Proceedings*, 2020.

Araştırma Makalesi / Research Article

Spot Welding of AISI 1010 Steel Sheets Coated with WC by ESD Technique

Başar Ersegün ÇELİK<sup>1</sup>, Esin Tuğba ŞİMŞEK<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe University, Institute of Natural Sciences, Afyonkarahisar, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3015-2553>, basarerseguncelik@msn.com

<sup>2</sup> Cumhuriyet University, Institute of Natural Sciences, Sivas, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2063-7802>, esimsek@cumhuriyet.edu.tr

Geliş/ Received: 01.03.2021;

Kabul / Accepted: 09.05.2021

**ABSTRACT:** Surface coatings made with different methods change the surface properties of metallic and non-metallic materials and improve properties such as wear resistance. As a result of a hard surface coating, the surface is protected against wear, but problems may arise in arc and high-energy welded joints. Besides how the general properties of the coating layer change after the welding process, the mechanical properties of the welded joint are also important. In this study, tungsten carbide (WC) coating was carried out on AISI 1010 steel by ESD method at constant current using different frequencies and voltages and later two identical specimens were joined by spot welding at constant current and pressure. In order to reveal the welding zone, the samples were sliced into two, and then moulded and classical metallographic processes were applied. After metallographic processes, images were taken with an optical microscope and Electron microscopy to examine the microstructures formed in the weld zone. The results show that WC coated steel sheets cause localized alloying in the weld zone and therefore drastic changes in microstructures.

**Keywords:** AISI 1010 steel, Low carbon steel, Spot resistance welding, Electro-Spark Deposition (ESD), Tungsten Carbide (WC) Coating.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: esimsek@cumhuriyet.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çelik, B. E., Şimşek, E. T. (2021). Spot Welding of AISI 1010 Steel Sheets Coated with WC by ESD Technique. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 90-98.

## ESD Tekniği ile WC Kaplanmış AISI 1010 Çelik Sacların Nokta Kaynağı

**ÖZET:** Değişik yöntemlerle yapılan yüzey kaplamaları, metalik ve metalik olmayan malzemelerin yüzey özelliklerini değiştirmekte ve aşınma direnci gibi özellikleri iyileştirmektedir. Sert bir fazla yüzey kaplama sonucunda, yüzey aşınmaya karşı korunmakta ancak ark ve yüksek enerjili kaynaklı birleştirmede sorun çıkabilmektedir. Kaplama tabakasının genel özelliklerinin, kaynak işlemi sonrasında nasıl değiştiğinin yanında, kaynaklı birleştirmenin mekanik özellikleri de önemlidir. Bu çalışmada, sabit akım, farklı frekans ve voltajlarda AISI 1010 çeliği üzerine ESD yöntemi ile tungsten karbür (WC) kaplama işlemi yapılmış ve daha sonra iki aynı özellikteki numune, sabit akım ve baskı kuvvetinde nokta kaynağı ile birleştirilmiştir. Kaynak bölgesini ortaya çıkarmak için numuneler ikiye bölünmüştür, daha sonra kalıba alınarak ve klasik metalografik işlemler uygulanmıştır. Metalografik işlemler sonrasında kaynak bölgesinde oluşan içyapıları incelemek için optik mikroskop ve Elektron Mikroskopisi ile görüntüler alınmıştır. Sonuçlar, WC kaplı çelik sacların kaynak bölgesinde bölgesel alaşımlamaya sebep olduğunu ve bu nedenle mikro yapılarında ciddi değişiklikler olduğunu göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 1010, Düşük Karbonlu Çelik, Nokta direnç kaynağı, Elektro-Kıvılcım Biriktirme (ESD), Tungsten Karbür (WC) kaplama.

### 1. INTRODUCTION

In addition to mainly overcome the corrosion of metallic and non-metallic materials, surface coatings are widely used in almost every field of the industry to obtain various properties. ESD (Electro Spark Deposition) coatings have been applied to the steel in order to improve its existing mechanical properties or to gain some other properties, and have been subjected to some tests for general use (Kayalı and Talaş, 2019; Talaş et al., 2016). For this purpose, very hard alloys such as WC, CrC, medium hard alloys containing Co or different electrode materials containing soft metals such as Ag were selected for coating on steels and other alloys (Tang, 2009; Wang et al., 2009). Coatings made on stainless steel samples with these electrodes were subjected to severe wear and torsion tests, and significant improvements were made on the wear and torsion strength values of stainless-steel samples via ESD coating process (Jiao, 2018). TiC–TiB<sub>2</sub> composite coating was deposited by electrical discharge hardening onto the surface of 40Cr steel with a TiC–TiB<sub>2</sub> composite rod as electrode (Tang, 2016). TiB<sub>2</sub> / Ni coatings on the copper alloy electrode surface prepared by electrospark deposition were studied (Cheng et al., 2011). A titanium carbonitride (TiCN) coating was produced and compared to a tungsten carbide (WC) ESD coating (Miller et al., 2014). To improve the lifetime of electrodes used for the resistance spot welding of Zn-coated steel sheets, a TiB<sub>2</sub>–TiC composite coating was fused onto the surface of spot-welding electrodes using an electro-spark deposition (ESD) process (Luo et al., 2014). In order to increase the life of conventional copper electrodes in resistance spot welding of Zn-coated sheet steel, a multi-layer Ni/(TiCP/Ni)/Ni composite coating was deposited onto the copper electrode top surface by electro-spark deposition (Zou, 2009). To obtain toughened Fe<sub>2</sub>B coating and overcome various limitations of boriding, electro-spark deposition (ESD) was used to prepare nanocrystalline Fe<sub>2</sub>B coating (Wei et al., 2017). The tribological properties of the coatings obtained by electro-spark alloying of C45 steel surfaces were studied (Padgurskas et al., 2017).

Ultra-hard surfaces were obtained by coating TiB<sub>2</sub> with ESD on AISI 1020 and 1018 low carbon steel samples (Agarwal and Dahotre, 1998). The tip surfaces of the Cu–Cr–Zr electrodes were coated with Cr–Ni filler metal by using electro-spark deposition (ESD) coating method under 40, 80, and

120 V. Consequently, the effects of the coating on electrode characteristics and properties of the TRIP800 resistance spot weldment were investigated (Emre and Bozkurt, 2020). In coatings deposited on HSS tool steels, the life of tool steels is increased by 2000% (Reynolds et al., 2003). A coating with a hardness of 1542 HV was obtained on AISI 304 stainless steel by using ESD and a ceramic layer such as  $\text{Cr}_7\text{C}_3$  or Fe based amorphous alloy (Fe, Cr, Mo, Cd, C, B) electrode (Frangini et al., 2002; Wang et al. 1997). WC-based (Co, Mo, Ta etc.) hard alloys were coated with ESD technique on low carbon steel and pure titanium substrates to form an abrasion resistant coating which improved service life for 4.3 and 1.4 times on steel and pure titanium, respectively (Chen and Zhou, 2006).

In the ESD coating process, a crack-free, uniform and metallurgically bonded deposited layer was obtained by with and without additional layer such as pure Ni electrode, in order to add new features to, which is widely used in the industry besides steel (Liu et al., 2000). In recent years, studies have been carried out on the equipment and process used to increase the efficiency during the process, apart from the method of using different electrode pairs to maximize the new properties obtained in coatings made by the ESD process (Liu et al., 2005). The spot welding of coated surfaces are complicated process in which the reaction between Zn or coating materials and spot weld electrodes are the main concern. This, in turn, affects the weld performance and metallurgical characteristics (Emre and Kaçar, 2016; Müftüoğlu and Keskinel, 2007). For steel, there is vast amount of study involving the performance of resistance spot weld electrode tips and metallurgical reactions between the coated electrodes and welded sample (Emre and Kaçar, 2016; Müftüoğlu and Keskinel, 2007; Tumuluru, 2007; Gedeon and Eagar, 1986), however, there is very limited data available for the spot welding of WC coated steel sheets.

In this study, AISI 1010 steel was ESD coated and spot welded following the coating with WC. The spot weld zone was sliced and metallographically characterized using optical microscopy.

## 2. MATERIALS AND METHODS

AISI 1010 steel is ESD coated at different frequencies and voltages, and then welded with resistance spot welding. The metallographic processes have been applied by slicing the specimens into two from the weld zone. The composition of the iron-based material, AISI 1010, which is coated using electro-sparking deposition with WC electrode, is shown in Table 1. The voltage and frequencies used during the coating are 383 Hz (f3), 950 Hz (f6) and 1374 Hz (f9) and voltages are 48V (v3) and 78V (v6). WC electrode is of the 99% purity and commercially available. Table 2 shows frequencies and voltages used in this study.

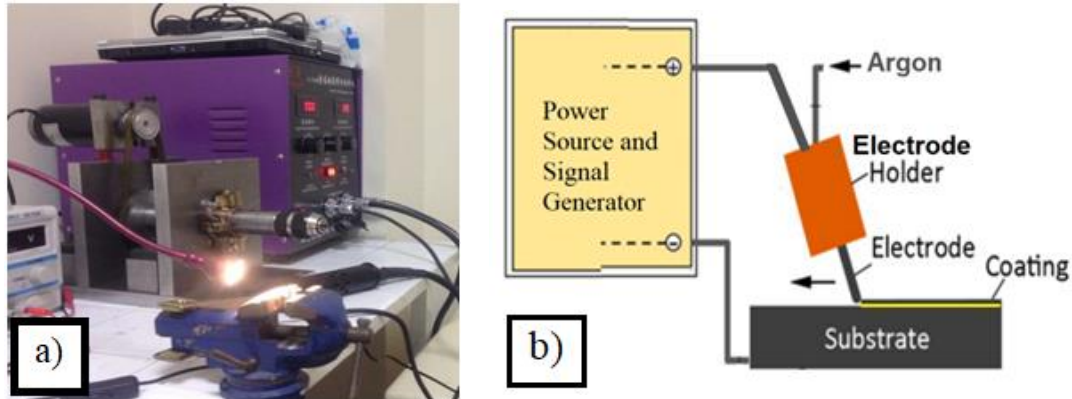
**Table 1.** Nominal composition of AISI 1010 steel and WC electrode material used in ESD coating (wt%)

Material	C	Mn	Si	Fe	Co	W
Steel	0.08-0.11	0.78	0.032	Bal.	-	-
WC	8.7	-	-	-	2.4	88.7

**Table 2.** The voltage and frequencies used during the coating

Experiment Parameters	F3V3	F3V6	F6V3	F6V6	F9V3	F9V6
Frequencies	383 Hz	383 Hz	950 Hz	950 Hz	1374 Hz	1374 Hz
Voltages	48V	78V	48V	78V	48V	78V

For coating, the SZ-3000 branded ESD coating machine is used, which has a power of 3KW, can produce a voltage in the range of 20-140V and whose coating frequency can be adjusted in the range of 100-1800 Hz. During the coating process, argon was used as the protective gas and the coating time was selected as 90s. The image of the test setup and coating machine prepared to ensure the rotation of the base material for the coating process and the passage of the current are shown in Figure 1.



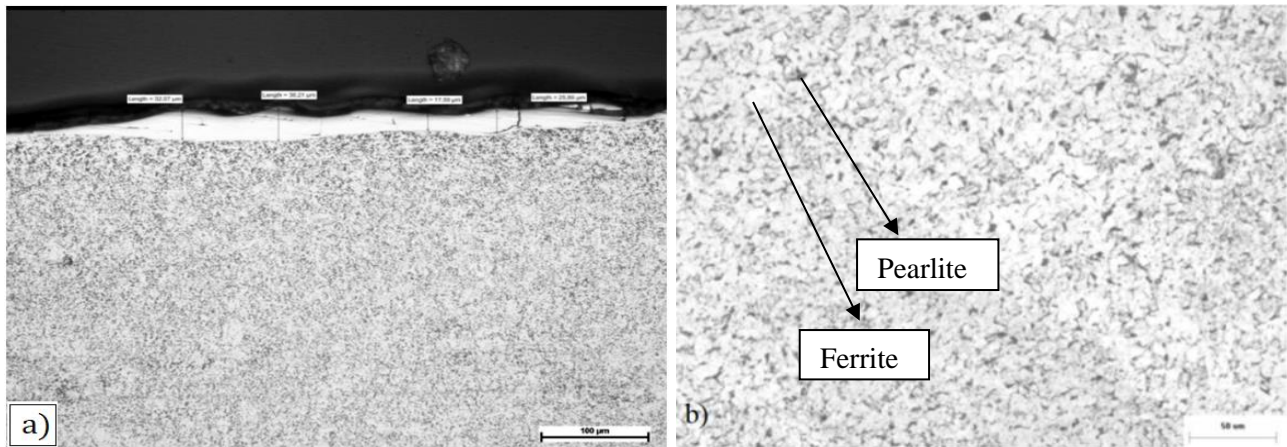
**Figure 1.** a) Electro-Spark Deposition (ESD) setup and b) principle of ESD coating

Specimens of 100 mm long, 2 cm wide and 0.75 mm thick, made of AISI 1010 quality steel, were spot welded using approximately 80A with an electrode compression force of 270 kN using an AC spot welding machine. For microstructure analysis, 1.5 mm thick samples were cut from the coated and spot-welded surfaces with precision cutting from the middle of the coating. Since the dimensions of the cutting result are small, it is taken into the cold moulding process in order to provide better holding in the sanding process. The cold moulding process is mostly created by mixing the hardener and the resin material together, and the mixture is hardened in the mould after a certain period of time. Grinding (up to 1200G) and polishing (Alumina solution - 1 micrometer) processes were carried out with the Metkon brand Gripon 2V model grinding equipment at an average speed of 250 rev/min. The microstructure images of the samples were taken and interpreted by electron microscopy. V3 corresponds to 48V and V6 corresponds to 78V. 5% HNO<sub>3</sub> acid with Ethanol mixture was used for etching. The resistance spot welding was done using copper electrodes and ATIKER OW-SPT-015K machine was used for the study.

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

The images taken with the optical microscope of the samples where coating, welding respectively, are given in Figure 2. When the general properties of the samples with ESD coating are considered, pearlitic and ferritic structures were formed around the weld zone. Hard phase formation is not observed at the junction of the spot weld. There are structures similar to carbide formation in the weld zone, i.e. dark and angular shaped. In addition to fine bainitic structures, intermediate martensitic phase formation has also occurred in the weld zone, especially in HAZ.

The microstructure in as received condition is in the structure of ferrite + pearlite and it is known that the dark coloured area is pearlite and the light-coloured structures are ferritic. On the other hand, grain sizes are generally homogeneously distributed, and microstructural changes occurring due to hot rolling are observed in the microstructure.



**Figure 2.** a) Thickness measurements of WC coating layer on the surface coated with ESD (Scale bar is 100 micron) and, b) microstructure of the 1010 steel in as received condition (Scale bar is 50 micron)

Table 3 shows the nugget diameters of spot welds and the length of HAZs along one side of the spot welds. As a result of the thickness measurements taken from the weld area and other parts of the spot welds of WC coated sheet metal, it can be said that the greatest spot weld size was observed with uncoated spot welds. The width of HAZ does not show a regular change with respect to change in frequency and voltage but weld zone width varies with respect to increasing frequency of the ESD source. Table 4 shows that hardness variations also follow the changes as in Table 3, too. The hardness variation with respect to change in voltage is not regular and irrespective of frequency. However, the hardness of HAZ drops as the frequency increases and it is interesting that as the voltage increases the hardness decreases slightly; it may be the effect from the high heat input with high voltage input, resulting in slower cooling rate and hence softer microstructures form or tempering effect reveals itself.

**Table 3.** The nugget diameters in mm with respect to frequency and coating voltage

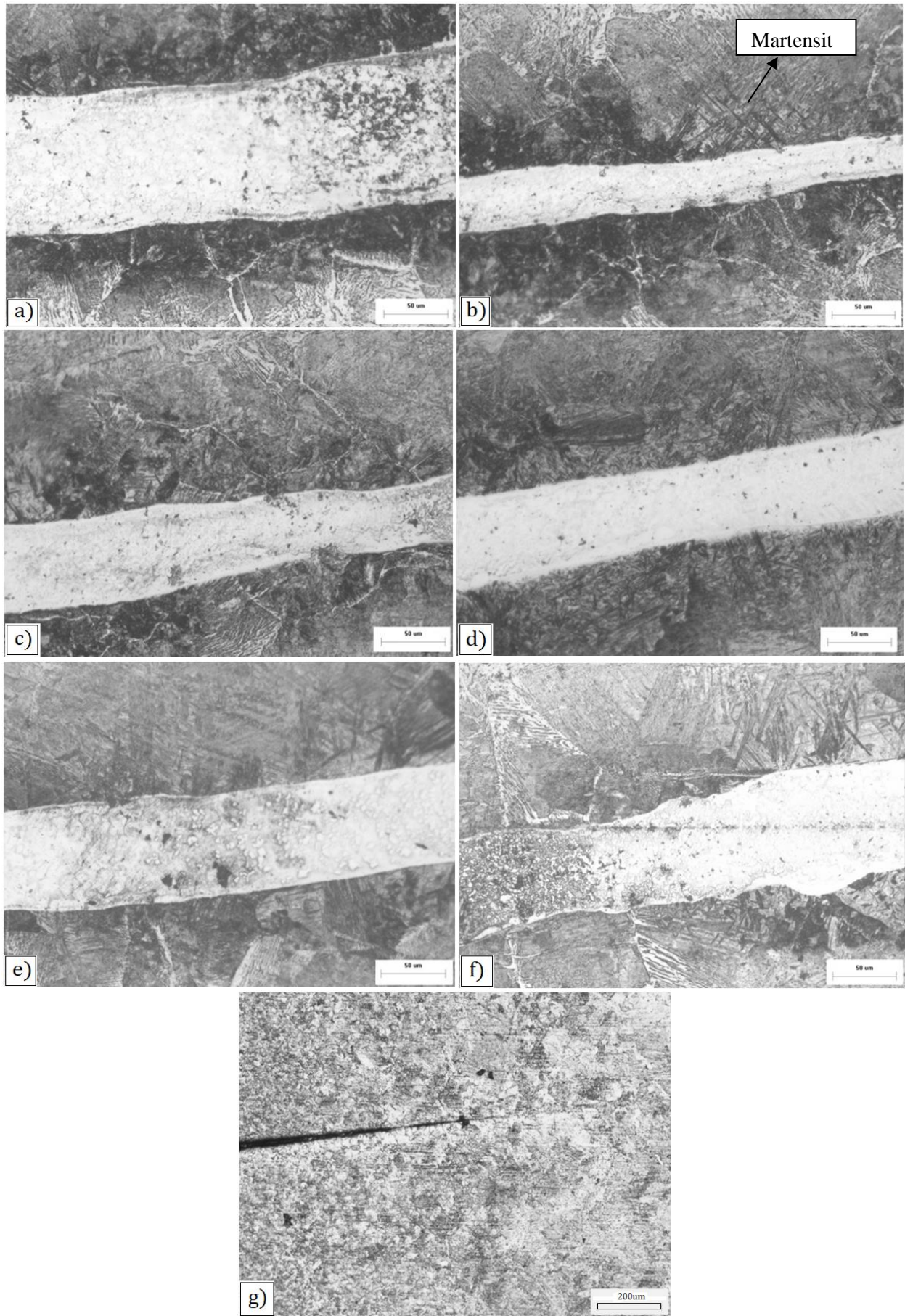
WC	Uncoated	F3V3	F3V6	F6V3	F6V6	F9V3	F9V6
<b>Weld Zone</b>	3,44	3,27	3,07	3,12	3,04	3,06	2,99
<b>HAZ</b>	2,97	2,94	2,84	2,95	2,98	2,80	2,77

**Table 4.** The weld nugget and HAZ hardness values in HV with respect to frequency and coating voltage

WC	Uncoated	F3V3	F3V6	F6V3	F6V6	F9V3	F9V6
<b>Weld Zone</b>	233.3	407.3	437.2	412.8	504.8	426.7	399.6
<b>HAZ</b>	211.2	356.3	303.4	332.3	312.4	292.6	287.6

Figure 3 shows the microstructures from the specimens that were coated WC by ESD technique. In other zones, no clear findings in microstructure were observed. When the microstructures of spot weld zones are examined, in general, it can be seen that the most of the spot welds show a complete and sound joint. Except for the f9v6 sample, the weld zone in other specimens appears to remain the same.





**Figure 3.** Microstructural images of spot welds made in uncoated condition and at different frequency and voltage values; a) f3v3, b) f3v6, c) f6v3, d) f6v6, e) f9v3, f) f9v6 and, g) Uncoated

It is important that uncoated spot welds are regular and the regions close to spot welds are darker in colour. It can be seen that ferritic and pearlitic structures are formed around the weld zones of the samples. The weld joint is rarely oxidized but the indication of finer structures in the welding area is clearly observed. Apart from the fine bainitic structures, the formation of martensitic phases is also seen in dark patches. Martensite formation, during which experiences a volumetric growth, creates very high local stresses and this causes the matrix structure of the steels to distort excessively and the deformation of the lattice structure leads to increased hardness following the fast-cooling process (Müftüoğlu and Keskinel, 2007). Si in steels is one of the important elements for general matrix hardness, and at the same time, when C is present, secondary phases for example by forming carbides of Fe and Cr, provide wear resistance but overhardened matrix may lead the formation of cracks due to over-alloying by W and WC dissociation (Tumuluru, 2007). This is highlighted by the formation of martensite near the weld zone and heat affected zone as seen in Figure 3.

#### **4. CONCLUSION**

In this study, the microstructures of AISI 1010 steel whose surfaces were coated with WC by using electro spark coating method, were investigated after metallographic examination.

- Measurements from the welding zone of steel which is coated with WC, showed that the thickness of the weld zone decreases at constant voltage with increasing frequency.
- It can be concluded that the increase in coating frequency improves the weldability of the WC coated AISI 1010 steel.
- As a general conclusion in the microstructure analysis taken from the weld zone, it can be seen that the pearlitic and bainitic structures are present in the weld zone. Due to the rapid cooling of the samples, their martensitic structures are observed occasionally.

#### **5. CONFLICT OF INTEREST**

Authors approve that to the best of their knowledge, there is not any conflict of interest or common interest with an institution/organization or a person that may affect the review process of the paper.

#### **6. AUTHOR CONTRIBUTION**

Başar Ersegün ÇELİK and Esin Tuğba ŞİMŞEK have the full responsibility of the paper about determining the concept of the research, data collection, data analysis and interpretation of the results, preparation of the manuscript and critical analysis of the intellectual content with the final approval.

#### **7. REFERENCES**

- Agarwal, A., Dahotre, N.B., Pulse Electrode Deposition of Super hard Boride Coatings on Ferrous Alloy. *Surface and Coatings Technology* 106(2-3), 242-250, 1998.
- Chen, Z., Zhou, Y. H., Surface modification of resistance welding electrode by electro-spark deposited composite coatings: Part I. Coating characterization. *Surface and Coatings Technology* 201(3-4), 1503-1510, 2006.

- Cheng, L., Xiang, X., Shi-jie, D., TiB<sub>2</sub>/Ni coatings on surface of copper alloy electrode prepared by electrospark deposition. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China* 21(2), 317-321, 2011.
- Emre, H. E., Kaçar, R., Resistance spot weldability of galvanize coated and uncoated trip steels. *Metals* 6(12), 299, 2016.
- Emre, H.E., Bozkurt, B., Effect of Cr-Ni coated Cu-Cr-Zr electrodes on the mechanical properties and failure modes of TRIP800 spot weldments. *Engineering Failure Analysis* 110, 104439, 2020.
- Frangini, A., Masci, S., Di Bartolomeo, A., Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub>-based cermet coating deposited on stainless steel by electrospark process: structural characteristics and corrosion behavior. *Surface and Coating Technology* 149(2-3), 279-286, 2002.
- Gedeon, S. A., Eagar, T. W., Resistance spot welding of galvanized steel: Part I. Material Variations and Process Modifications. *Metallurgical and Materials Transactions B* 17, 879-885, 1986.
- Jiao, Z., Peterkin, S., Felix, L., Liang, R., Oliveira, J. P., Schell, N., Zhou, Y., Surface Modification of 304 Stainless Steel by Electro-Spark Deposition. *Journal of Materials Engineering and Performance* 27, 4799-4809, 2018.
- Kayalı, Y., Talaş, Ş., Investigation of Wear and Corrosion Behaviour of AISI 316 L Stainless Steel Coated by ESD Surface Modification. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces* 55(6), 1148-1153, 2019.
- Kou, S., *Welding Metallurgy*, Wiley, Second Edition, 2002.
- Li, Z.W., Gao, W., Kwok, P., Li, S., He, Y., Electro-spark deposition coatings for high temperature oxidation resistance. *High Temperature Materials and Processes* 19(6), 443-458, 2000.
- Liu, J., Wang, R., Qian, Y., Formation of a single-pulse electrospark deposition spot. *Surface and Coatings Technology* 200(7), 2433-2437, 2005.
- Luo, P., Dong, S., Xie, Z., Yangli, A., Yang, W., The effects of coating parameters on the quality of TiB<sub>2</sub>-TiC composite phase coating on the surface of Cu-Cr-Zr alloy electrode. *Surface and Coatings Technology* 253, 132-138, 2014.
- Miller, T., Pirolli, L., Deng, F., Ni, C., Teplyakov, A. V., Structurally different interfaces between electrospark-deposited titanium carbonitride and tungsten carbide films on steel. *Surface and Coatings Technology* 258, 814-821, 2014.
- Müftüoğlu, F., Keskinel, T., Effect of Coating Thickness on Electrode Life in the Spot Welding of Galvanized Steels. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 31(3), 183-187, 2007.
- Padgurskas, J., Kreivaitis, R., Rukuiža, R., Mihailov, V., Agafii, V., Kriūkienė, R., Baltušnikas, A., Tribological properties of coatings obtained by electro-spark alloying C45 steel surfaces. *Surface and Coatings Technology* 311, 90-97, 2017.
- Reynolds, J.L., Holdren, R.L. and Brown, L.E., Electro-Spark Deposition. *Advanced Materials and Processes* 161(3), 35-37, 2003.
- Talaş, Ş., Mertgenç, E., Gökçe, B., ESD coating of copper with TiC and TiB<sub>2</sub> based ceramic matrix composites. *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering* 146, 012005, 2016.
- Tang, J., Mechanical and tribological properties of the TiC–TiB<sub>2</sub> composite coating deposited on 40Cr-steel by electro spark deposition. *Applied Surface Science* 365, 202-208, 2016.
- Tang, S. K., The process fundamentals and parameters of electro-spark deposition, University of Waterloo, Master Thesis (Printed), 2009.

- Tumuluru, M., The Effect of Coatings on the Resistance Spot Welding Behavior of 780 MPa Dual-Phase Steel. *Welding Journal* 86, 161-169, 2007.
- Wang, J. S., Meng, H. M., Yu, H. Y., Fan, Z. S., Sun, D. B., Characterization and wear behavior of WC-0.8 Co coating on cast steel rolls by electro-spark deposition. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 16(6), 707-713, 2009.
- Wang, P. Z., Pan, G. S., Zhou, Y., Qu, J. X., Shao, H. S., Accelerated electrospark deposition and the wear behavior of coatings. *Journal of Materials Engineering and Performance* 6(6), 780-784, 1997.
- Wei, X., Chen, Z., Zhong, J., Wang, L., Hou, Z., Zhang, Y., Tan, F., Facile preparation of nanocrystalline Fe<sub>2</sub>B coating by direct electrospark deposition of coarse-grained Fe<sub>2</sub>B electrode material. *Journal of Alloys and Compounds* 717, 31-40, 2017.
- Zou, J., Zhao, Q., Chen, Z., Surface modified long-life electrode for resistance spot welding of Zn-coated steel. *Journal of Materials Processing Technology* 209, 4141-4146, 2009.

---

Araştırma Makalesi / Research Article

---

**Estimate of The Flow Stress and Damage Model Parameter Coefficients from Tensile Test  
with The Help of a Code**

Ahmet ÇETKİN<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe University, Technology Faculty, Afyonkarahisar, Turkey,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4592-5632>, acetkin@aku.edu.tr

**Geliş/ Received:** 25.03.2021;

**Kabul / Accepted:** 31.05.2021

**ABSTRACT:** Metal forming, machining, crashing, etc. in simulations, not only the boundary conditions are given perfectly, but also another important input is the properties of the material used. Defining these properties correctly increases the confidence in using the results of the simulation in practice. One of the most well-known parametric models representing the stress-strain relationship at different temperatures and strain rates in simulation programs is the Johnson-Cook flow stress model and ductile damage model. However, the process of obtaining JC parameters for the material is quite long and tiring. Combined evaluation of multiple tests and simulation results, curve fitting, regression and optimization procedures necessitate an organized mathematical operation process. With the program written, it was tried to get both fast and accurate parameter results by using different mathematical solution methods. Parameter constants are obtained automatically by entering different test types, test device result format and simulation report format entries in a hierarchical order using the written program. The user can visually check the tests and results with on the same graphics and intervene in the detection of critical points of the tests when necessary. By using different curve fitting algorithms, finding the most suitable parameters is provided.

**Keywords:** Flow stress model, Ductile damage model, Curve fitting, Optimization, JC parameters.

---

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: acetkin@aku.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çetkin, A. (2021). Estimate of the Flow Stress and Damage Model Parameter Coefficients from Tensile Test with The Help of a Code. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 99-111.

## Kod Yardımı ile Çekme Testinden Akış Gerilmesi ve Hasar Modeli Parametre Katsayılarının Tahmini

**ÖZET:** Sadece sınır şartlarının kusursuz verilmesi değil, metal şekillendirme, imalat, çarpışma vb. simülasyonlarda en önemli diğer bir girdi de kullanılan malzemeye ait özellikleridir. Bu özelliklerinin doğru tanımlanması, simülasyonun sonuçlarının uygulamada kullanımına olan güveni artırır. Simülasyon programlarında farklı sıcaklıklarda ve şekil değiştirme hızlarında stress-strain ilişkisini temsil eden parametrik modellerin en çok tanınmışlarından biri Johnson-Cook gerilme akışı ve sünek hasar modelidir. Ancak malzemeye ait JC parametrelerinin elde edilmesi süreci oldukça uzun ve yorucudur. Çok sayıda testin ve simülasyon sonuçlarının beraber değerlendirilmesi, eğri uydurma, regresyon ve optimizasyon prosedürleri, organize bir matematiksel işlem uygulama sürecini zorunlu kılar. Yaptığımız program ile farklı yapıdaki testler, test cihazı sonuç ve simülasyon rapor format girdileri, hiyerarşiye uygun bir düzende girilerek, parametre katsayıları otomatik elde edilmektedir. Kullanıcı testlere ve sonuçlara ait ortak grafiklerle görsel olarak kontrol edebilmekte, gerekli durumlarda testlere ait kritik noktaların bulunmasına müdahale edebilmektedir. Farklı eğri uydurma algoritmaları kullanılarak en uygun parametrelerin bulunması sağlanmaktadır.

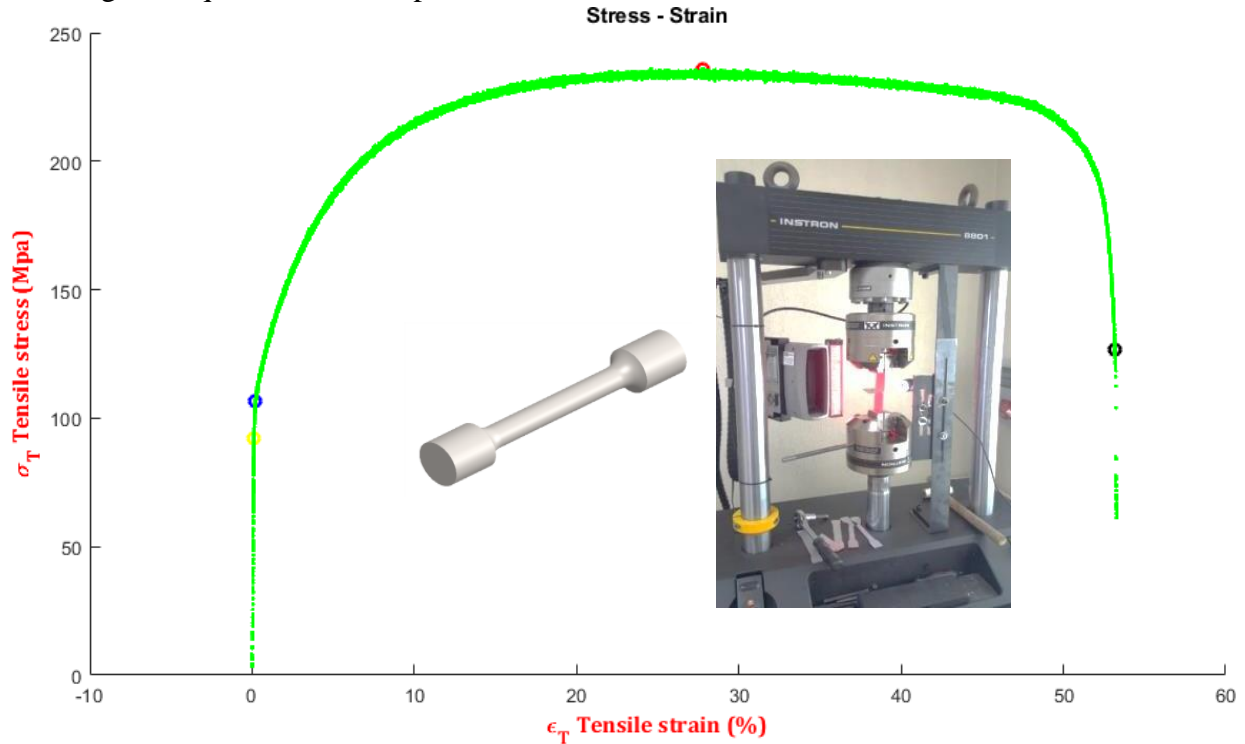
**Anahtar Kelimeler:** Akma gerilmesi modeli, Sünek hasar modeli, Eğri uydurma, Optimizasyon, JC parametreleri.

### 1. INTRODUCTION

Various tests are applied to metallic materials, material producers who have to share information about the material and, of course, in order to have information about whether the selected material is sufficient for the application. In fact, the tensile test, in which we reach the most basic information of materials from the stress-strain curves, is the most basic mechanical test, although we sometimes need much more different tests. In tensile tests, when the specimen fixed to two jaws is pulled at a constant speed, sometimes the displacement between the jaws and sometimes the relative movement of the two points on the specimen is determined optically and the extension are combined with the load-cell to which a jaw is attached to the load-extension curve. However, the curve for which we have found more important information is the stress-strain curve proposed by Thomas Young and drawn using the information taken from the load-extension graph (Figure 1). A single test or a single curve alone cannot be sufficient to respond to all the conditions the selected material will encounter in practice. Hundreds of curves may need to be drawn to give information about the changing material behavior at different strain rates and different ambient temperatures. Flow stress and damage models have been defined, since they can simply show the material behavior for each case instead of giving many curves. These models express the situation that the user will encounter in practice in a simple form.

Different models are used to define the behavior of the material to be used in simulation programs and the damage condition in the elastic-plastic region. For example, Cowper Symonds, Steinberg Guinan, Johnson-Cook etc. models are frequently used in finite element analysis programs (Immanuel and Panigrahi, 2018; Korkmaz et al., 2020; Shokry, 2019; Wang and Liu, 2015). One of the most well-known models is the Johnson-Cook model. There have been many studies aiming at obtaining especially Johnson-Cook parameters constants and using these parameters (Korkmaz et al., 2020; Akbari et al., 2016; Chen et al., 2019; Lalwani et al., 2009; Gupta et al., 2014; Shrot and Bäker, 2012; Banerjee et al., 2015). The accuracy of the simulation results of any manufacturing process

also depends on the accuracy of these models used. It is also very important to give the material behavior in accordance with the program used. In the comparison studies of the Johnson-Cook model whose parameter constants we are trying to estimate, although it is not valid for every situation, Zerilli-Armstrong and Steinberg-Guinian etc. It was found to be more successful than models such as (Banerjee, 2005, 2012; Jing et al., 2017; Zhang et al., 2019). This model describes the change in deformation behavior of metallic material under different temperatures and different deformation rates using two equations and ten parameter constants.



**Figure 1.** Tensile test curve and its experimental result

## 2. MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Johnson-Cook Models

The relationships between stress and strain in metallic materials can be easily explained by Johnson-Cook model under conditions of deformation, strain rate and temperature. It is still widely used by many researchers to describe the flow stress behavior of many different materials (Raut, N. et al. 2021; Niu, L. et al, 2020). Although there are some redeveloped differences due to some limitations in different materials (Shokry, A. et al, 2021; Mareau, C., 2020), the traditional flow stress model is expressed as;

$$\sigma = (A + B\epsilon^n) \left(1 + C \ln(\dot{\epsilon}^*)\right) (1 - T^{*m}) \quad (1)$$

where  $\sigma$  is the equivalent stress and  $\epsilon$  is the equivalent plastic strain (Johnson and Cook, 1983, 1985)

A is the yield stress of the material under reference conditions, B is the strain hardening constant, n is the strain hardening coefficient, C is the strengthening coefficient of strain rate, and m is the thermal softening coefficient. The terms in three different brackets given in equation (1) describe the strain hardening effect, the strengthening effect of the strain rate, and finally the

temperature effect, from left to right respectively on the stress flow (2). In the flow stress model,  $\dot{\epsilon}^*$  and  $T^*$  are defined and calculated as,

$$\ln(\dot{\epsilon}^*) = \ln\left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_{ref}}\right) \begin{cases} 0 & \text{for } \dot{\epsilon}_{ref} = \dot{\epsilon} \\ + & \text{for } \dot{\epsilon}_{ref} > \dot{\epsilon} \\ - & \text{for } \dot{\epsilon}_{ref} < \dot{\epsilon} \end{cases} \quad (2)$$

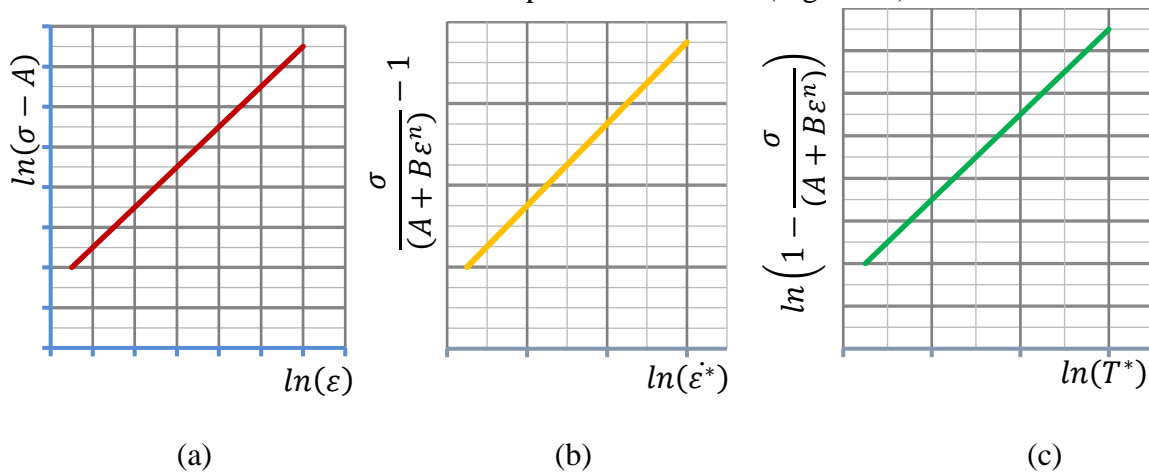
$$T^* = \begin{cases} 0 & \text{for } T < T_{ref} \\ \frac{T - T_{ref}}{T_m - T_{ref}} & \text{for } T_{ref} \leq T \leq T_m \\ 1 & \text{for } T > T_m \end{cases} \quad (3)$$

Here  $\dot{\epsilon}^*$  defines the strain rate, which is dimensionless,  $T^*$  is the homologous temperature.  $T$  is the deformation temperature,  $T_m$  is the melting temperature of the metal.  $\dot{\epsilon}_{ref}$  and  $T_{ref}$  were used to define the strain rate and deformation temperature taken as reference in experiments, respectively (Banerjee, 2005).

### 2.2 Determination of JC Flow Stress Parameter Constants

If the strengthening effect of strain rate and thermal softening effect are neglected in equation (1) which defines the flow stress,  $n$  and  $B$  constants can be obtained approximately by using the stress and strain values under reference deformation conditions. For this, the linear relationship between  $\ln(\sigma - A)$  and  $\ln(\epsilon)$  is found using the first order regression model as in Figure 2a.

When the thermal softening effect is eliminated, it will be easy to find the constant C from the slope of the curve between  $\frac{\sigma}{(A+B\epsilon^n)} - 1$  and  $\ln(\dot{\epsilon}^*)$  using the values obtained at different strain rate (Figure 2b). If this time the strengthening effect of the strain rate is eliminated from equation (1), we can calculate the m value from the slope of the relation curve between  $\ln\left(\frac{\sigma}{(A+B\epsilon^n)} - 1\right)$  and  $\ln(T^*)$ , where the values obtained at different temperatures are used (Figure 2c).



**Figure 2.**  $\ln(\sigma - A) \sim \ln(\epsilon)$  graph arranged to obtain Johnson-Cook parameters B and n (a), arranged to obtain the C parameter  $\frac{\sigma}{(A+B\epsilon^n)} - 1 \sim \ln(\dot{\epsilon}^*)$  graph (b),  $\ln\left(\frac{\sigma}{(A+B\epsilon^n)} - 1\right) \sim \ln(T^*)$  graph (c) arranged to obtain the m parameter



### 2.3 Determination of JC Damage Model Material Constants

The damage model of Johnson-Cook where fracture strain is dependent on stress triaxiality, strain rate and temperature are determined as given below (Banerjee, 2005);

$$\epsilon_f = (D_1 + D_2 e^{(D_3 \eta)}) (1 + D_4 \ln(\dot{\epsilon}^*)) (1 + D_5 T^*) \tag{4}$$

$$\eta = \left( \frac{\sigma_m}{\sigma_{eq}} \right) \tag{5}$$

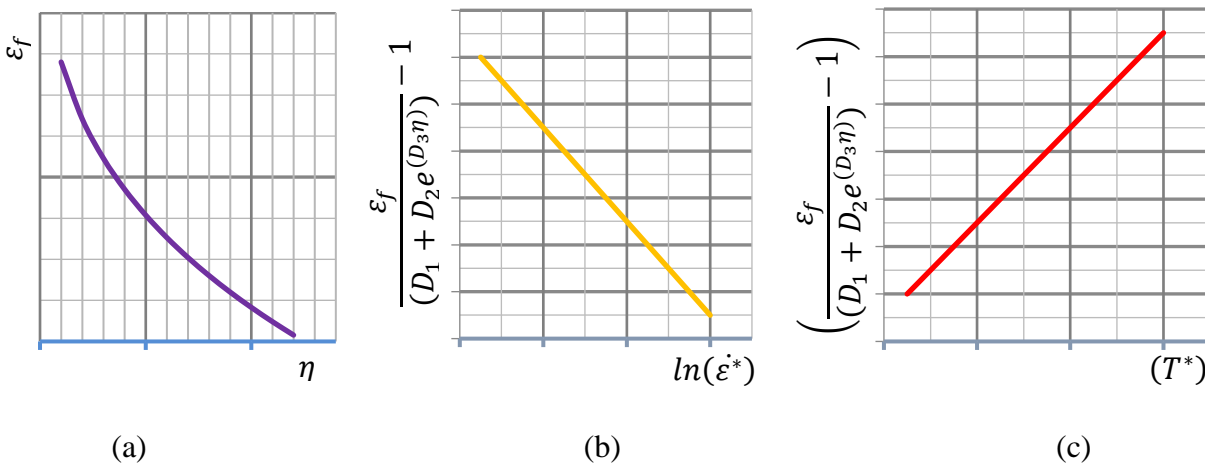
Here  $D_{1-5}$  defines the damage model parameters,  $\sigma_m$  average stress,  $\sigma_{eq}$  equivalent stress. Damage to an element is defined based on a cumulative damage law and given in a linear form (Kupchella et al., 2005) as shown below:

$$D = \sum \frac{\Delta \epsilon}{\epsilon_f} \tag{6}$$

Where  $\Delta \epsilon$  is the incremental strain and  $\epsilon_f$  is the strain equivalent to fracture under current stress, strain rate and temperature conditions. Due to the formation of fracture, the strength of the material decreases during deformation and the relationship of sufficient stress to realize whether damage has occurred can be expressed as:

$$\sigma_D = (1 - D) \sigma_{eq} \tag{7}$$

In (7),  $\sigma_D$  is the damage stress and  $D$  is the damage parameter. Damage starts when the  $D$  value is greater than one. Stress triaxiality and the magnitude of the equivalent stress can be obtained from undamaged specimens in the region until neck formation, considering the plastic behavior (Bacha et al., 2007). In (4), which defines the magnitude of the strain that causes the damage, if the effect of strain rate and thermal softening effects are neglected, the linear relationship between  $\epsilon_f$  and  $\eta$  is obtained by using the regression model,  $D_1, D_2, D_3$  values are obtained approximately by using the stress and strain values at the reference deformation conditions (Figure 3a).



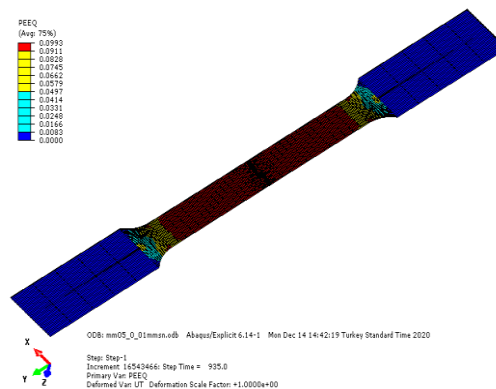
**Figure 3.**  $\eta \sim \epsilon_f$  graph drawn to obtain Johnson-Cook  $D_1, D_2, D_3$  damage parameters (a),  $\frac{\epsilon_f}{(D_1 + D_2 e^{(D_3 \eta)})} \sim \ln(\dot{\epsilon}^*)$  graph arranged to obtain  $D_4$  damage parameter (b),  $\left( \frac{\epsilon_f}{(D_1 + D_2 e^{(D_3 \eta)})} - 1 \right) \sim (T^*)$  graph arranged to obtain  $D_5$  damage parameter (c)

If the thermal softening effect is eliminated from (4),  $D_4$  is determined by using the values we obtained for different test rate  $\frac{\epsilon_f}{(D_1+D_2e^{(D_3\eta)})}$  and  $\ln(\dot{\epsilon}^*)$  can be found from the slope (Figure 3b). This time, if the effect of the strain rate is eliminated from (4), we can calculate the  $D_5$  damage parameter with  $\left(\frac{\epsilon_f}{(D_1+D_2e^{(D_3\eta)})} - 1\right)$  and  $(T^*)$  using the values we obtained at different temperatures. It will be quite easy to find from the slope of the relationship curve between (Figure 3c).

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Interface Used for Evaluation of Test Results

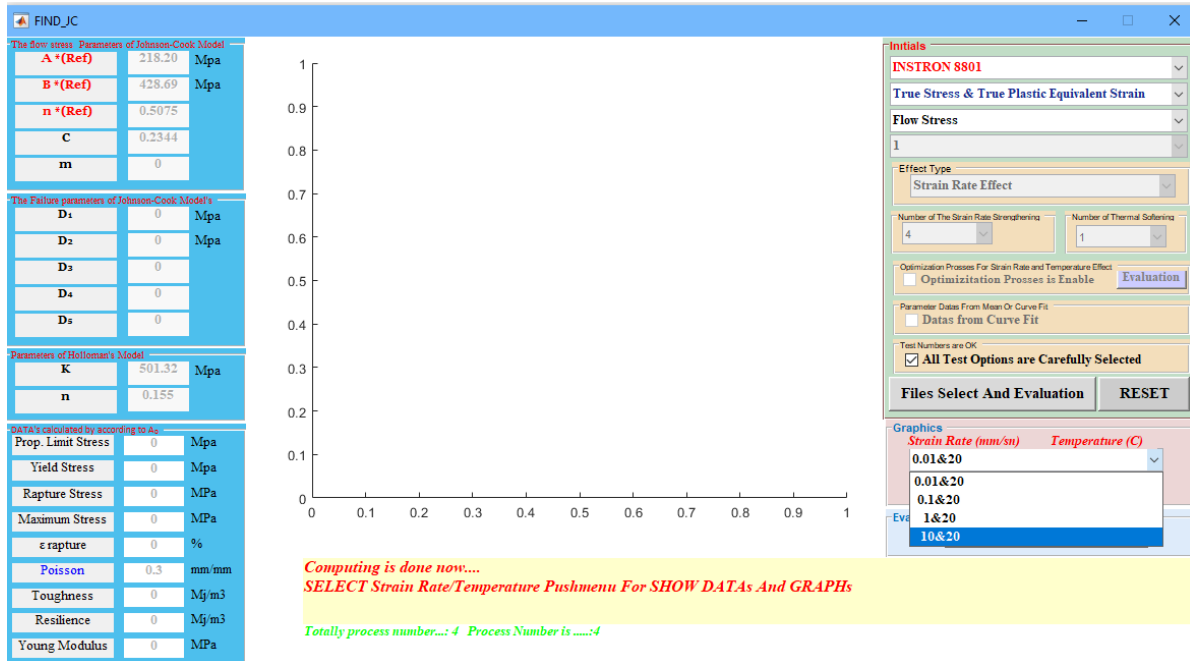
It takes a lot of time and effort to easily combine and evaluate a large number of tests to obtain model parameter constants. With the data coming from the test device, not all input parameters of some simulation programs can be accessed. Instead, the desired values should be obtained for the appropriate situation from the sample by simulating the tensile test as in Figure 2. As shown in Figure 4, using any program that can simulate the tensile test, applying an optimal mesh type and mesh number to the model designed in accordance with the standard, the obtained force, elongation, mises stress etc. values are matched with the tensile test data. When the tensile test and the data obtained from the simulation program are matched, the equivalent plastic strain and triaxiality values that cannot be taken from the test can be reached. It takes a long time to organize and evaluate both the displacement and force data from the tensile test device and other data from the simulation program without any confusion. An interface has been designed considering that it will be helpful and facilitate the work while trying to reach test results.



**Figure 4.** Simulation of a tensile test

In order for the test to process data in different formats from many different devices, the device must be selected initially. File types and contents of different formats are processed, basic test sample inputs, force and extension information are read and processed. As a result, the required values are given in the main interface (Figure 5). Ten coefficients of Johnson-Cook stress flow and damage parameters, Hollomon's hardening coefficient values, some critical fundamental values related to strain and stress, toughness, resilience and Young modulus are given in the interface. The K coefficient in Hollomon Equations is called the strength coefficient and the n coefficient is called the strain hardening exponent. The strain hardening coefficient refers to the ability of a material to harden. The low value of this coefficient, which generally varies between 0-0.5, indicates that the material will break before it hardens too much, and its high value indicates the ductile structure of the material. The formability of metals and their alloys is related to their hardening behavior (Praveen et al., 2004).

Since the hardening exponential determines the hardening capacity during plastic deformation, for example, the chip forming ability of the material in machining can be calculated (Yang and Putatunda,



2004).

Figure 5. Main interface view

As can be seen in Figure 6a, after selecting the test device for the data format, the condition for which type parameters should be calculated should be determined. Here, although the general request is for true strain- true stress, parameter constants can also be calculated for true plastic equivalent strain - Von Mises stress used in some simulation programs (Figure 6b). After selecting one of the two options, it is necessary to select different calculation procedures, namely the parameter type for Johnson-Cook stress flow parameter constants or damage parameter constants (Figure 6c). Since the data ranges taken in the tests can be varied, processing too much data may increase accuracy but also cause unnecessary waste of time. Since many iterations are required to estimate some parameter constants, the response time can be quite long. The evaluation of the result for few data points also causes incorrect values. Therefore, data range values should be chosen carefully (Figure 6d). The data describing the temperature and strain rate effects of Johnson-Cook stress flow and damage parameter constants both have different structures and the calculation procedures are different from each other. After determining which effect the calculation will be made (Figure 6e), the number of different temperatures or strain rates are selected to evaluate (Figure 6f, g). In the main interface, during the evaluation of more than one test, it is also determined whether the data will be done through the average or curve fitting procedure.

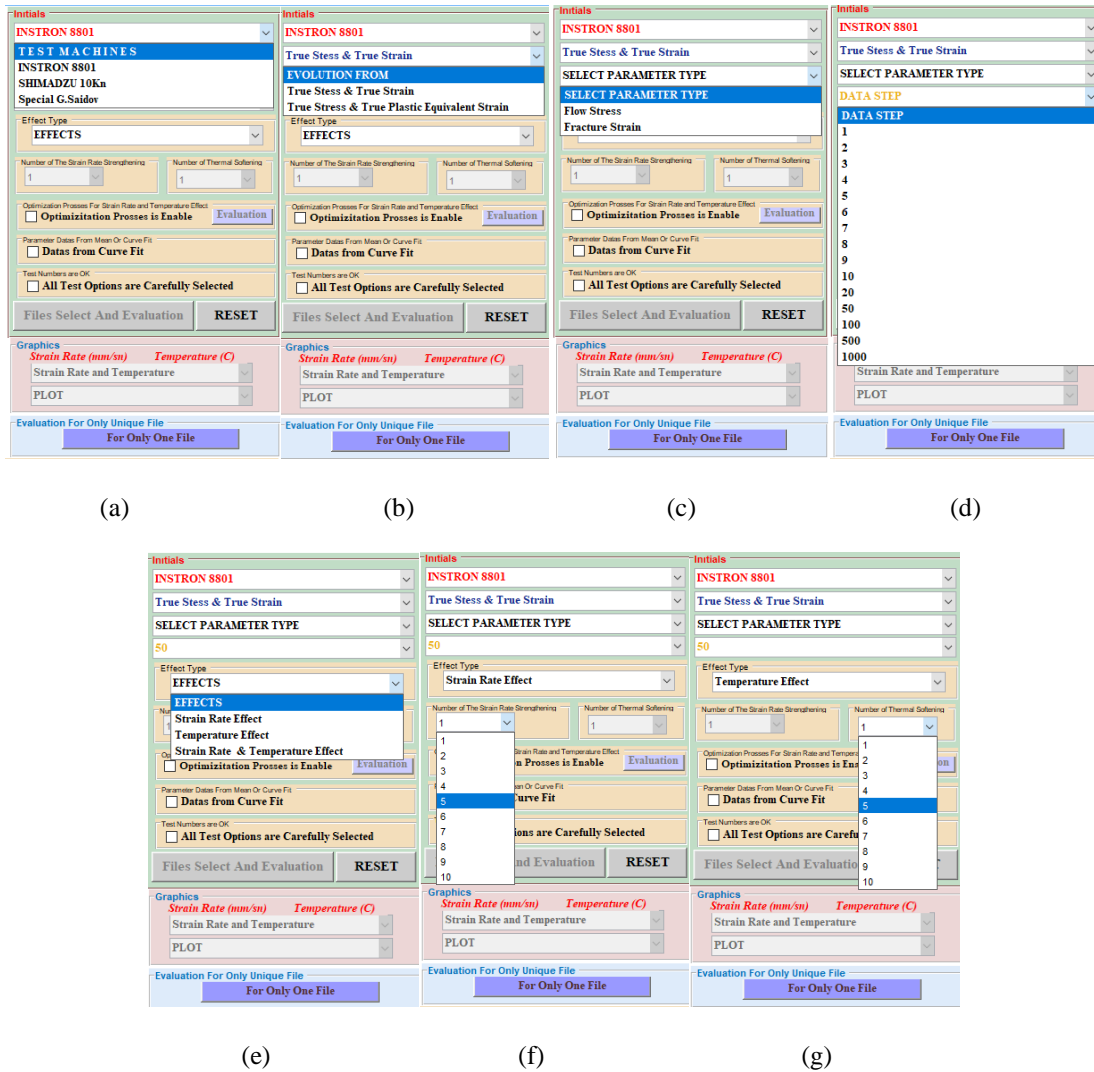


Figure 6. Selection interfaces for parameter types

Figure 7a shows the interface screen for taking into account by processing one or more test data. The data that are evaluated one by one can be selected out of the account if desired. As seen in Figure 7b, the flow stress parameters of the selected test are determined on the coefficient evaluation screen. Here, the file we receive from the test device is selected with the "Browser" and the data received are processed and the coefficients of the model are found. Since the tests are carried out with a large number of samples, separate evaluations can be made for each of them and the desired test can be included in the evaluation. The nonlinear least squares formulation is used when fitting the curve. The process gives an estimate of the model coefficients as a result of the curve fitting process. The least squares method used to obtain the coefficient estimates applies an iterative procedure that minimizes the total square of the residuals. Curve fitting requires a parametric model selection that relates the response data to the prediction data with one or more coefficients. In accordance with the form, we want the model, "a Two-Term Power Series Model" for Johnson-Cook parameters and "a Single-Term Power Series Model" for Holloman parameters were used.

Robust least-squares fitting method, least absolute residue structure, curve fitting by minimizing the total square of residues, select parameter coefficients determined according to the largest R-squared value resulting in the case of choosing "Trust-Region" or "Levenberg-Marquardt" algorithm. The R-squared is a statistical measure of how close the data is to the fit regression line. It

is also known as the coefficient of determination or the multiple coefficients of determination for multiple regression. In general, it can be said that the higher the R-square, the better the selected model fits your data.

In Figure 7b, both the flow stress values and the values of some critical points, obtained from the calculated data, are given. Both finding critical points in strain-stress curves of materials with many different structures and very variable data vibrations / oscillations make it difficult to calculations of critical points. A few peaks of vibration greatly affect the finding the location of these critical points. Using a few close data values and limited by tolerance criteria, the slope of the curve is calculated. All critical points on the stress-strain curve are controlled by the program from the end to the beginning and from the beginning to the end. These locations can also be determined by the user, in case of doubt about the location of the critical points found. If different devices can be used to find strain from extension values such as grips that hold the sample, then extensometers such as video extensometers can also be selected from the program screen. If the flow stress parameter constants are to be estimated according to Misses stresses and equivalent plastic strain, it is naturally easier to process the regular data coming from the simulation and to locate the critical points (Figure 7c).

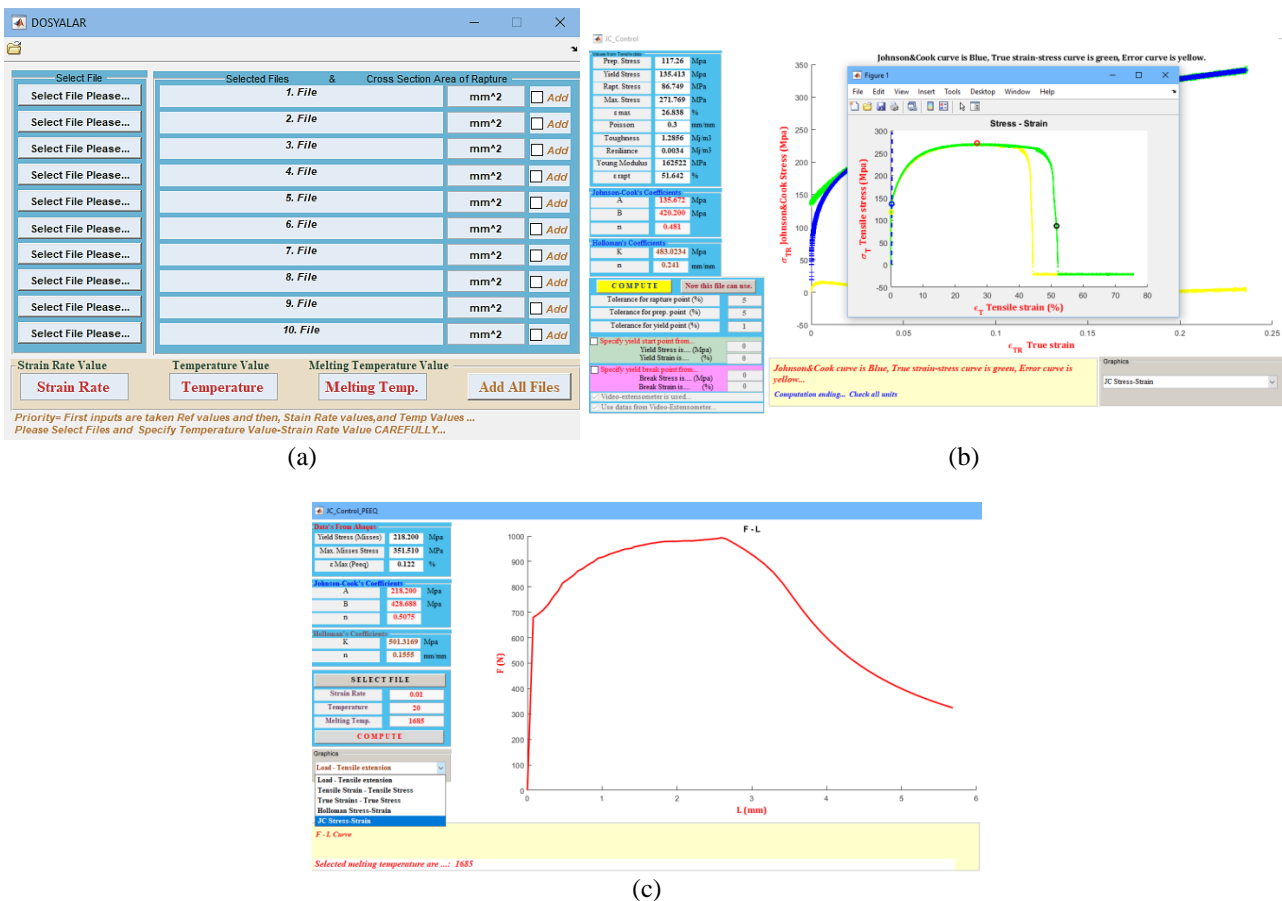


Figure 7. Interface of evaluation and input determination for flow stress parameters

The data belonging to the tests performed for each temperature and strain rate selected for the parameters are processed by the linear regression procedure and the values of C strengthening coefficient of the strain rate (Figure 8a) and m thermal softening coefficient (Figure 8b) are found. All parameters of the tests used to find the constants and the values of the critical points can be

monitored by selecting the relevant graphic. In Figure 5. if you want to make optimization as seen in the main interface, the program uses the find minimum of constrained nonlinear multivariable function, for the default interior-point algorithm, from lower bound to upper bound. New strengthening coefficient of the strain rate and m thermal softening coefficient values it replaces the old values on interface screen.

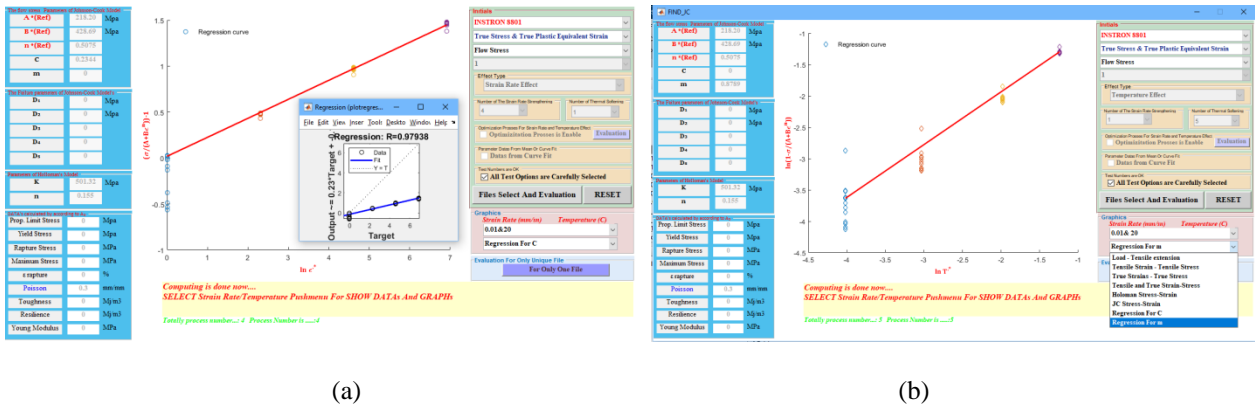


Figure 8. Interface for strengthening coefficient of the strain rate(C) and thermal softening coefficient(m)

Johnson-Cook defined the damage parameters depending on the stress triaxiality, strain rate and temperature to obtain the fracture strain. Five parameter constants help us solve the fracture strain with a simply defined formula. The test results are evaluated by applying tensile test at different strain rate and under different temperatures on specially prepared test samples for these parameters. A large number of test data taken for different group tests are entered into the program as in Figure 9a. Any number of tests belonging to the specified group can be included or removed from the calculation. When the test file is selected, it is found automatically by following the slope of the fracture strain graph in the interface (Figure 9b). Finding a specific point from thousands of data belonging to the test can sometimes be erroneous due to peak vibrations occurring in the device. The user can determine the fracture strain point within the narrow area limited by intervening in the graphical inclination control tolerance when desired. Parameters are obtained by evaluating the fracture strain and stress triaxiality values at this moment, automatically or determined by the user. For the stress triaxiality that cannot be obtained from the tensile test, the simulation is referred. As seen in Figure 9-a, after the test results are entered into the program and the fracture strain is determined. The stress triaxiality matching the fracture strain is found from the report file coming from the simulation program and included in the calculation to find the coefficients of damage parameters.

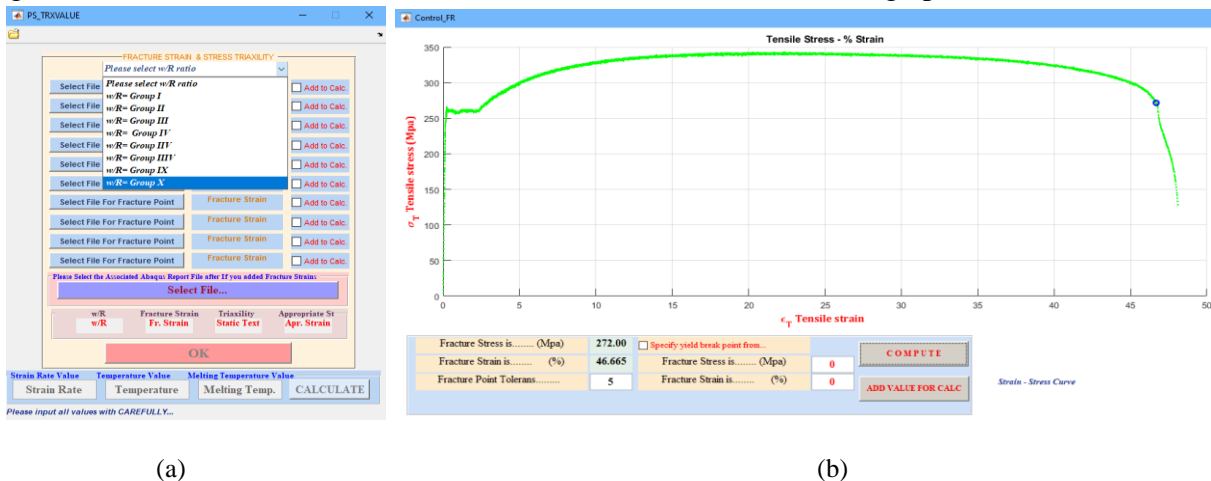
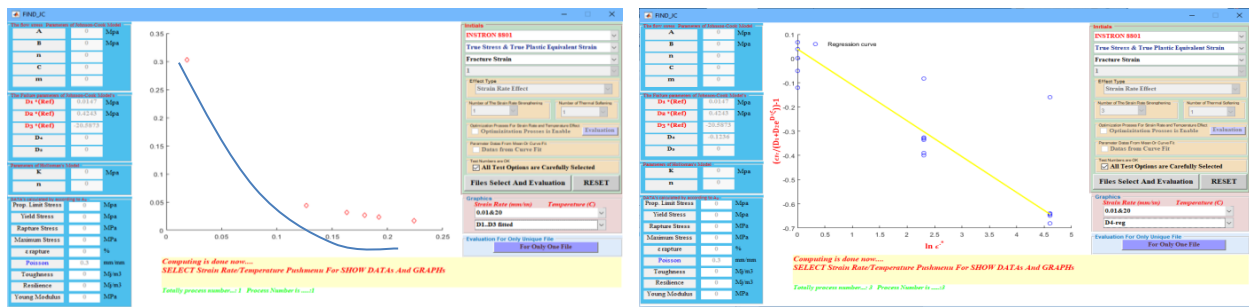


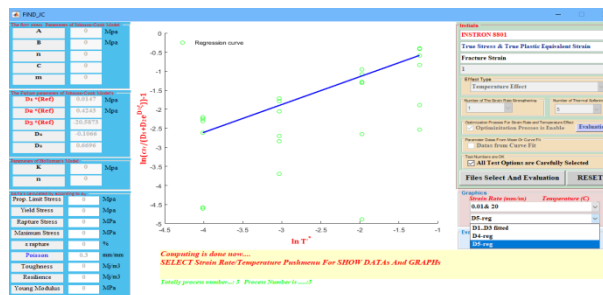
Figure 9. Main interface for damage parameters and fracture strain point finding interface in tests

Damage parameter constants  $D_{1-3}$  are found by curve fitting procedures using the test results and simulation report results that coincide with these results (Figure 10a). Here, as applied to find flow stress parameters, it determines the parameter coefficients for the maximum controlled R-square value using different algorithm options. The R-squared is the measure of how close the curve is to the regression line formed by the parameters found. The largest R-squared value shows the option for the selected model that best fits the experimental data. Regression procedures are applied to find the strain rate parameter constant,  $D_4$  and temperature parameter constant  $D_5$  (Figure 10b, c). The constants are the slope of the curve that is drawn in case of temperature or strain rate change. If desired, after finding  $D_{4,5}$ , optimization can be applied as in the option of determining the stress strengthening coefficient and thermal softening coefficient in the flow stress parameters (Figure 5).



(a)

(b)



(c)

Figure 10. Interfaces for damage parameters ( $D_{1,5}$ )

#### 4. CONCLUSION

One of the most well-known parametric models representing the stress-strain relationship and fracture strain of metallic materials used in simulation programs is Johnson-Cook's model. They defined this relationship in a simple form for large deformation conditions, high strain rate and elevated temperature. However, obtaining the JC parameter coefficients of a material is a very time-consuming process. It is a complex task, respectively, to prepare test samples with different geometries in the workshop, to apply many tests in the laboratory, to organize test data and simulation reports in different formats, to process them together in a mathematical program. This program has been designed to make the study easier in this process and to enter data in an order to estimate JC stress flow and JC ductile damage model parameters, and when required, curve fitting, optimization and regression procedures are applied using algorithms to obtain the most optimal results. The program has been tested with the different types of test results we have designed, and it has been observed that it has effective data entries and satisfactory results. As with every program, it will need to be updated in accordance with the feedbacks of the users and with different details.

## 5. ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been supported by Scientific and Research Project Commission of Afyon Kocatepe University (Project No: 18. Kariyer.233)

## 6. CONFLICT OF INTEREST

Author approve that to the best of their knowledge, there is not any conflict of interest or common interest with an institution/organization or a person that may affect the review process of the paper.

## 7. AUTHOR CONTRIBUTION

Ahmet ÇETKİN has the full responsibility of the paper about determining the concept of the research, data collection, data analysis and interpretation of the results, preparation of the manuscript and critical analysis of the intellectual content with the final approval.

## 8. REFERENCES

- Akbari, M., Buhl, S., Leinenbach, C., Wegener, K., A new value for Johnson Cook damage limit criterion in machining with large negative rake angle as basis for understanding of grinding. *Journal of Materials Processing Technology* 234, 58-71, 2016.
- Bacha, A., Dominique, D., Klocker, H., On the determination of true stress triaxiality in sheet metal. *Journal of Materials Processing Technology* 184 (1-3), 272-287, 2007.
- Banerjee, A., Dhar, S., Acharyya, S., Datta, D., Nayak, N., Determination of Johnson Cook material and failure model constants and numerical modelling of Charpy impact test of armour steel, *Materials Science and Engineering: A*, 640, 200-209, 2015.
- Banerjee, B., An evaluation of plastic flow stress models for the simulation of high-temperature and high-strain-rate deformation of metals. 10.13140/RG.2.1.4289.9285, 2005.
- Banerjee, B., Mpm Validation: A Myriad of Taylor Impact Tests, Department of Mechanical Engineering, University of Utah, Salt Lake City, UT 84112, USA, January 13, 2012.
- Chen, X., Liao, Q., Niu, Y., Jia, W., Le, Q., Cheng, C., A constitutive relation of AZ80 magnesium alloy during hot deformation based on Arrhenius and Johnson–Cook model. *Journal of Materials Research and Technology* 8 (2), 1859-1869, 2019.
- Gupta, S., Abotula, S., Shukla, A., Determination of Johnson–Cook parameters for cast aluminium alloys. *Journal of Engineering Materials and Technology*, 136 (3), 034502, 1-4, 2014.
- Immanuel, R. J., Panigrahi, S. K., Deformation behavior of ultrafine grained A356 material processed by cryorolling and development of Johnson–Cook model. *Materials Science and Engineering: A* 712, 747-756, 2018.
- Jing, L., Xingya, S., Zhao, L., The dynamic compressive behavior and constitutive modelling of D1 railway wheel steel over a wide range of strain rates and temperatures. *Results in Physics* 7, 1452-1461, 2017.
- Johnson, G. R., Cook, W. H., A constitutive model and data for metals subjected to large strains high strain rates and high temperatures, *Proceedings of the 7th International Symposium on Ballistics*, 19-21 April, 1983, the Hague, the Netherlands.



- Johnson, G. R., Cook, W. H., Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, strain rates, temperatures and pressures. *Engineering Fracture Mechanics* 21 (1). 31-48, 1985.
- Korkmaz, M. E., Günay, M., Confirmation of johnson-cook model parameters for nimonic 80A alloy by finite element method. *Politeknik Dergisi* 23(3), 625-632, 2020.
- Korkmaz, M. E., Yaşar, N., Günay, M., Numerical and experimental investigation of cutting forces in turning of Nimonic 80A superalloy. *Engineering Science and Technology, an International Journal* 23 (3), 664-673, 2020.
- Kupchella, R., Stowe, D., Xiao, X., Algosio, A., Cogar, J., Incorporation of material variability in the Johnson Cook model. *Procedia Engineering* 103, 318-325, 2015.
- Lalwani, D. I., Mehta, N. K., Jain, P. K., Extension of Oxley's predictive machining theory for Johnson and Cook flow stress model. *Journal of Materials Processing Technology* 209 (12-13), 5305-5312, 2009.
- Mareau, C., A thermodynamically consistent formulation of the Johnson–Cook model. *Mechanics of Materials* 143, 103340, 2020.
- Niu, L., Cao, M., Liang, Z., Han, B., Zhang, Q., A modified Johnson-Cook model considering strain softening of A356 alloy. *Materials Science and Engineering: A* 789, 139612, 2020.
- Praveen, K. V. U., Sastry, G. V. S., Singh, V., Work hardening behaviour of the Ni-Fe based superalloy IN 718, *International Symposium of Research Students on Material Science and Engineering* December 20-22, 2004, Chennai, India.
- Raut, N., Shinde, S. Yakkundi, V., Determination of Johnson Cook parameters for Ti-6Al-4 V Grade 5 experimentally by using three different methods. *Materials Today: Proceedings* 44 (1), 1653-1658, 2021.
- Shokry, A., On the constitutive modelling of a powder metallurgy nano quasicrystal line  $Al_{93}Fe_3Cr_2Ti_2$  alloy at elevated temperatures. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 41 (118), 1-13, 2019.
- Shokry, A., Gowid, S., Kharmanda G., An improved generic Johnson-Cook model for the flow prediction of different categories of alloys at elevated temperatures and dynamic loading conditions. *Materials Today Communications* 27, 102296, 2021.
- Shrot, A., Bäker, M., Determination of Johnson–Cook parameters from machining simulations. *Computational Materials Science* 52 (1), 298-304, 2012.
- Wang, B., Liu, Z., Shear localization sensitivity analysis for Johnson-Cook constitutive parameters on serrated chips in high-speed machining of Ti6Al4V. *Simulation Modelling Practice and Theory* 55, 63-76, 2015.
- Yang, J., Putatunda, S. K., Influence of a novel two-step austempering process on the strain-hardening behavior of austempered ductile cast iron (ADI). *Materials Science and Engineering: A* 382 (1-2), 265-279, 2004.
- Zhang, B., Shang, X., Yao, S., Wang, Q., Zhang, Z., Yang, X., Cai, J., Wang K., A Comparative Study on Johnson–Cook, Modified Johnson–Cook, Modified Zerilli–Armstrong and Arrhenius-Type Constitutive Models to Predict Hot Deformation Behavior of TA2. *High Temperature Materials and Processes* 38, 699-714, 2019.

Araştırma Makalesi / Research Article

Otomotiv Sektöründe Kullanılan Parçaların Robot ve Kamera Yardımı ile Ölçümü  
Yapılarak, Manuel Hatanın Azaltılması

Yakup KOÇ<sup>1</sup>, Derviş ÖZKAN<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0141-7177>, yakupc@icloud.com

<sup>2</sup> Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4978-290X>, dervisozkan@bartin.edu.tr

Geliş/ Received: 28.06.2021;

Kabul / Accepted: 02.08.2021

**ÖZET:** İmalat endüstrileri daha rekabetçi bir ortamda gelişimlerini ve sürekliliklerini devam ettirerek maliyetlerini düşürmeyi hedeflemektedir. Yalın üretime geçiş sürecinde ilk adım, israfa yol açan üretimdeki tüm aktivitelerin en aza indirilmesi ve katma değeri olan/olmayan faaliyetlerin analiz edilmesidir. Bu çalışmada, otomotiv sektöründe faaliyet gösteren firmaların (Ford, Bosch, Delphi, Audi, Toyota, Honda, Hydrema, Fiat, Hitachi) ürettikleri araçlara takılan parça imalatı için ar-ge çalışması ele alınmıştır. Montaj hattı tasarımı ile yapılan iyileştirme sürecinde, imalat sürecinin işleyişi, süreç üzerindeki etkiler robot ve kamera destekli kalite kontrolü belirlenmeye çalışılmıştır. Kamera ile ölçüm sistemleri kullanarak üretim sürecinin incelenmesi, çevrim süresinin azaltılması, katma değer yaratmayan hareketlerin giderilmesi ve lay-out (yerleşim düzeni) iyileştirilmeleri hedef alınarak kompleks ve zor parçaların kalite kontrolü, montaj hatları için iyileştirme çalışmaları değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kalite kontrol, Yalın üretim, Görüntü işleme, Ölçüm sistemleri, Robot ile montaj hattı.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: dervisozkan@bartin.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Koç, Y., Özkan, D. (2021). Otomotiv Sektöründe Kullanılan Parçaların Robot ve Kamera Yardımı ile Ölçümü Yapılarak, Manuel Hatanın Azaltılması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 112-126.

## Measuring The Parts Used in The Automotive Industry with the Help of Robots and Cameras, Reducing Manual Error

**ABSTRACT:** Manufacturing industries aim to reduce their costs by continuing their development and continuity in a more competitive environment. The first step in the transition to lean production is to minimize all activities in production that lead to waste and to analyze activities with or without added value. In this study, R-D work for the production of parts attached to the vehicles produced by companies operating in the automotive sector (Ford, Bosch, Delphi, Audi, Toyota, Honda, Hydrema, Fiat, Hitachi) is discussed. In the improvement process with the assembly line design, the functioning of the manufacturing process and the effects on the process were tried to be determined by robot and camera assisted quality control. Quality control of complex and difficult parts, improvement studies for assembly lines were evaluated by targeting the examination of the production process using camera measurement systems, reducing the cycle time, eliminating the movements that do not create added value, and improving the lay-out. Quality control of complex and difficult parts and improvement studies for assembly lines were evaluated by aiming at eliminating movements that do not create added value and improving lay-outs. Quality control of complex and difficult parts and improvement studies for assembly lines were evaluated by aiming at eliminating movements that do not create added value and improving lay-outs.

**Keywords:** Quality control, Lean manufacturing, Image processing, Measurement systems, Robot assembly line.

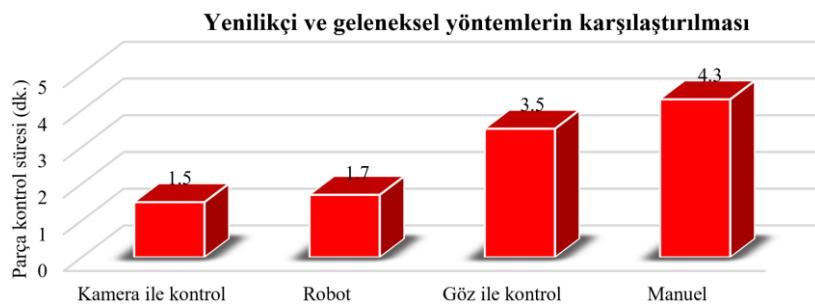
### 1. GİRİŞ

Günümüzde, bilgisayar ve kamera gibi elektronik ürünler; robotlar ve algılayıcılar gibi endüstriyel ürünler hayatımızın her alanında olduğu gibi otomotiv endüstrisinde de vazgeçilmez öğeleri haline gelmiştir (Ege ve ark., 2021). Otomotiv sektöründe rekabetçi koşulların oluşabilmesi ve devam ettirilebilmesi için farklı yöntemler geliştirilmektedir. Otomotiv sektörü içindeki birçok firmalarda bu rekabetçi koşulları sağlamak için yeni ve farklı yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Kaliteli bir imalat veya proses yönetimine sahip kuruluşlar (firmalar) sürekli olarak büyümekte ve gelişen teknolojiyle birlikte kendilerini yenileme arayışında bulunmaktadırlar. Böylelikle otomotiv sektöründe yer alan firmaların imalat alt yapılarını geliştirmeleri için geçmişten günümüze kadar endüstriyel otomasyonlarını ilerletmeleri kritik önem taşımaktadır (Manesis ve Nikolakopoulos, 2018). Bu durumun gelişimi ise otomasyonun daha kolay ve anlaşılır olmasını, uzaktan kontrol edilebilmesini ve uzaktan izlenebilir olmasını sağlamasıyla otomasyon sektörünün doğuşuna ayna tutmaktadır. Firmalar için önemli bir ihtiyaç olan endüstriyel otomasyon sistemleri kullanıldıkları yere ve ihtiyaca göre birçok farklı yapıyı bünyesinde barındırmaktadırlar. Bu otomasyon sistemlerinin büyük bir kısmını endüstriyel robotlar oluşturmaktadır (Kurt ve Bozoklu, 2019). Endüstriyel robotların otomotiv entegrasyonu ile elde edilen yeni ve farklı gelişmeler, yalnız son mamulde değil, üretim aşamalarının her birinin gelişiminde de büyük katma değer sağlamaktadır. Günümüzde otomotiv sektöründe yer alan otomasyon sistemlerinin önemli yardımcıları olan endüstriyel robotların başta kalite olmak üzere birçok avantaj/dezavantajları söz konusu olabilmektedir. Öyle ki montaj esnasında seri imalat aşamalarında parça montajında kullanılan sabit tezgahlar yerine kamera destekli görsel kontrol entegreli robot yardımı ile sabitleme ekipmanı kullanmadan bir montaj uygulaması gerçekleştirilebilmektedir (Bone ve Capson, 2003). Günümüz teknolojik gelişmeleri ışığında kamera ile kontrol sistemi ise bu yöntemlerden sadece birisidir (Sága ve ark., 2020). Kamera ile parça kontrol sistemleri; üretim sürecinin sürekli iyileştirilmesini sağlayan

bununla birlikte verimlik, maliyet, stok durumu ve üretim aşamasındaki zamanının optimize edilmesinde yardımcı olan önemli bir olgu olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda işletmelerin büyük bir bölümü montaj yolu (manuel montaj) ile üretim yapmaktadır. Müşterilerin istedikleri ürünü talebe en uygun şekilde ve en uygun maliyetle firmalardan talep etmeleri firmalara ciddi bir rekabet zorunluluğu getirmektedir. Üretim taleplerinin her geçen gün artmasından dolayı, montaj hatları, fazla miktarlarda siparişleri, minimum maliyetle, istenen kalitede ve talep edilen sürede üretilmesi, amaçlanan seri üretim sistemlerinin değiştirilemez bir parçası durumuna getirmiştir (Gökçen ve ark., 2006). Bu sebeple, montaj hatları, seri üretim sistemlerinin esas ögesi olarak düşünülmektedir. Montaj hatlarında kaynakların verimli ve etkin bir biçimde kullanılmasıyla iş yükleri ve iş istasyonları dengeli bir şekilde dağıtılmaktadır. Seri üretim yapan firmalar için, montaj hattı dengeleme problemi ciddi önem taşımaktadır (Li ve ark., 2021). Yalın üretim ise, israfa neden olan üretimdeki bütün aktivitelerin en aza indirilmesi ve katma değer yaratan aktivitelerin ise artırılması yöntemidir. Yalın üretim aynı zamanda bir akış boyunca katma değer yaratmayan tüm adımların (hata, maliyet, stok, işçilik, geliştirme süreci ve üretim alanı gibi) elimine edilmesi ve yalın üretim tekniklerini kullanarak müşteri taleplerine proaktif (insiyatif almak) çözümler sunmaktır (Turan, 2018). Böylelikle yalın üretimde hedef sıfır hata ve sıfır stok prensibine dayanmaktadır (Wilson, 2010). Böylece müşterinin para vermek istemeyeceği her aktivite israftır. İsraflar ise, yalın üretimdeki araçların doğru kullanılmasıyla azaltılabilir veya ortadan kalkabilir.

Ar-ge çalışması yapmak ve elinizdeki hattı iyileştirip verimliliğini arttırmak için sistemin ne kadarı manuel veya otomasyon ağırlıklı çalıştığı detaylı bir şekilde incelenip analiz edilmelidir. Revize etmek isteyeceğiniz sistem örnek olarak operatörün inisiyatifi altında ise, parçaların dizilmesi, paketlenmesi, taşınması vb. gibi iş bölümlerinin içinde ise hattın verimliliği robot yardımı ile ciddi derecede artırılabilir. Örneğin, bir mil parçasının kasalara konulması işlemi aşamasında operatör her defasında maksimum iki parça manuel olarak temin eder ve sevkiyat kasasına iletebilir. Diğer taraftan, robot ise mili tutacak uygun bir gripper (tutucu parmaklar) tasarımı ile tek sefer de birden çok parçayı zamandan tasarruf ederek de kasaya iletebilir. Bu bilgilere istinaden yenilikçi ve geleneksel yöntemler ile örnek bir parçanın kontrolünün manuel (matar yardımı ile parça kontrol) – robot – göz ve kamera ile ilgili ilişkisinin karşılaştırılmasının üretici firmaya sunulması Şekil 1’de gösterilmektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi en az süre ile iş parçası kontrolü kamera ile elde edilirken en fazla sürede imal edilen parça süresi manuel olmaktadır. Bu durum üretici firmalar tarafından maliyet ve iş yükü bakımından kritik bir öneme sahip olmaktadır. Maliyet ise en önemli etken faktörlerden biridir. Robot ile iş parçası kontrolü ise yine firmaların uygun olarak benimsediği önemli olgular olarak karşımıza da çıkmaktadır. Bu nedenle, gelişen teknoloji ve seri imalat aşamaları bu kritik değerlere ciddi yatırımlar yapmakta ve imalatlarını kalite standartları kapsamında tasarlayıp hız kazanmaktadırlar. Diğer taraftan kamera veya robot işlem uygulamalarının işletmeciler açısından dezavantajı ise bu sistemlerin yüksek maliyet ile karşılımlarına çıkmasıdır.

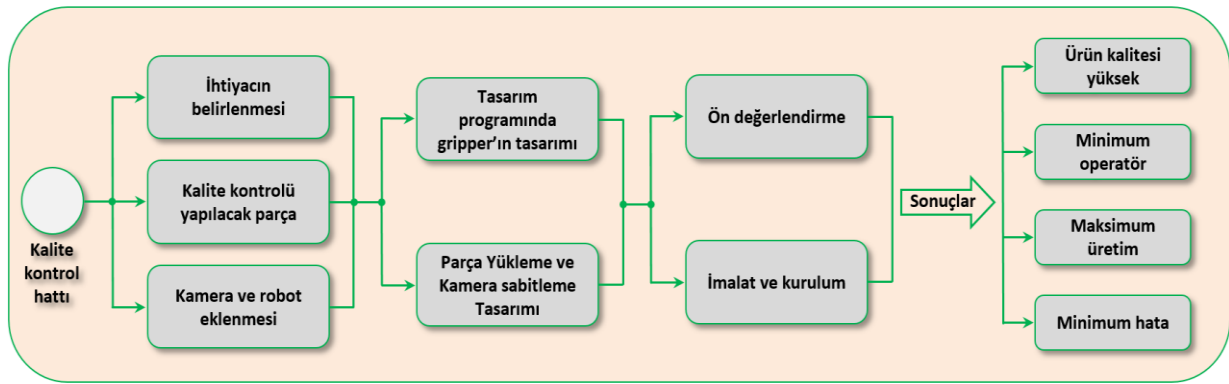


**Şekil 1.** Üretilen iş parçasının yenilikçi ve geleneksel yöntemler ile karşılaştırılması

Bu çalışmada, kamera kontrol üretim sistemi ile beraber montaj hattında iyileştirme çalışmalarının gereklilik, fayda ve üretim maliyetleri açılarından değerlendirilerek görüntü (kamera) işleme ile birlikte parçaların kalitesinde iyileştirme çalışmalarına farklı bir bakış açısı kazandırmak, üretim ve imalat endüstrisinde kullanılan hassas parçaların üretimini yapan bir montaj hattı için iyileştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmaların uygulandığı yerlerde (üretim ve imalat fabrikaları) analiz yapılarak, ticari araçlar için montaj hattının çevrim süreleri ve operatör sayısı düşürülmesi bu kapsamda yer almaktadır.

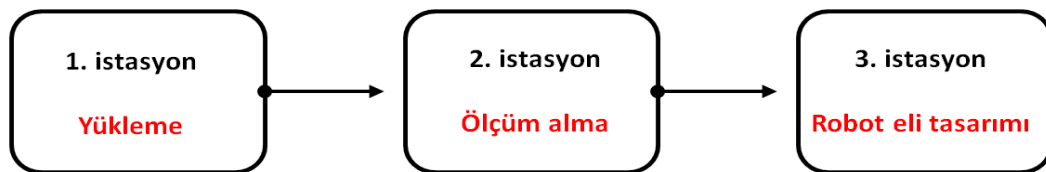
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada, montaj hattı tasarımı ile uygulanan iyileştirme sürecinde, imalat sürecinin işleyişi, süreç üzerindeki etkiler, robot ve kamera destekli kalite kontrolün belirlenmesi hedeflenerek izlenen yol ve iş akış şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Çalışmada izlenen yol ve iş akış şeması

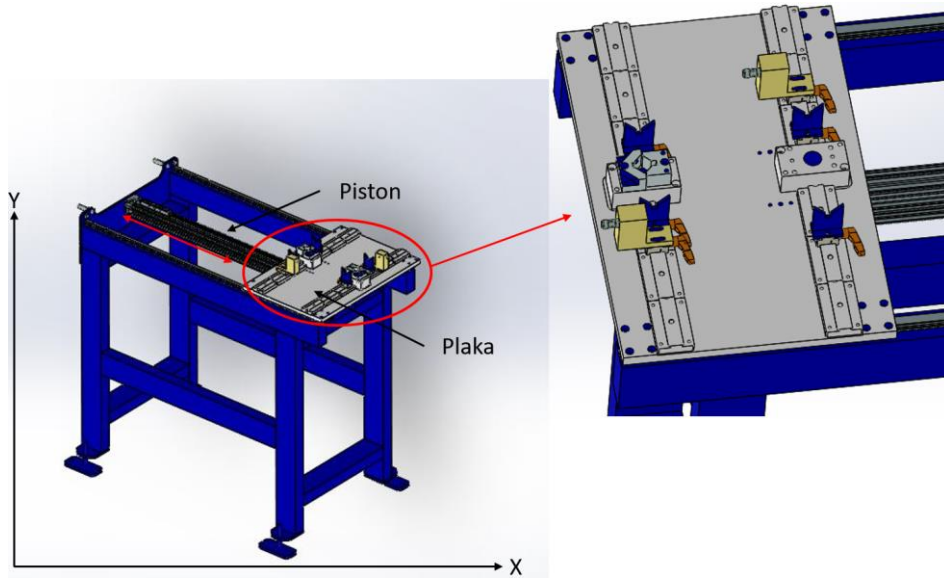
Müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda belirlenen parçaların kamera ile kalite kontrol yapılacağı hattın oluşturulması ve istenilen performansı karşılamak amacı ile işletmede kalite yönetim sisteminin tüm şartları ile uyumlu olacak şekilde tasarlanması için gerekli aksiyon (plan) ilk aşamada ele alınmıştır. Çeşitli geometrilere sahip araç parçalarının kamera ile analiz edilip, ölçüm yardımı ile kalite kontrolü yapılabilir. Tasarımı yapılan sistemin amacı araçların (binek/ticari araç) motorlarına takılan karmaşık ve ölçümü kolay olmayan parçaların, tüm yüzeylerinin müşterinin istediği ölçü toleransları girilerek oluşturulmasıdır. İyileştirme çalışmasının ilk aşamasında (hattın düzenlenmesi) ön tasarım gerçekleştirilerek bağlı bulunan istasyonlara aktarılmıştır. Şekil 3’de tasarımın üç ana bölümü olan istasyonlar gösterilmektedir.



Şekil 3. Üretim sahasındaki istasyon kısımları

İmalat aşamasında manuel olarak kalite kontrolü gerçekleştirilen hattın otomasyon desteğiyle ön tasarımın yapıp operatörün uygulayacağı hatanın en aza indirilmesi için operatörden bağımsız mekanik fikstür tasarımı gerçekleştirilerek tasarıma geçiş sağlanmıştır. Tasarımda ise Solidworks programından yararlanılarak ölçüm kamerası ile desteklenip üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada

tasarımı yapılacak ürünün Şekil 4'te gösterilen bir plaka üzerine sabitleyip tutabilecek biçimde X ekseninde bir adet piston konumlandırılmıştır. Bu plakanın bağlı olduğu kızaklı pnömatik piston ile ileri ve geri gitmesi sağlanmaktadır.



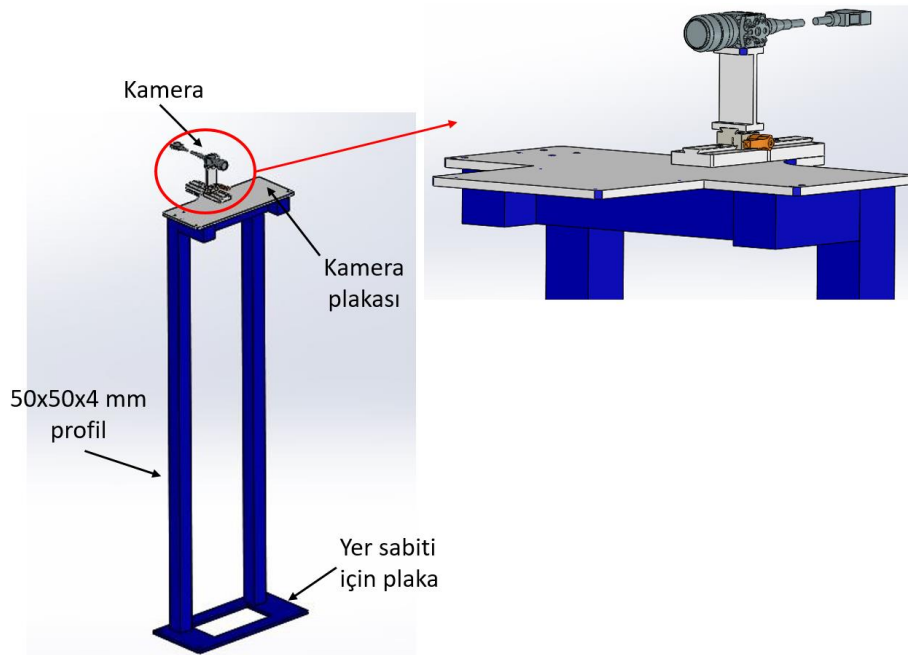
Şekil 4. Lineer kızağa bağlı tasarımın Solidworks çizimi

Birinci istasyon yani yüklemede operatör, parçaları kayar tabla üzerinde bulunan sabitlenmiş masterlarının üzerine bırakarak ve çift el butonu ile onay vererek işlemi uygular. Sistem onay aldıktan sonra plakanın kızaklı piston ile ileri gitmesi böylelikle sağlanmış olur. Plakanın hareket etmesini sağlayan kızaklı piston ve sistemin bütünü PLC (Programlanabilir Mantıksal Denetleyici) ile kontrol edilmiştir. Ölçüm alma ikinci istasyonda ise yapılan işlem sistemin bütünü oluşturulmaktadır. Şekil 4'te gösterilen istasyona parça yüklenmesi yapıлып, operatör onay verdikten sonra ileri giden kayar tabla üzerindeki ürünler robot eli yardımı ile alınıp bu istasyona getirilir (Şekil 6). Kameranın fotoğraf çekme ve ölçüm hızının (6 mm/s) üstüne çıkmadan kameraya belirli açılarda gösterilir ve böylece fotoğraf çekimi sağlanmış olur. Bilgisayara iletilen fotoğraflar çeşitli görüntü işleme aşamalarından geçirilerek geometrik toleranslarının ölçümleri incelenir ve iş parçasının toleranslar içindeki uygunluğu kontrol edilir. Ürünün tam olarak hangi basamaklardan geçirilip müşteriye hazır hale getirildiğinin son aşamasıdır. Bundan sonra müşteriden alınan teknik bilgiler doğrultusunda kameraya önceden görsel ve matematiksel hesaplar ile aktarılan veriler ışığında çekimi yapılan parçalar incelenir. Robotun elindeki parça kameranın programında yüklü olan toleransların içinde ise onay alıp konveyör ile sevkiyat bölümüne yönlendirilir. Eğer parça hatalı ise sırası ile diğer parametreler (kalınlık, incelik, diklik, eğrilik ve dairesellik) incelenir. Kameranın hata verdiği nokta ve toleranslar Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Hata noktaları ve tolerans gösterimleri

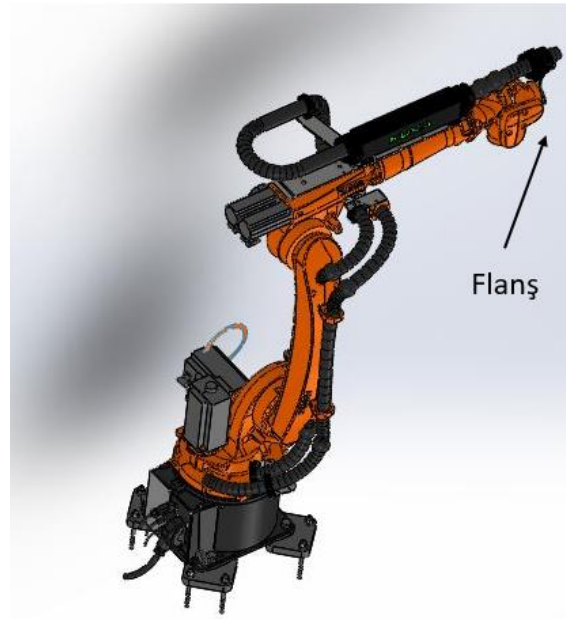
Bu kriterlere göre ürün seçimi yapıp kasalara robot eli ile bırakılır ve çevrim bu şekilde devam eder.



Şekil 6. Ölçüm alma (ikinci istasyon) istasyonunun Solidworks model gösterimi

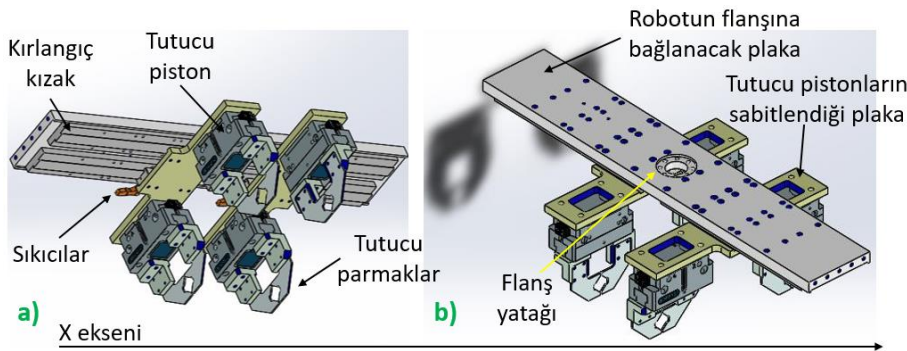
Üçüncü istasyon olan robot eli tasarımında cycle (döngü) ve insan gücünden tasarruf ettiren robot, taşıma robotu olarak ifade edilen endüstriyel bir uygulamadır. Bu robotlar, endüstriyel uygulamalar da, konveyör üretim hatlarında, insan gücü ve zamandan kısarak kaliteyi yükseltmek ve maliyeti minimum seviyelerde tutmak amacıyla kullanılmaktadır (Fırat ve Fırat, 2017). Diğer bir deyişle, farklı geometrilere sahip olan iş parçalarının alınıp, kameranın önünden belirli kriterlere bağlı kalarak istenilen eksen ve açılarda hareket ettirilmesini sağlamaktır. Fotoğraf çekimi gerçekleştirildikten sonra hata analizi yapıp PLC'ye gerekli ölçü ve veriyi kaydettikten sonra iş parçasını uygun kasalara yerleştirmektedir. İhtiyaç duyulan ürünün tutulması için gripper (endüstride bir parçayı taşıma veya sabitleme amacı ile kullanılan mekanik, pnömomatik veya elektrikli ekipman) kullanılmıştır. Gripper'ın ağırlığı ve istasyonların erişim mesafesi göz önünde bulundurularak robot

seçimi yapılmıştır. Robot seçimi ise ürün adedine, ağırlığına, boyutuna ve ürünün taşınacağı uzaklığa uygun seçilmiştir. Bu çalışmada Şekil 7’de gösterilen Kuka-Kr20\_R1810 endüstriyel taşıma robotu kullanılarak işlemler uygulanmıştır.



Şekil 7. Kuka-Kr20\_R1810 endüstriyel taşıma robot model gösterimi (Anonim, 2021a)

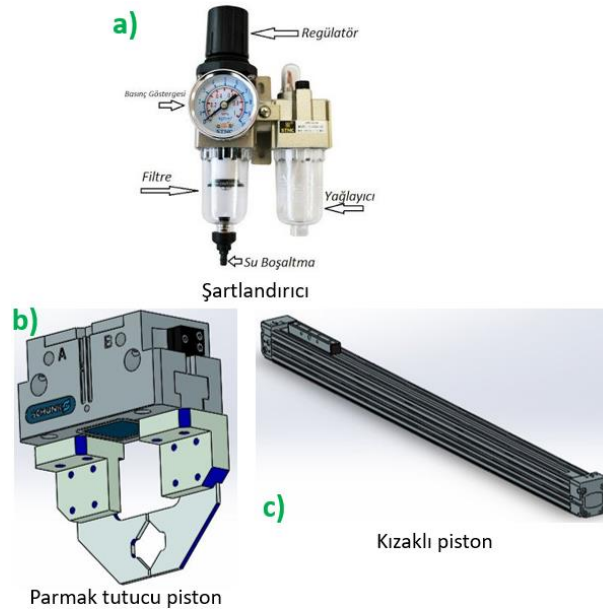
Taşıma robotunun flanşına montajı yapılan gripperın tasarımı Şekil 8’de gösterilen gripper yardımı ile parça kayar tabla üzerinden alınmaktadır. Gripper olarak adlandırılan tutucular plakaya bağlı, plaka ise robotun flanşına bağlanarak sistem hazır hale gelir.



Şekil 8. Gripper sisteminin Solidworks model gösterimi

Müşterinin istediği parçayı uygun şekilde ve istenilen noktalardan tutabilmek için gripper seçimi ve tasarımı değişebilmektedir. Bu tasarımda dört adet standart çift etkili silindir kullanılmıştır (tutucu piston). Tutucuların bağlı olduğu plakalar kızaklı olduğu için X ekseninde, parçanın uzunluğuna bağlı olarak istenilen konuma çekilebilmektedir. Böylece parça istenilen hassas ve ölçüm gerektirmeyen noktalardan tutulup kameraya okutulup sonuç alınabilmektedir. Tasarımda kullanılan standart parçalar Şekil 9’da gösterilmiş olup sistemde; bir adet şartlandırıcı, dört adet çift etkili yüksek sıkma kuvvetine sahip parmak tutucu ve bir adet çift etkili kızaklı piston kullanılmıştır.





**Şekil 9.** Pnömatik ekipmanların; a) Şartlandırıcı (Anonim, 2021b) b) Parmak tutucu Solidworks model (Anonim, 2021c), c) Kızaklı piston Solidworks model gösterimi (Anonim, 2021d)

Bunlardan ilki olan şartlandırıcı, havanın akış yönünden pnömatik sisteme giriş yerinde kullanılan ve havayı sistem içerisinde kullanılacak özelliklere getiren elemanlardır. Tek bir eleman olarak kullanılsa da (regülatör basınç ayarlayıcı, yağlayıcı, filtre, manometre basınç göstergesi) dört farklı pnömatik elemandan meydana gelmiştir. Şartlandırıcının ana görevi havanın içindeki suyu almak, havayı temizlemek, kuru havayı yağlamak ve havanın basıncını ayarlamaktır. Bu işlemlerin tümünü yapan elemana şartlandırıcı denilmektedir. Öte yandan, filtre, regülatör, yağlayıcı olarak adlandırıldığı da görülmektedir. Parmak tutucu ise piston yüzeyine ve hava basıncına bağlı olarak oluşan kuvvet piston kolunun iki yönde hareket etmesini sağlar. Bu şekilde iki yönde iş yapılabilir. Çalışma sırasında piston girişine hava uygulandığında piston kolu tarafındaki hava boşaltılır ya da piston kolu çıkışına hava verildiğinde piston tarafındaki hava tahliye edilir. Ürün parçasına uygun olarak parmak tutucu tasarımı yapılmıştır (Şekil 9b). Parçayı tutma işlemi bu pistonla bağlı parmaklar yardımı ile gerçekleştirilir. Ürünlerin sabitlendiği plakanın, ileri ve geri hareket etmesi ise Şekil 9c’de gösterilen kızaklı piston ile sağlanmıştır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

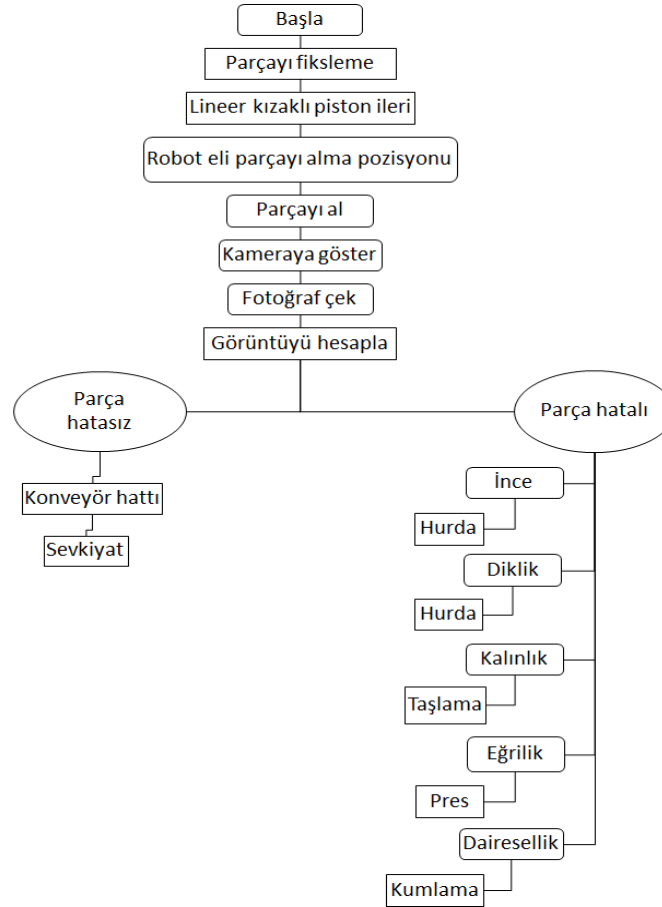
#### 3.1 Robot Destekli Sistemin Kontrolü

PLC, fabrikalarda üretim bölümlerinde ya da makine parçalarının kontrolü gibi iş akış süreçlerinin denetlenmesinde kullanılan otomasyon cihazıdır (Şekil 10). PLC standart bilgisayarlardan farklı olarak birçok giriş ve çıkışa (I/O) sahiptir. Bu cihazlar elektriksel gürültü, sıcaklık farkı ve mekanik darbe durumlarına karşı dayanıklı üretilmektedirler. Bu özellikleri ile olumlu yönde avantaj sunmaktadırlar (Küçükkatay ve ark., 2021).



Şekil 10. PLC örnek görsel (Anonim, 2021e)

Her marka PLC'ler kendilerine özgü bir işletim sistemi bulundurmaktadırlar. Ancak tasarımda kullanılan sistemin kontrolü için müşteri talebi doğrultusunda S7-1200 (Siemens) kullanılmıştır. Sistemde, giriş bilgileri gözle görülmeyecek hız ile taranarak buna uygun çıkış bilgileri gerçek zamana yakın yanıt verecek biçimde işlemektedir. PLC, ürünleri çok düşük hata payı ile kısa sürede ve çok daha verimli olarak üretme konusunda etkindir (Taştan ve ark., 2003). Sistemde kullanılan S7-1200 PLC'nin uygulama modülü Şekil 11'de verilmiştir.



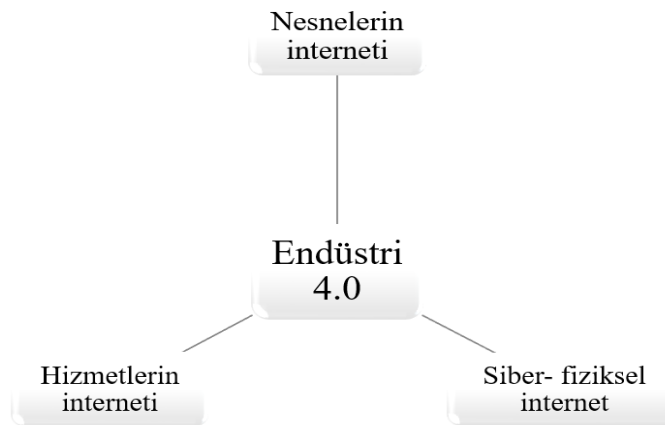
Şekil 11. PLC akış diyagramı

### 3.2 Kamera Destekli Görüntü İşleme

Kamera destekli görüntü işleme uygulamaları, resimlerin incelenmesi ile veriler edinmeye yarayan sistemlerdir. Görüntü işleme, kullanılmak istenen yere ve parçalara bağlı olarak, kolay hesaplamalardan en kompleks algoritmalara kadar farklı matematiksel ifadeler üzerinden çalışır (Ekstrom, 2012). Kamera programının ara yüzü yatay ve dikey olarak iki boyutlu bir düzlemde oluşmaktadır. Yatay ve dikey doğruların birleştiği her bir nokta, çekilen fotoğrafın piksel değerini

ifade etmektedir. Dijital göstergelerde görüntünün alınmasını sağlayan ve kontrolü mümkün olan en küçük birim sistemi piksel olarak adlandırılır. Her birim o noktanın netliği, parlaklığı ve rengi hakkında veri aktarımı sağlamaktadır. Görüntü işleme sistemi, kaydettiği görselin üzerindeki noktaların analizini yaparak yeni bilgiler elde etmektedir. Teknolojinin sürekli ilerlediği düşünüldüğünde ise görüntü işleme için kullanılan kameraların işleme sistemlerine ciddi derecede destek sağladığı bildirilmektedir (Köse, 2005). Üretim süreci, robot, operatör ve makinelere montajlı, görüntü işleme sistemleri ile geliştirilebilir. Kameralar, kullanılmak istenilen yere ve amaca bağlı olarak, çeşitli boyutlarda olduğu göz önüne alınarak, teknik olarak uygulanabilir. Yüksek hassasiyetli endüstri kameraların bütünü hafif ve farklı çeşitleri bulunmaktadır. Akıllı kamera entegre sistemleri, çalışma durumlarını görsel olarak kaydeder, kaydedilen dataları analiz edip, insanlara aktarabilirler. Ürün adedi, hata analizi, havacılık endüstrisinden savunma sanayisine kadar birçok farklı alan da kullanılabilen görüntü işleme sistemleri endüstri 4.0'ın bir parçasıdır (Faheem ve ark., 2018).

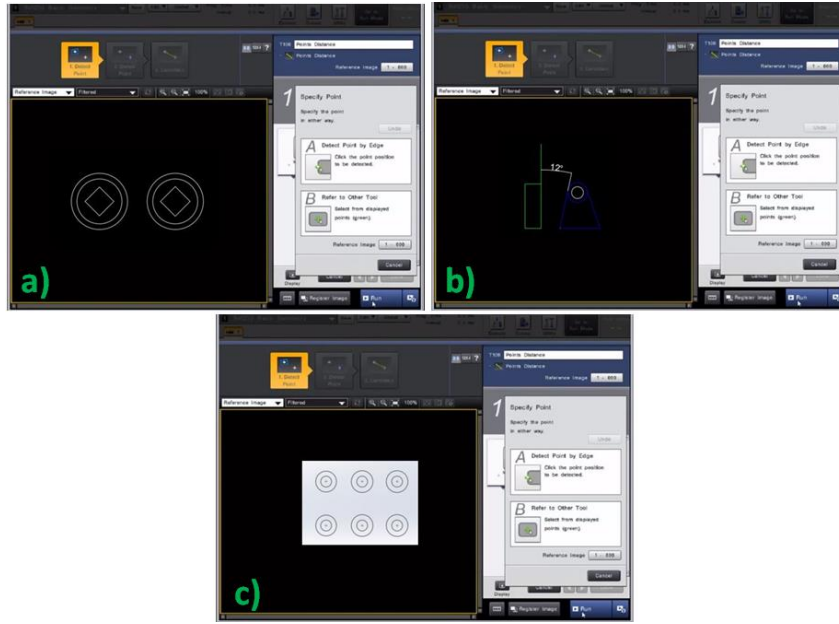
Endüstri 4.0 genel olarak şekil 12'de verilen üç ana yapıdan oluşmaktadır. Bunlar, nesnelerin interneti, siber-fiziksel sistemler ve hizmetlerin internetidir. Bu yapılar ise akıllı fabrikaların gelişiminde ve oluşmasında büyük katkı sağlarlar. Endüstri 4.0 bilişim teknolojileri ile endüstri faaliyetlerini aynı çatıda toplayan endüstri 4.0'ın temel bileşenlerinden birincisi, son sistem yazılım ve donanımdır. Bunlar ise düşük maliyetli, az yer kaplayan, az enerji harcayan, az ısı üreten, ancak bir o kadar da yüksek güvenilirlikte çalışan donanımlardır. İkinci ise, cihaz tabanlı internet olup, tüm cihazların birbiriyle bilgi/veri alışverişi için kullandığı, her türlü araç ve gerece uyarlanmış, sensör ve işleticilerle donatılmış olup, internet bağlantılı akıllı elektronik sistemdir. Bu sistemlerde siber-fiziksel sistemler olarak adlandırılır. Üretim sürecinde siber-fiziksel sistemin kullanılması insan gücünün en aza indirildiği hatta neredeyse kullanılmadığı süreci kendinin yönettiği ve optimize ettiği akıllı fabrikalar olarak karşımıza çıkmaktadır. Bütün bu olgular ışığında endüstri 4.0 stratejisi amacına uygun gerçekleşirse maliyetler, üretim süresi için ve üretim sürecinde gereksinim duyulan enerji sarfiyatını azaltarak ürün miktarını ve kaliteyi artıracaktır (Bağcı, 2018; Soylu, 2018).



Şekil 12. Endüstri 4.0'ın üç ana yapısı

Kamera destekli kalite kontrol için, müşterinin talep ettiği parçanın ölçü toleransları doğru bir şekilde kamera programına girilip tanıtılmalıdır. Her parçanın şekline, yapısına göre ölçü tolerans değerleri değişmektedir. Örneğin Şekil 13'te farklı boyutlarda ölçüm için dairesel, eğik vb. parçaların ölçü toleransların verildiği ve sonuç alındığı ara yüz gösterilmektedir. Parça değişimi yapılmak istendiğinde, yeni parçanın değerlerinin kamera programına tekrardan girilmesi gerekmektedir. Kamera destekli ölçüm yöntemi her türlü karmaşık yapıdaki parçaların ölçümünü çok daha basit hale

indirgemektedir. Bu nedenle endüstri alanında bu sistemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Kamera programında dairesel parçaların çapını, eğik olan parçaların % kaç eğimde olduğunun yapay görme sistemi ara yüzü CV-X Machine Vision System cihazı ile ölçülür.



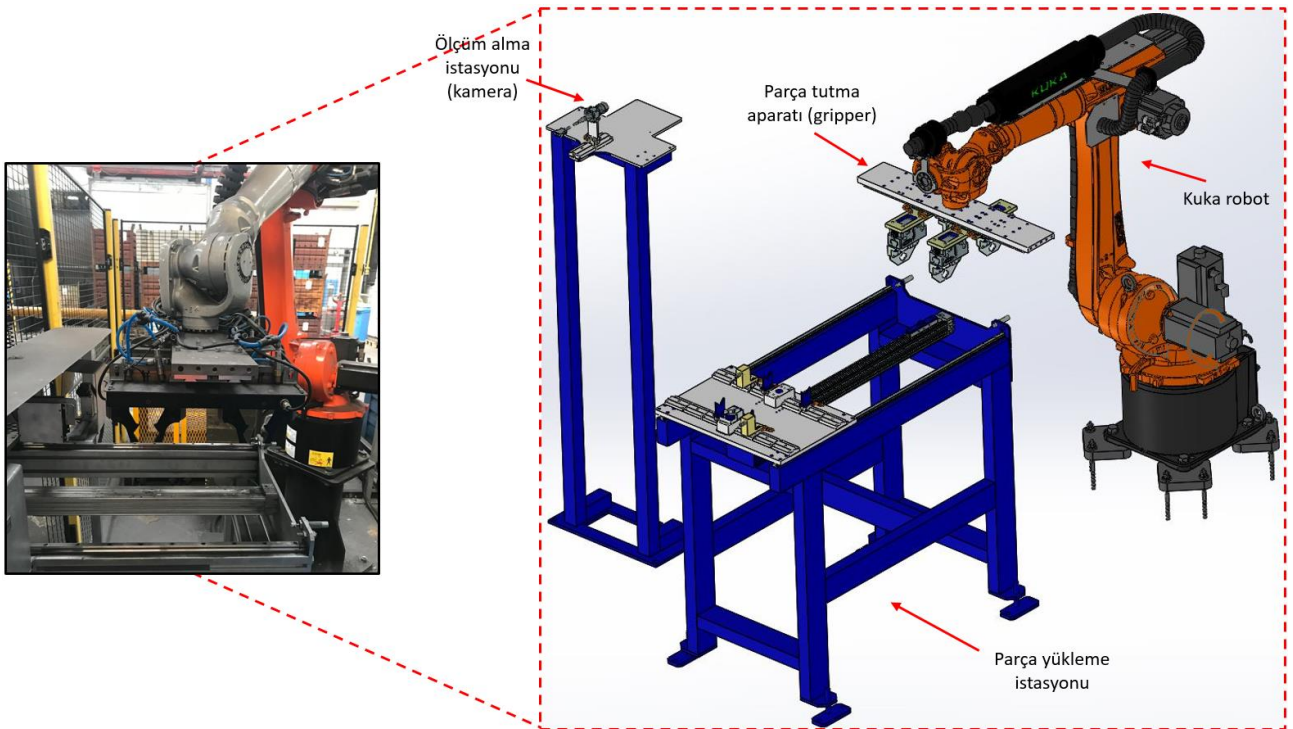
**Şekil 13.** Yapay görme sistemi ara yüzü; a) Dairesel parçaların ölçümü, b) Kompleks parçalar için eğim ölçümü, c) Dairesel parçanın programa tanıtılması

Otomotiv, kamyon ve traktör vb. fabrikaların ihtiyaçları doğrultusunda, kendi bünyelerine kamera destekli ölçüm sisteminin kurulması için en önemli hususların başında ilk önce kullanım amacı, kalite, zaman, süreklilik ve verim gibi beklentilerin karşılanması amaçlanmalıdır. Ölçülmek istenen parçaya uygun, yeni istasyonun tasarımının verimli kullanımı için olması gereken şartlar tespit edilmelidir. Oluşturulmak istenen üretim istasyonunun hareketleri ve komutları sadeleştirilip, daha anlaşılabilir bir hale getirilmelidir. Hattın döngü sürecinde ürünü aldıktan ve gerekli işlemleri yaptıktan sonra çıkan ürünler kontrol sonrasında, kabul (OK) ya da ret (NG (not good)) durumuna göre tasnif edilmelidir. İhtiyaca göre oluşturulmak istenen risk-hat (insan ve makine sağlığı) analizi göz önüne alınmalıdır. Örnek olarak Şekil 4, Şekil 6 ve Şekil 8'deki istasyonların parçaları Solidworks ortamında bir araya getirilmesi ile tasarım oluşturulmuş, imalatı ve montajı yapılmıştır. Birçok kompleks parçaların fiziksel bütünleştirmelerinin sağlanmasının ardından PLC programının algoritması ile birlikte yazılımı oluşturulmuştur (Şekil 11). PLC sistemi eğitim setindeki tüm komutların yönetildiği mekanik, elektrik, pnömatik komutların verildiği bir yazılım olması nedeni ile amaca uygun olarak kullanılmıştır (Kurtulan, 2005).

Kamera destekli kalite kontrol sistemleri, otomotiv sanayisinden uzay sanayisine, tekstilden kimyaya, tüm alanlarda ürünün kontrolü sürecinde görüntü işleme yöntemlerinin yardımı ile etkin bir şekilde kullanım alanına sahiptir (Deniz ve Cakir, 2018). Kontrol sürecindeki ürünün insan gözünün algılayamayacağı boyut ya da hızdaki hataları bile kısa sürede tespit ederek insan ve iş gücü olarak üretime olumlu yönde katkı sağlamaktadır. Bu bulgular sonucunda yapılan mekanik, elektrik ve pnömatik testler ile denenerek sürekliliği kontrol edilerek uygunluğu araştırılmalıdır. Görüntü işleme ile kalite kontrol, günümüzdeki endüstri uygulamalarına daha fazla yarar sağlaması düşünülen kısım ve bölümler incelenmelidir. Örnek olarak Şekil 4, Şekil 6 ve Şekil 8'deki istasyonların tasarımı yapılırken bu kriterler göz önünde bulundurulmuştur.

### 3.3 Proses Hattı

Proses, diğer bir ifade ile süreç olarak da adlandırılmakta olup olayların ya da iş akışının beklenen sonuca ulaşabilmesi için bir taslağa uygun şekilde düzenlenmesi işlemidir. Bir uygulamanın gerçekleşmesi için ardı sıra oluşan işlemler dizisi ya da eylemler dizisi olarak da tanımlanabilir. Kalite kontrol hattı sistemi ise bu eylemler dizisinin bütünüdür. Bu tasarımı gerçekleştirilen proseste (Şekil 14) operatör, ölçüm yapılmak istenen parçaları manuel (el yardımı ile) parça yükleme istasyonunun üzerindeki, lineer pistona bağlı plakanın üzerindeki master kalıbına bırakıp işlemin başlaması için onay verdikten sonra, plaka piston yardımıyla ileri konumuna gitmektedir. Robot, plakanın üzerindeki parçaları, robotun flanşına bağlı gripper yardımıyla alıp, ölçüm alma istasyonuna montajı yapılan kameraya belirli açı ve hız da göstermektedir. Kamera programı ise, müşterinin istediği ölçü toleranslarına göre, Şekil 5’de verilen belirli süzgeçlerden geçirilip analiz yapıldıktan sonra doğru ve hatalı parça olduğu sinyali PLC’ye gönderir. PLC ise gelen sinyali robota iletir ve robot da parçanın hatasına göre istenilen kutuya bırakıp döngüye devam etmektedir ve işlem süresi bu şekilde minimuma indirgenmiş olur. Bu çalışmada uygulanan örnek tasarımın bütün hali Şekil 14’teki görselde verilmiştir.



Şekil 14. Proses hattının gerçek ve solidworks tasarımının nihai halinin gösterimi

## 4. SONUÇ

Bu çalışmada, birçok otomobil firmasının ürettiği parçaların kalite kontrolü sırasında kamera desteğinden faydalanarak firmalara etkin bir şekilde katkı sağlaması öngörülmüştür. Kamera ile ölçüm sistemlerinin kullanımıyla üretimin baştan sona incelenmesi, çevrim süresinin en aza indirgenmesi, verim sağlamayan süreçlerin kaldırılması ve yerleşim düzeni iyileştirilmeleri hedef alınarak en etkin şekilde verimlilik artışı sağlanması amaçlanmıştır. Tüm sektörler (imalat) için bir değişim söz konusu olduğunda hizmet verilen işletmenin kendi pazarındaki güncel tüm ihtiyaçları, gereksinimleri, modernlikleri ele alınarak bu değişimi başlatmak, alanı küresel bir pazarın içindeyse tek başına yeterli olmayacaktır. Bu durumda yapılması gereken teknolojik gelişmeleri yakından takip

edip her gün gelişen endüstri teknolojilerini iyi analiz ederek üretim ve sonraki süreçlerine yansıttığı değer ve avantajlarını belirlemek faydalı olacaktır. Gelişen teknolojiyi takip etmezsek rakiplerimiz günden güne daha fazla gelişecek ve bulunduğumuz endüstri içinde devrim dahi yapabileceklerdir. Dolayısı ile içinde bulunulan endüstri sürekli gelişen teknolojinin üretim ve diğer birçok fonksiyonuna etki ettiği bir endüstri olduğundan, kamera destekli kalite kontrol ve ölçüm teknolojisi her açısından işletmeye avantaj sağlayacak türdendir.

Teknolojinin yakın takibinin uygulanabilmesi açısından ise ekip çalışması büyük önem arz etmektedir. Firmanın/kurumun kalifiye eleman seçimi, değişikliğe adaptasyon sürecini iyi yönetecek ekiple çalışması üretim sürecinde etkili olacaktır. İlgili eğitimleri tamamlanmış fikirleri ile üretime katkı sağlayacak personellerin katkısı teknoloji ile birleştiğinde çok daha verimli sonuçlar alınacaktır. Montaj hatlarında bu ve buna benzer çalışmalar ile daha da iyileştirilebilir ve bilimsel anlamda gerek yalın üretimin gerekse kamera ile ölçüm montaj hatlarının üretim alanındaki fayda ve yararlılıklarını ortaya çıkarabilir.

Üretim düzeylerini korurken ya da arttırırken, malzeme ve işçilik israfını asgariye indirmek için kullanılan ve bu çalışmada da konusu geçen türevlerin etkin bir şekilde kullanılması ile verimlilikte artış gözlemlenebilecektir. Firmaların verimlilik sağlama koşullarına verdikleri önem her geçen gün artmakta ve imalat endüstrisinde şimdiye dek olduğundan daha önemli olmaktadır. Sonuç olarak, gelişen teknolojinin yakından takip edilmesi en önemli konulardan biri olup, üretim sürecine hız kazandırabilecek robot ve kamera ile desteklenmesi, firmanın hata payını en aza indirgeyip seri üretimde hız kazanması, üretkenlikte net ve kaliteli bir iyileşme sağlamasıyla süreci daha verimli hale getirecektir. Bu çalışmada bahsi geçen verimlilik artışı ürünün kalite kontrolü manuel olarak yapıldığı zaman geçen süre cycle (döngü-çevrim) 4.3 dakikadır. Manuel kontrollün robot, kamera, göz kontrolü ile karşılaştırıldığı zaman, robotun çevrim süresi 1.7 dakikadır. Aralarındaki zaman farkı %60.46 düşüş sağlayarak çevrim süresinin azaldığı görülmektedir. Kamera ile manuel kontrol karşılaştırıldığında ise %65.11'lik bir düşüş görülmektedir. En az süre ile iş parçası kontrolü kamera ile elde edilirken en fazla sürede imal edilen parça süresi manuel olmaktadır. Göz kontrol ile manuel kontrol arasındaki zaman kazancı 0.79 dakika olup %18.60 verim artışı gözlenmektedir.

## 5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## 6. YAZAR KATKISI

Yakup KOÇ ve Derviş ÖZKAN çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirsel içeriğin eleştirel incelenmesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarında katkı sağlamışlardır.

## 7. KAYNAKLAR

Anonim, 2021a. Kuka, <https://www.kuka.com/tr-tr/%C3%BCr%C3%BCnler-hizmetler/robot-sistemleri/end%C3%BCstriyel-robot/kr-z/> (Erişim Tarihi: 27.06.2021).

Anonim, 2021b. Serkanhoca, <https://www.serkanhoca.org/2018/01/fry-sartlandrc-hava-hazrlayc.html/> (Erişim Tarihi: 27.06.2021).

- Anonim, 2021c. Schunk, [https://schunk.com/tr\\_en/homepage/](https://schunk.com/tr_en/homepage/) (Erişim Tarihi: 27.06.2021).
- Anonim, 2021d. Festo, [https://www.festo.com/cat/tr\\_tr/products/](https://www.festo.com/cat/tr_tr/products/) (Erişim Tarihi: 27.06.2021).
- Anonim, 2021e. Robotistan, <https://maker.robotistan.com/plc-nedir-plc-programlama-teknikleri-ve-ozellikleri/> (Erişim Tarihi: 27.06.2021).
- Bağcı E., Endüstri 4.0: Yeni üretim tarzını anlamak, Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Elektronik Dergisi 9 (24), 122-146, 2018.
- Bone G. M., Capson D., Vision-guided fixtureless assembly of automotive components. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 19(1-2), 79-87, 2003.
- Deniz C., Cakir M., In-line stereo-camera assisted robotic spot-welding quality control system. Industrial Robot 45 (1), 54-63, 2018.
- Ege G. K., Kesen U., Yüce H., Genç G., FR4 ve FR2 Baskı Devre Kartlarının Mikroşerit Anten Uygulamasında Tasarımı ve Simülasyonu. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM) 2 (1), 51-59, 2021.
- Ekstrom M. P., Digital image processing techniques. Academic Press, Second Edition, 2, 372, 2012.
- Faheem M., Shah S. B. H., Butt R. A., Raza B., Anwar M., Ashraf, M. W., Gungor, V. C., Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges. Computer Science Review 30, 1-30, 2018.
- Fırat O. Z., Fırat S. Ü., Endüstri 4.0 yolculuğunda trendler ve robotlar. İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi Dergisi 46 (2), 211-223, 2017.
- Gökçen H., Ağpak K., Benzer R., Balancing of parallel assembly lines. International Journal of Production Economics 103 (2), 600-609, 2006.
- Köse F., Dişli çark hatalarının görüntü işleme yöntemleri ile ölçümü. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans (Basılmış), 2005.
- Küçükataç O., Köse E., Yıldız Z., PLC Kontrollü Kurutucu Konveyör Tasarımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi 36 (1), 249-260, 2021.
- Kurt D., Bozoklu Ü., Robot Ekonomisinin Yükselişi. Sosyal Bilimler Metinleri 1, 25-47, 2019.
- Kurtulan S., PLC ile endüstriyel otomasyon. Birsen Yayınevi, 3. Baskı, 1, İstanbul, 2003.
- Li Z., Kucukkoc I., Tang Q., Enhanced branch-bound-remember and iterative beam search algorithms for type II assembly line balancing problem. Computers & Operations Research 131, 2-9, 2021.
- Manesis S., Nikolakopoulos G., Introduction to Industrial Automation, First edition, CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2018.
- Sága M., Bulej V., Čuboňova N., Kuric I., Virgala I., Eberth M., Case study: Performance analysis and development of robotized screwing application with integrated vision sensing system for automotive industry. International Journal of Advanced Robotic Systems, 17 (3), 1-23, 2020.
- Soylu A., Endüstri 4.0 ve girişimcilikte yeni yaklaşımlar. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi 32, 43-57, 2018.
- Taştan M., Aluçoğlu A., Programlanabilir lojik denetleyici ile deneysel endüstriyel sistemin kontrolü. Elektrik Mühendisleri Odası 67-74, 2003.

Turan H., Japon Yalın Üretim Yönetim Modelinin Türk Üretim Sektöründe Uygulanabilirliğinin İncelenmesi: Otomotiv Sektöründe bir Uygulama. Uluslararası Yönetim İktisat ve İşletme Dergisi 14 (2), 451-459, 2018.

Wilson L., How to implement lean manufacturing, The McGraw-Hill Education, New York, 2010.



Araştırma Makalesi / Research Article

Simpleks Pabuçlu Kampanada Fren Ebatı Değişiminin Fren Faktörü Üzerine Etkisi

Mustafa Ceyhun ERKOCA<sup>1\*</sup>, Hüseyin BAYRAKÇEKEN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Kütahya, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3571-1606>, ceyhun.erkoca@dpu.edu.tr

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1572-4859>, bceken@aku.edu.tr

Geliş/ Received: 16.07.2021;

Kabul / Accepted: 04.09.2021

**ÖZET:** Fren faktörü balatanın uyguladığı çevresel kuvvetin frenleme kuvvetine oranıdır. Fren sisteminin kampanalı ya da diskli olmasına veya taşıt boyutuna göre değişen fren faktörü; herhangi bir fren basıncı için öngörülen frenleme momenti, frenleme ivmesi, durma mesafesi ve balata sürtünme katsayısını belirlediğinden frenleme performansının bir göstergesidir. Diskli frenlerin fren faktörü kampanalı frenlerinkinden daha küçüktür. Kampanalı frenlerde fren faktörü aynı zamanda kampananın sıcaklık etkisiyle genişmesi nedeniyle de ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada paralel kayar mesnetli Simpleks pabuçlu kampanalı bir frenin mesnet noktası önce yatay ve düşey eksenlere göre değiştirilmiş sonrasında ise fren kuvvetinin uygulama noktası düşey eksene göre değiştirilerek buna bağlı olarak fren faktöründeki değişimler incelenmiştir. Bunun için Matlab/Simulink programı kullanılarak bir sistem kurulmuş ve değerler değiştirilerek programa hesaplatılmıştır. Mesnet noktasının hem yatay hem de düşey ekseninde merkeze yaklaştırılması ile fren faktörünün arttığı görülmüştür. Fren kuvvetinin uygulama noktasının merkezden uzaklaştırılması da fren faktörünü artırmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Fren faktörü, Kampanalı frenler, Simpleks pabuç.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: ceyhun.erkoca@dpu.edu.tr

Bu makaleye atıf yapmak için / To cite this article

Erkoca, M. C., Bayrakçeken, H. (2021). Simpleks Pabuçlu Kampanada Fren Ebatı Değişiminin Fren Faktörü Üzerine Etkisi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 127-140.

## The Effect on Brake Factor of Brake Dimension Variation of Leading-Trailing Shoe Brake

**ABSTRACT:** The brake factor is the ratio of the peripheral force applied by the pad to the braking force. The braking factor, which varies depending on the brake system either drums or discs or the vehicle size, is an indicator of braking performance as it determines the braking torque, braking acceleration, braking distance and pad friction coefficient for any brake pressure. The brake factor of disc brakes is smaller than that of drum brakes. In drum brakes, the braking factor also arises due to the expansion of the drum under the influence of temperature. In this study, the abutment of a leading-trailing shoe with parallel sliding abutment was initially changed according to the horizontal and vertical axes and then the application point of the brake force was also changed according to the vertical axis and the changes in the brake factor were investigated. For this research, a system was established using Matlab/Simulink program and the values were changed and calculated in the program. It has been observed that the brake factor increases by bringing the abutment closer to the center on both the horizontal and vertical axis. Retreating the application point of the braking force also increased the brake factor.

**Keywords:** Brake factor, Drum brakes, Leading-Trailing shoe.

### 1. GİRİŞ

Günümüzün vazgeçilmez ulaşım araçlarından biri olan taşıtların seyir halindeyken yavaşlaması, kinetik enerjisini (yokuş aşağı inişlerde) kontrol ederek belirli hızlarda seyretmesi, durması ya da durduğu zaman sabitlenmesi gerekmektedir. En önemli güvenlik sistemlerinden biri olan taşıt fren sistemlerinden de bu temel fonksiyonları yerine getirmesi beklenir (Altıparmak, 2004). Taşıtların yavaşlamasını, durmasını ya da duran bir taşıtın sabit tutulmasını sağlamak için kampanalı veya diskli fren sistemleri kullanılmaktadır. Yüksek soğutma kapasitesi ve fren momenti değişimlerinden daha az etkilenmesi nedeni ile her ne kadar günümüzde çoğunlukla diskli frenler kullanılsa da özellikle yüksek fren faktörü nedeniyle ağır vasıtalarda kampanalı fren sistemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Taşıt güvenliğini etkileyen en önemli karakteristiklerden olması nedeniyle frenleme performansını artırmak için daha etkili fren sistemleri geliştirilme çabaları son yıllarda artmıştır (Çetinkaya, 2013). Fren sistemi ve elemanları ile ilgili çok sayıda çalışma yapılmış olup birkaçı örnek olarak aşağıda sunulmuştur.

Mutlu ve arkadaşları, fren balatasında kullanılan ve insan sağlığına zararlı olmakla birlikte çevre kirliliği de yaratan asbest yerine cam elyaf, taş yünü ve kevlar kullanarak, balatanın basınç altındaki performansını incelemiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda balatada asbest yerine cam elyaf, taş yünü ve kevların kullanılabilirliğini göstermişlerdir (Mutlu ve ark., 2006).

Erdem ve Altıparmak, fren disk sıcaklığındaki artışın frenleme performansına etkisini durma mesafesi testi yaparak incelemiştir. Hafif ticari taşıtta gerçekleştirilen testlerde fren disklerindeki sıcaklık artışının durma mesafesini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Bu nedenle servis frenlerini sürekli kullanmak yerine yavaşlatıcı (retarder) kullanılmasının bu olumsuzluğu gidereceğini belirtmişlerdir (Erdem ve Altıparmak, 2014).

Öz ve arkadaşları fren diskine plazma sprey tekniği ile  $Cr_2O_3$  kaplayarak frenleme performansını incelemiştir. Hafif ticari araç üzerinde yaptıkları deneylerde tüm frenleme evrelerinde her iki diskin birbirine yakın ısındığını, orijinal diskin sürtünme katsayısının kaplanmış diske oranla daha yüksek olduğunu bununla birlikte kaplanmış diskin dış yüzeyinin ve balatasının

test sonucunda hasar gördüğü ve orijinal diskteki korozyon miktarının daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir (Öz ve ark., 2019).

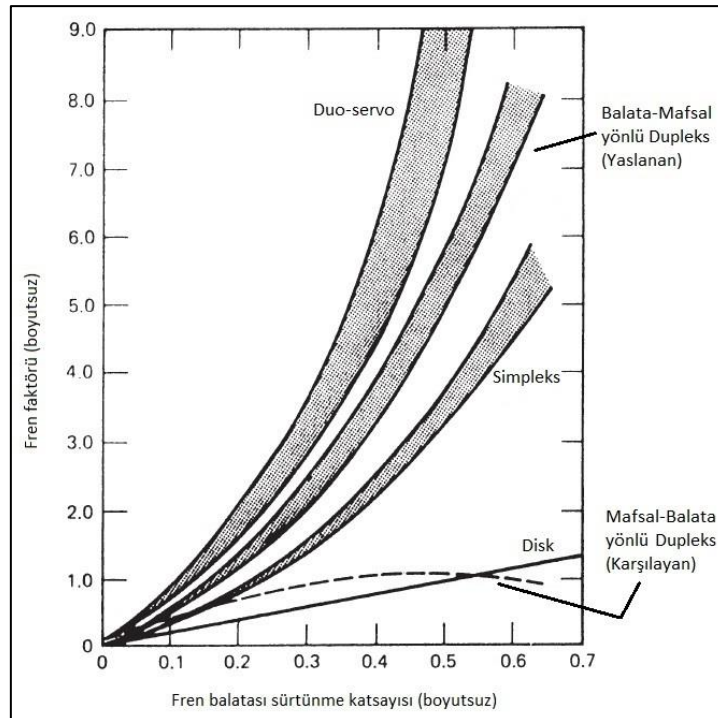
Sugözü, fren balatalarında kullanılan bakırın frenleme performansına etkisini %5, %10 ve %15 oranlarında bakır ilave ettiği üç farklı fren balatası üreterek incelemiştir. Çalışmanın sonunda bakır miktarı arttıkça sürtünme katsayısının arttığını, bakır miktarı azaldıkça aşınma direncinin azaldığını görmüştür. Bakır miktarındaki artışa paralel olarak balataların yoğunluk ve sertlik değerleri de artmıştır. %10 ve %15 bakır içeren balataların endüstriyel uygulamaya uygun olduğunu tespit etmiştir (Sugözü, 2019).

Çavdar ve Bayrakçeken sürüş güvenliğinin önemli bir aktörü olan frenleme yardımcı sistemlerini incelemiştir. Yaptıkları çalışmada ABS (Antilock Brake System), EBD (Electronic Brake Distribution), Acil fren destek sistemi, TCS (Traction Control System), ESP (Electronic Stability Programme), akıllı hız kontrol sistemi gibi aktif güvenlik sistemlerinin sürücü ve yolcu güvenliğini artırdığını ve güvenli sürüş sağladığını belirtmişlerdir (Çavdar ve Bayrakçeken, 2006).

Güney ve Mutlu, frenleme performansını değerlendirmek için oluşturulan fren test standartlarını incelemiştir. Değişik araç gruplarının frenleme performansını belirlemek için geliştirilen test standartları ataletli dinamometre veya taşıt üzerinde uygulanmaktadır. Yaptıkları çalışma sonucunda disk, kampana ve balata malzemelerinin frenleme performanslarının bu prosedürler ile belirlenmesinin otomotiv sektöründeki önemini vurgulamışlardır (Güney ve Mutlu, 2015).

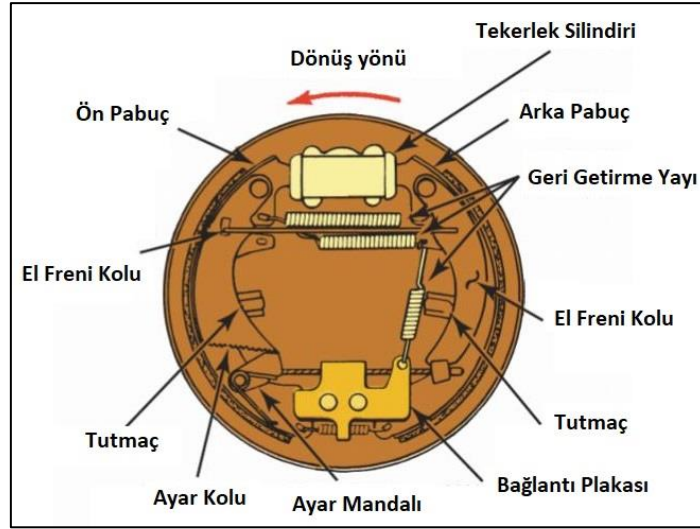
Herhangi bir fren basıncı için öngörülen frenleme momenti, frenleme ivmesi, durma mesafesi ve balata sürtünme katsayısını belirlediğinden fren faktörü, frenleme performansının bir göstergesidir. Fren faktörü, balatanın uyguladığı çevresel kuvvetin frenleme kuvvetine oranıdır.

Balatanın uyguladığı çevresel kuvvet kampana ya da diskin sürtünme kuvveti olan  $F_d$ 'dir (Limpert, 2011). Frenleme kuvveti ( $F_a$ ) ise aracı durdurmak ya da hızını azaltmak için uygulanan, araç tekerleklerinin hareketine zıt olan kuvvettir (Bayrakçeken ve Altıparmak, 2005). Şekil 1.'de fren faktörlerinin karşılaştırılması yer almaktadır.



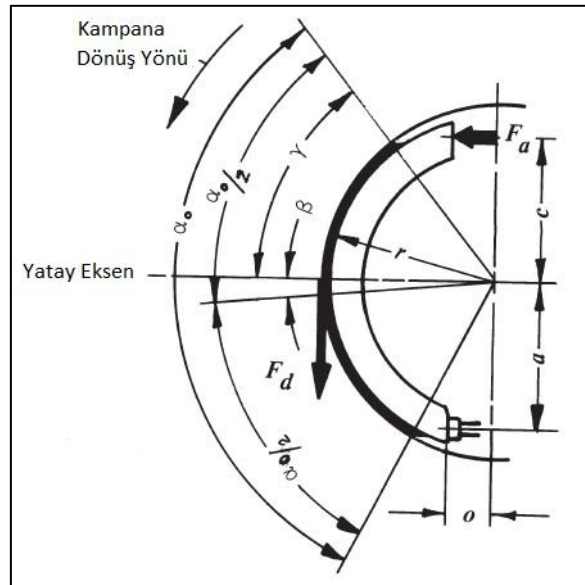
Şekil 1. Fren faktörü karşılaştırması (Limpert,2011; Gökten ve ark., 1995; Anonim, 2020)

Simpleks kampana Şekil 2’de görüldüğü gibi iki pistonlu bir silindire ve ileri geri hareketlerde açılıp kapanan fren pabucuna sahiptir (Staudt, 2000).



Şekil 2. Simpleks pabuçlu kampana (Anonim, 2021)

Pabucun ucuna  $F_a$  frenleme kuvveti uygulandığında, pabuç kampanaya doğru itilir. Kampananın saat yönünün tersine dönmesi, bir  $F_d$  sürtünme kuvveti oluşturur (Şekil 3). Kampana sürtünmesinin fren pabucunu, kampanaya karşı iten pabucun normal kuvvetini artıracak şekilde döndürdüğünü ortaya koymaktadır. Kampana sürtünmesinde ilave bir artışa neden olan bu artan normal kuvvet, frenin kendi kendine enerji veren etkisidir. Kendinden enerji veren pabuca ön pabuç denir (Limpert, 2011).



Şekil 3. Paralel kayar mesnetli ön pabuç (Limpert, 2011)

Yapılan çalışmada fren ebadında yapılan değişiklikler ile fren faktörünün ne şekilde değiştiği simüle edilerek literatüre farklı bir yaklaşım kazandırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada paralel kayar mesnetli Simpleks pabuçlu bir frenin mesnet noktası düşey ve yatay eksenlere göre 2'şer mm'lik aralıklarla 8'er mm artırılıp, azaltılarak 16 mm'lik bir genişlikte değiştirilerek fren faktöründeki değişim incelenmiştir. Aynı şekilde frenleme kuvveti etki noktası da 2'şer mm'lik aralıklarla 8'er mm artırılıp, azaltılarak 16 mm'lik bir genişlikte değiştirilerek fren faktörüne etkisi incelenmiştir. Öncelikle SUV (Sport Utility Vehicle) bir taşıtta kullanılan Simpleks pabuçlu kampana ölçülerine göre kampananın fren faktörü hesaplanmış daha sonra Matlab/Simulink R2019 programında bir sistem kurulmuş ve değerler değiştirilerek ön pabuç fren faktörü, arka pabuç fren faktörü ve toplam fren faktörü programa hesaplatılmıştır. SUV araç tercih edilmesinin nedeni jant ve tekerlek çapının büyük olması nedeniyle kampana geometrisi bozulmadan daha geniş bir aralıkta ebat değişimi yapılabilmesidir.

Fren faktörü hesaplamasında kullanılan balata/kampana sürtünme katsayısı haricinde 5 adet büyüklük mevcuttur. Ön pabuç ve arka pabuç fren faktörü hesaplaması yapılırken önce bu 5 değer hesaplanmalıdır (Eşitlik 4-8). Fakat bu 5 değerın hesaplanması eşitliklerin uzun olmasından dolayı zaman almaktadır. Üstelik sadece bir değerın değişmesi bile bu 5 büyüklüğün tekrar hesaplanarak ilgili eşitliklerde yerine konulmasını gerektirmektedir (Eşitlik 2, 3). İşlem doğruluğu ve zaman kazanımı gibi nedenlerden dolayı Matlab/Simulink R2019 ortamında bir sistem kurulmuş ve fren faktörü değerleri programa hesaplatılmıştır.

Hesaplama için kullanılan eşitlikler;

Fren faktörü BF;

$$BF = BF_1 + BF_2 = F_{d1}/F_a + F_{d2}/F_a \quad (1)$$

Ön pabuç fren faktörü BF<sub>1</sub>;

$$BF_1 = F_{d1}/F_a = [(\mu_L D_B + \mu_L^2 E_B)/(F_B - \mu_L G_B + \mu_L^2 H_B)]_1 \quad (2)$$

Arka pabuç fren faktörü BF<sub>2</sub>;

$$BF_2 = F_{d2}/F_a = [(\mu_L D_B - \mu_L^2 E_B)/(F_B + \mu_L G_B + \mu_L^2 H_B)]_2 \quad (3)$$

$$D_B = [c/r + a/r + \mu_s(o/r)]\cos\beta + \mu_s(c/r)\sin\beta \quad (4)$$

$$E_B = \mu_s(c/r)\cos\beta - [c/r + a/r + \mu_s(o/r)]\sin\beta \quad (5)$$

$$F_B = \frac{\hat{\alpha}_0 + \sin\alpha_0}{4\sin(\alpha_0/2)} [a/r + \mu_s(o/r)] \quad (6)$$

$$G_B = \cos\beta + \mu_s\sin\beta \quad (7)$$

$$H_B = F_B - (\mu_s\cos\beta - \sin\beta) \quad (8)$$

Örnek SUV taşıttın fren ebatları;

$$\mu_L = 0.4$$

$$\mu_s = 0.2$$

$$a = 98.298 \text{ mm}$$

$$c = 115.57 \text{ mm}$$

$$o = 27.686 \text{ mm}$$

$$r = 147.828 \text{ mm}$$

$$\alpha_0 = 108^\circ$$

$$\beta = 0^\circ$$

$$\gamma = 54^\circ$$

Örnek taşıtın PC-BRAKE Factor yazılımı ve Matlab/Simulink R2019 programında elde edilen değerleri Çizelge 1’de yer almaktadır.

**Çizelge 1.** PC-BRAKE Factor ve Matlab/Simulink R2019’da elde edilen fren faktörü değerleri

Fren Faktörü	PC-Brake Factor	Matlab/Simulink R2019
BF <sub>1</sub>	2.19	2.19
BF <sub>2</sub>	0.53	0.53
BF	2.72	2.72

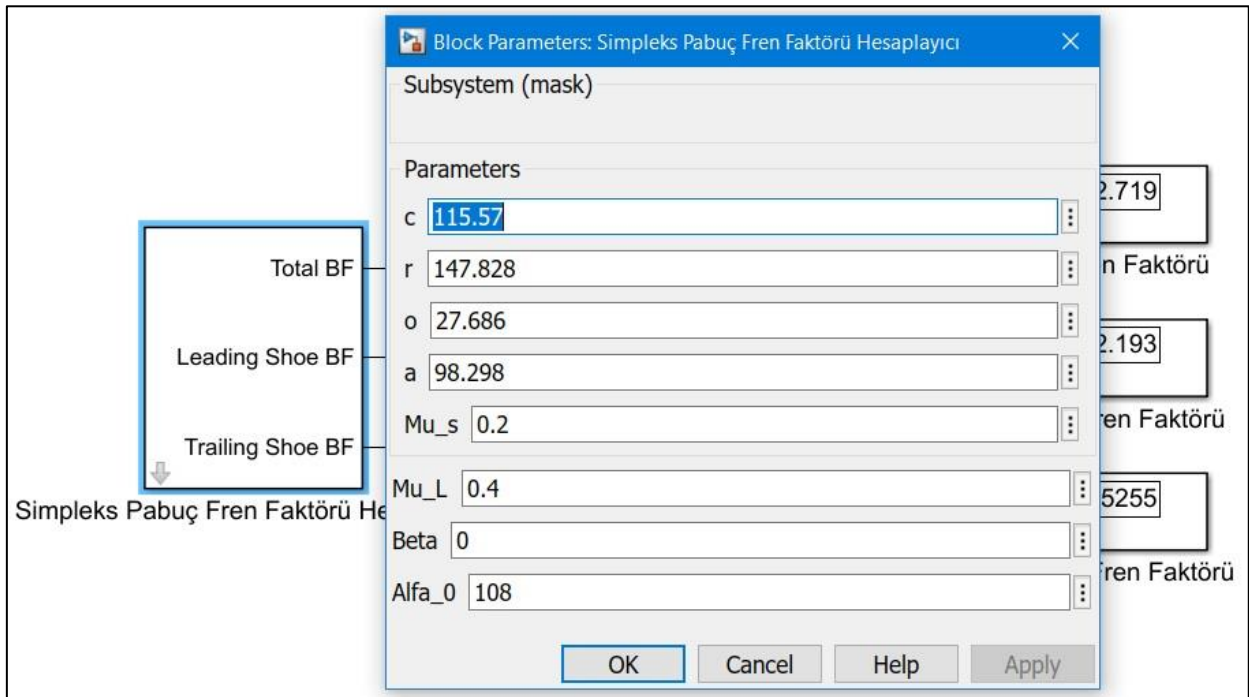
Çizelge 1’den görüleceği üzere kurulan Matlab/Simulink R2019 sisteminde aynı değerler elde edilmiştir. Sonrasında ise mesnet noktası yatay ve düşey eksene göre değiştirilerek fren faktörüne etkisi incelenmiştir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Matlab/Simulink R2019 Programında Kurulan Sistem

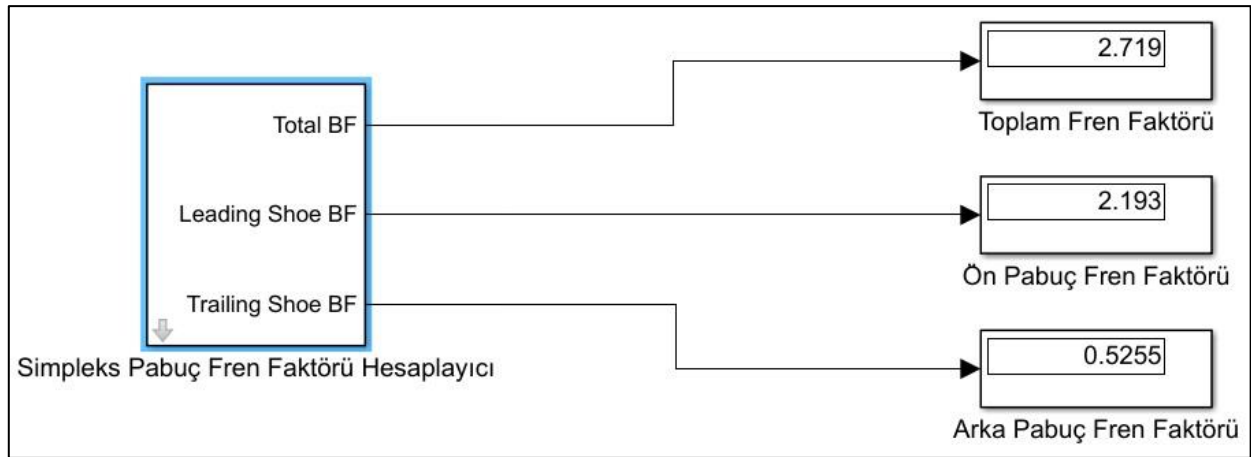
Matlab/Simulink R2019 programında kurulan sistemde önemli 3 ekran bulunmaktadır. Bunlar, veri giriş ekranı, sonuç ekranı ve subsystem diyagramıdır.

Veri giriş ekranı (Şekil 4), fren sistemine ait fren faktörü hesabında kullanılan değerlerin girildiği ekrandır. Bu ekranda fren ebatları programa girilir.



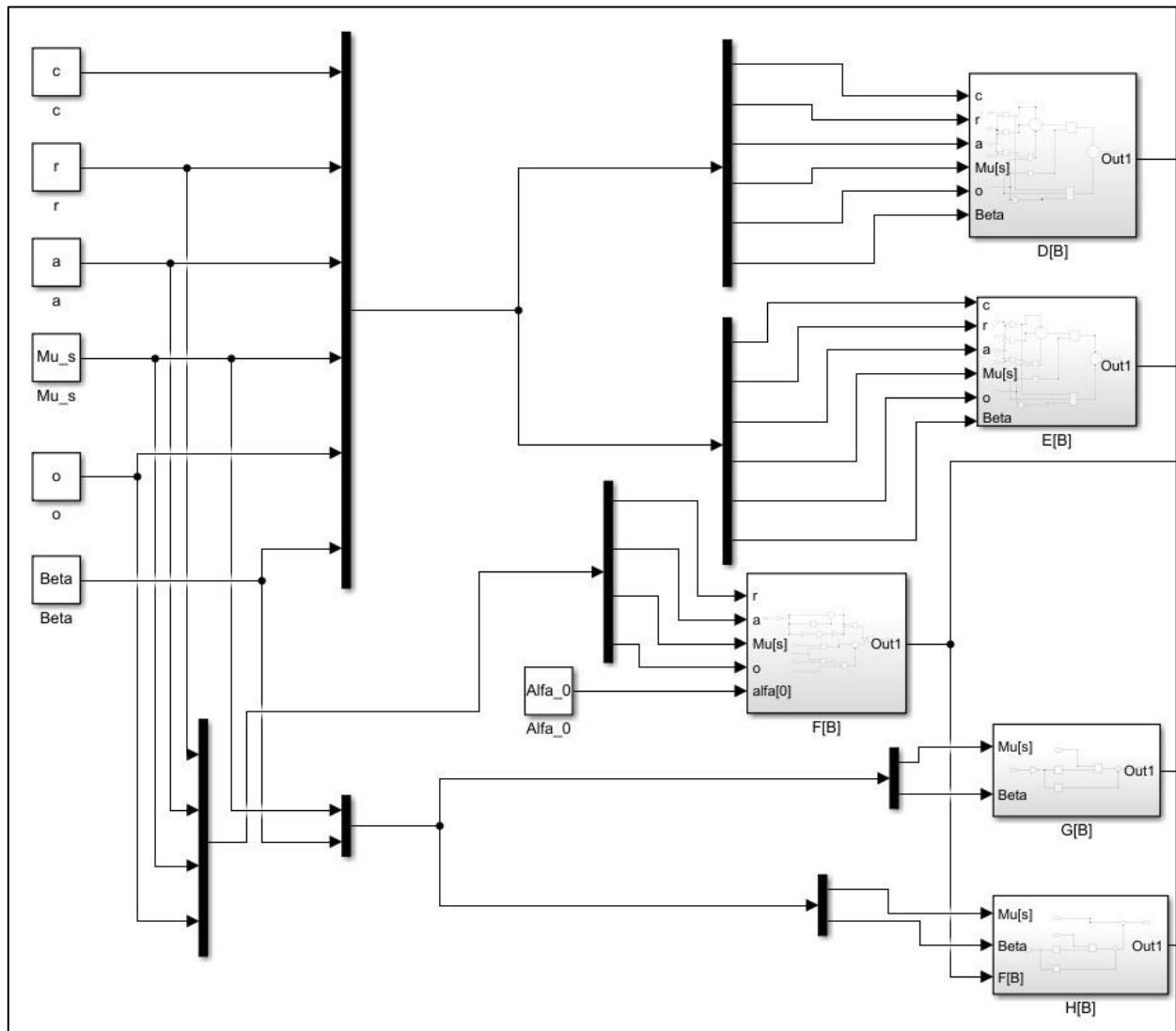
**Şekil 4.** Matlab/Simulink R2019 veri giriş ekranı

Sonuç ekranı (Şekil 5), 3 temel sonucu gösteren ekrandır. Burada; hesaplanan ön pabuç fren faktörü, arka pabuç fren faktörü ve toplam fren faktörü değerleri görülmektedir.

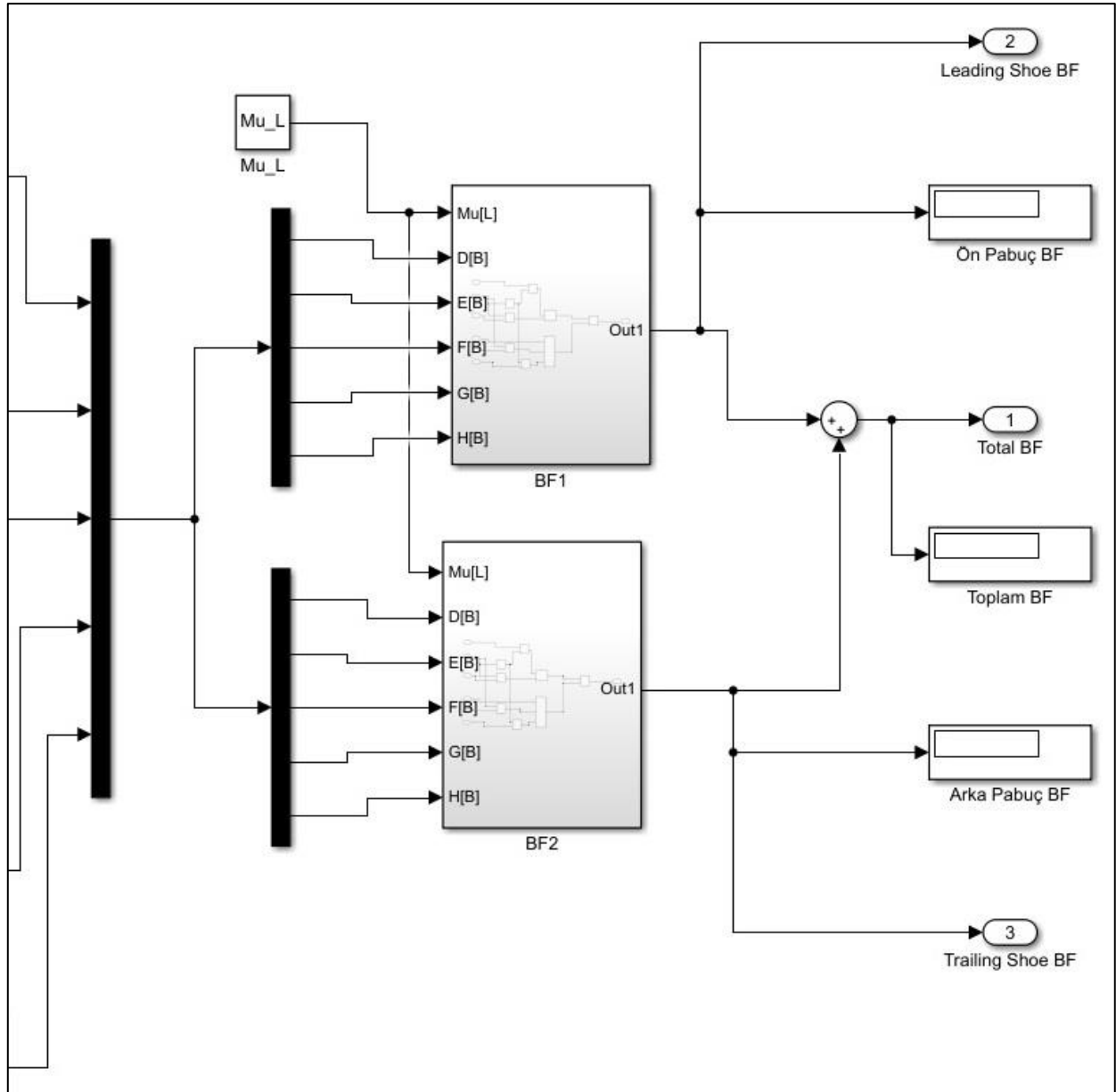


Şekil 5. Matlab/Simulink R2019 sonuç ekranı

Kurulan sistemin subsystem diyagramı (Şekil 6) ise girilen değerlerle göre fren faktörünü hesaplayan kısımdır.



Şekil 6. Matlab/Simulink R2019 subsystem diyagramı

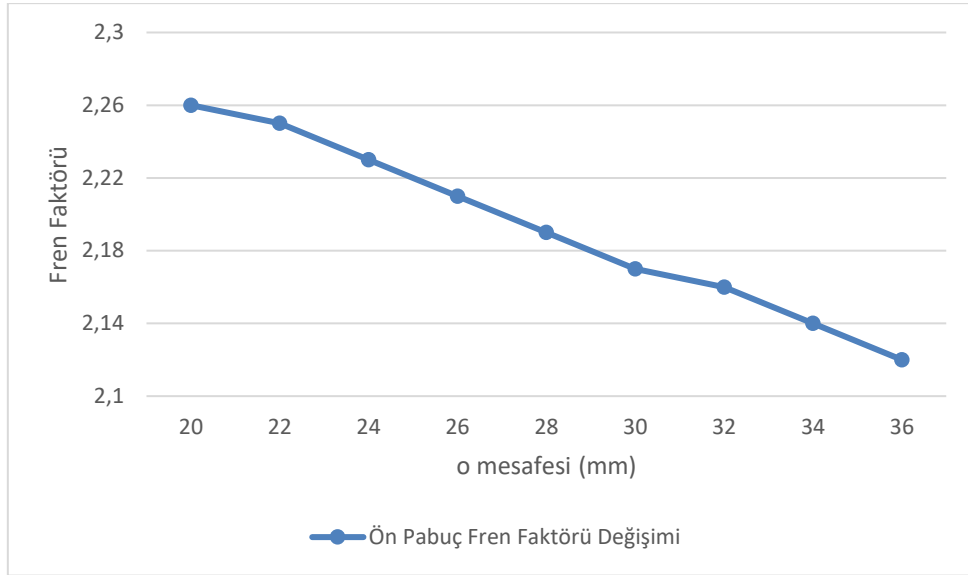


Şekil 6 (devamı). Matlab/Simulink R2019 subsystem diyagramı

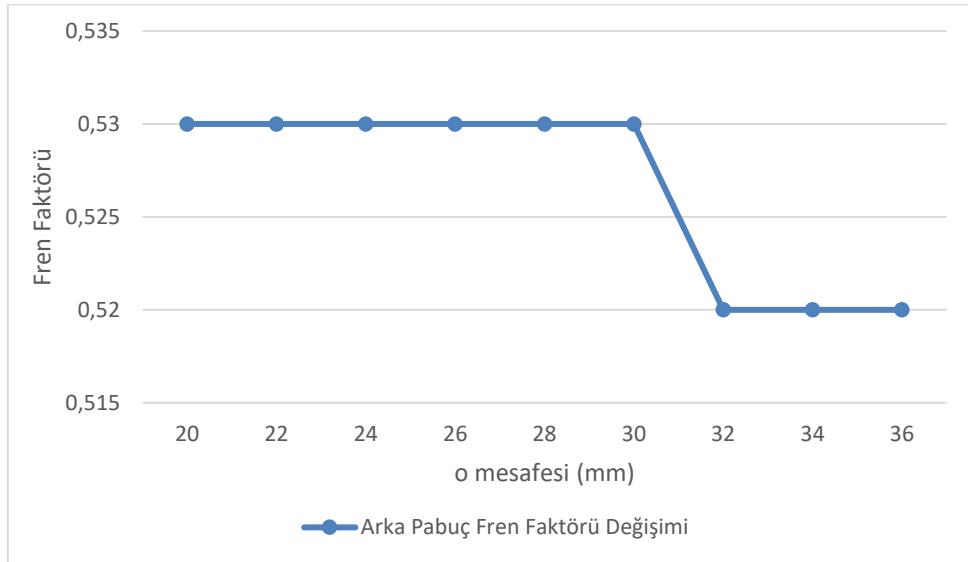
### 3.2 o Mesafesinin Fren Faktörüne Etkisi

Yapılan çalışma sonunda pabuç mesnet noktası ile düşey eksen arasındaki mesafe (o) azaldıkça yani mesnet düşey eksene yaklaştıkça fren faktörünün arttığı, mesafe arttıkça yani mesnet düşey eksenden uzaklaştıkça fren faktörünün azaldığı görülmüştür (Şekil 9). Fren faktöründeki değişim özellikle ön pabuçta olmakta (Şekil 7), arka pabuç çok fazla etkilenmemektedir. Toplam 16 mm'lik o mesafesi değişimi ön pabuç fren faktöründe 0.14'lük bir farka neden olmuştur. o mesafesi arttıkça ön pabuç fren faktörü neredeyse lineer şekilde bir azalma göstermiştir. Şekil 8'de arka pabuç fren faktörünün 20 mm'den 30 mm'ye kadar değişmediği, 30 mm ile 32 mm arasında bir kırılım yaparak 0.53 değerinden 0.52'ye düştüğü sonra yine sabit kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni ön pabucun kendinden enerji veren pabuç olması nedeniyle mesafe değişiminden arka pabuca oranla daha fazla etkilenmesi olarak değerlendirilmektedir. Fren faktörü her iki pabucun fren faktörünün toplamı olduğu için ön pabuç fren faktörünün değişimi, toplam fren faktörünü etkilemektedir. Diğer bir deyişle ön pabuç fren faktöründeki değişimin toplam fren faktörü değişimine etkisi daha fazladır.

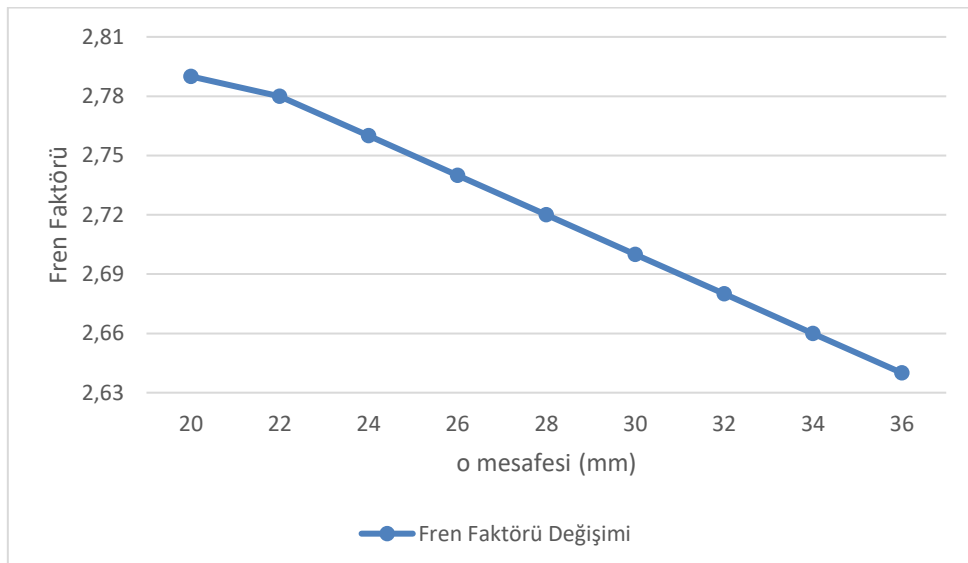




Şekil 7. o mesafesine göre ön pabuç fren faktörü değişimi



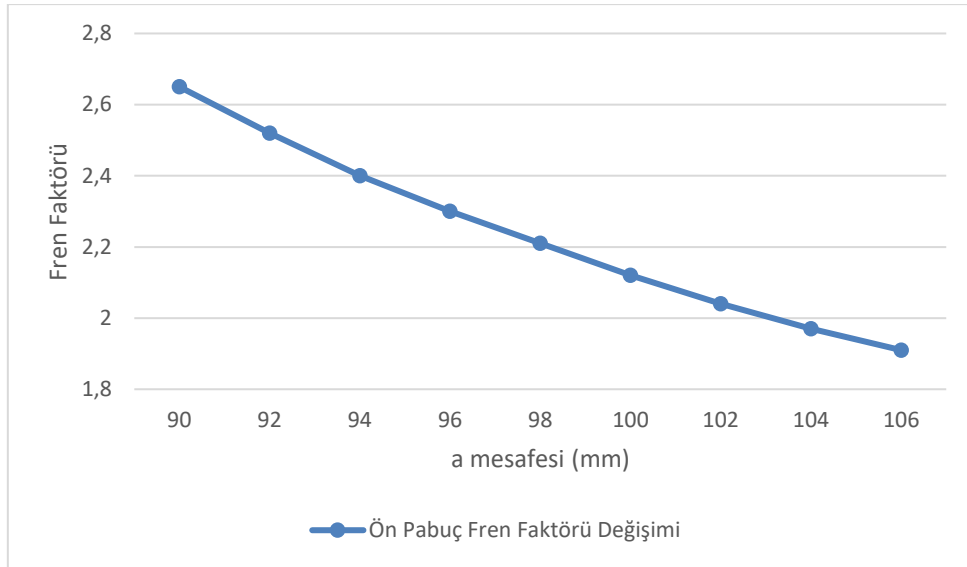
Şekil 8. o mesafesine göre arka pabuç fren faktörü değişimi



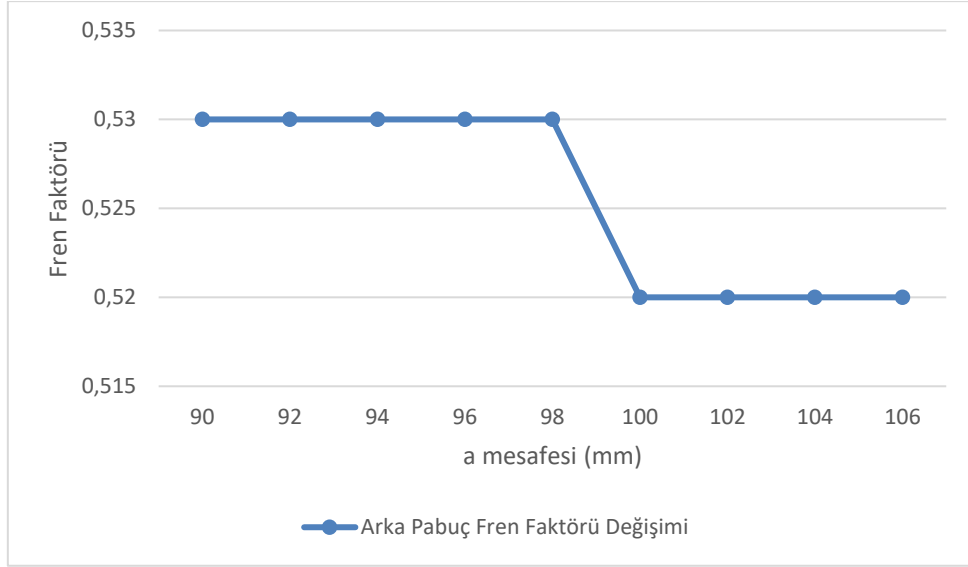
Şekil 9. o mesafesine göre fren faktörü değişimi

### 3.3 a Mesafesinin Fren Faktörüne Etkisi

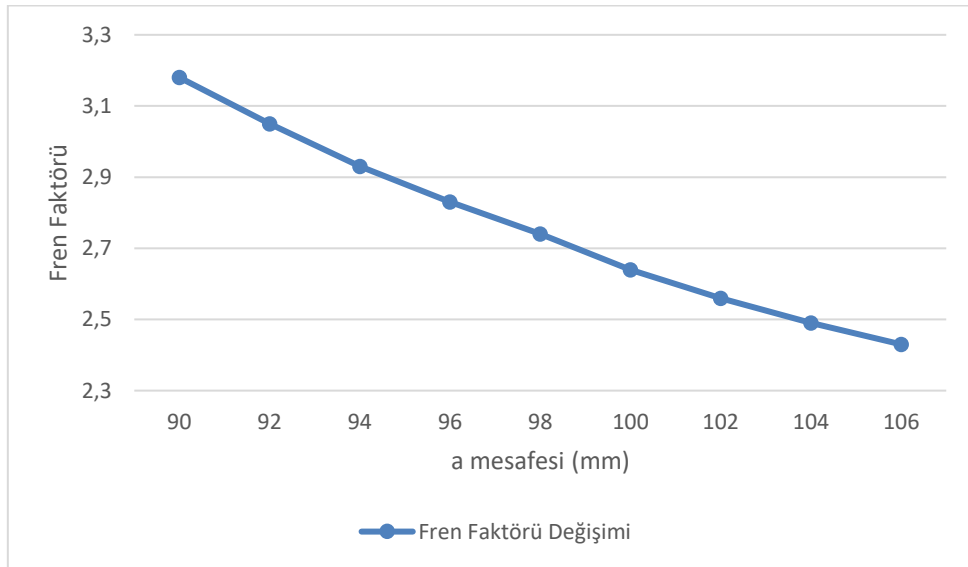
Pabuç mesnet noktası ile yatay eksen arasındaki mesafe (a) azaldıkça yani mesnet yatay eksene yaklaştıkça fren faktörü artmış, mesafe arttıkça yani mesnet yatay eksenden uzaklaştıkça fren faktörü azalmıştır (Şekil 12). Burada da fren faktöründeki değişim özellikle ön pabuçta olmakta (Şekil 10), arka pabuç çok fazla etkilenmemektedir. Toplam 16 mm'lik a mesafesi değişimi ön pabuç fren faktöründe 0.74'lük bir farka neden olmuştur. a mesafesi arttıkça ön pabuç fren faktörü neredeyse lineer şekilde bir azalma göstermiştir. Şekil 11'de arka pabuç fren faktörünün 90 mm'den 98 mm'ye kadar değişmediği, 98 mm ile 100 mm arasında bir kırılım yaparak 0.53 değerinden 0.52'ye düştüğü sonra yine sabit kaldığı görülmektedir. Bunun nedeni de ön pabucun kendinden enerji veren pabuç olması nedeniyle mesafe değişiminden arka pabuca oranla daha fazla etkilenmesi olarak değerlendirilmektedir. Fren faktörü her iki pabucun fren faktörünün toplamı olduğu için ön pabuç fren faktörünün değişimi, toplam fren faktörünü etkilemektedir. Yani ön pabuç fren faktörü değişiminin toplam fren faktörü değişimine etkisi daha fazladır. Bununla birlikte elde edilen değerler a mesafesi değişiminin, o mesafesi değişimine göre fren faktörünü daha fazla etkilediğini göstermektedir. Diğer yandan kampanalı frenlerde fren faktörü aynı zamanda kampananın sıcaklık etkisiyle genişmesi nedeniyle de ortaya çıkmaktadır. Fakat çalışmada ebat değişiminin etkisi incelendiğinden sıcaklık faktörü ihmal edilmiştir.



Şekil 10. a mesafesine göre ön pabuç fren faktörü değişimi



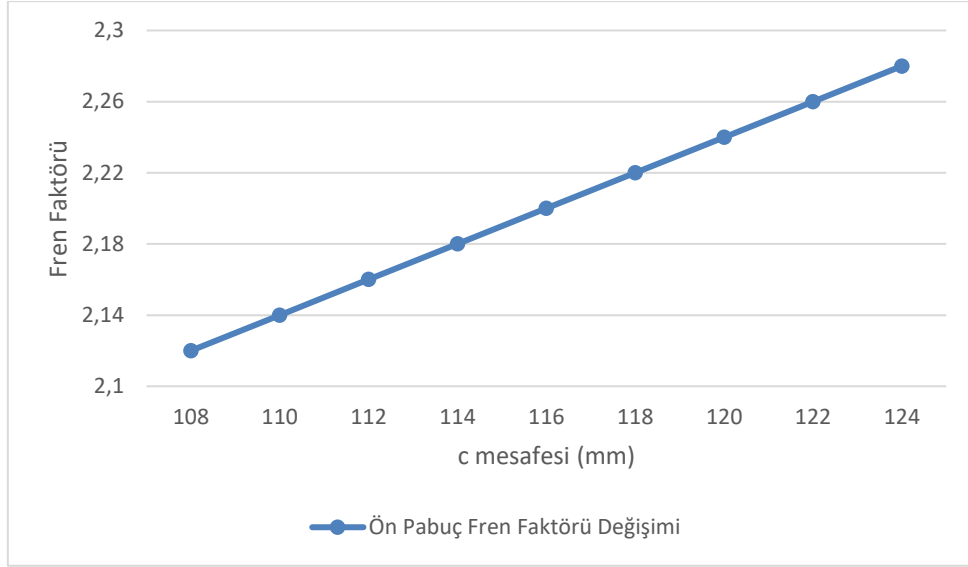
Şekil 11. a mesafesine göre arka pabuç fren faktörü değişimi



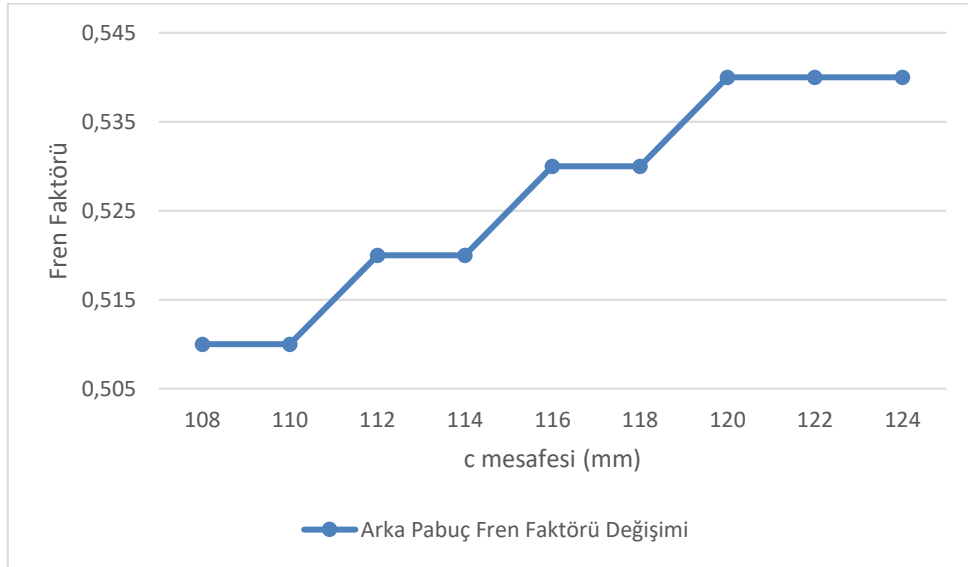
Şekil 12. a mesafesine göre fren faktörü değişimi

### 3.3 c Mesafesinin Fren Faktörüne Etkisi

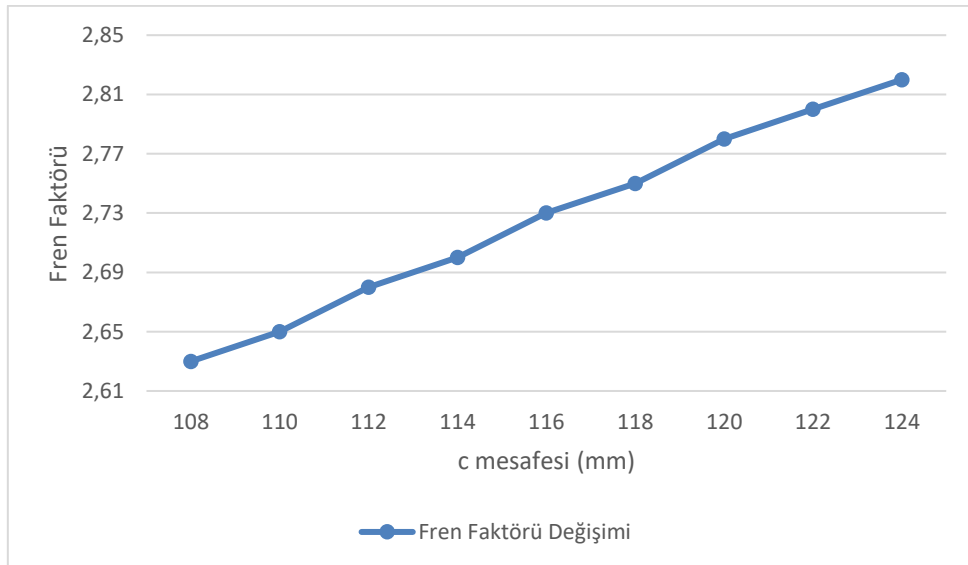
Fren kuvveti uygulama noktası ile yatay eksen arasındaki mesafe (c) arttıkça yani fren kuvveti uygulama noktası eksenden uzaklaştıkça fren faktörü artmış, mesafe azaldıkça yani fren kuvveti uygulama noktası yatay eksene yaklaştıkça fren faktörü azalmıştır (Şekil 15). Burada da fren faktöründeki değişim özellikle ön pabuçta olmakta (Şekil 13), arka pabuç çok fazla etkilenmemektedir. Toplam 16 mm'lik c mesafesi değişimi ön pabuç fren faktöründe 0.16'lık bir farka neden olmuştur. c mesafesi arttıkça ön pabuç fren faktörü neredeyse lineer şekilde artmıştır. Arka pabuç fren faktöründeki değişim de o ve a noktalarında olduğu gibi 0.01 değil 0.03 dolayındadır. Şekil 14'de arka pabuç fren faktörünün 0.51 değerinden 0.54 değerine kadar ki değişimi görülmektedir. Bunun nedeni tıpkı o ve a noktası değişimlerinde olduğu gibi ön pabucun kendinden enerji veren pabuç olması nedeniyle mesafe değişiminden arka pabuca oranla daha fazla etkilenmesi olarak değerlendirilmektedir. Fren faktörü her iki pabucun fren faktörünün toplamı olduğu için ön pabuç fren faktörü değişiminin, toplam fren faktörüne etkisi daha fazladır. Tek fark buradaki değişimin zıt yönde olmasıdır. Diğer bir deyişle merkeze yaklaşmak fren faktörünü azaltmaktadır.



Şekil 13. c mesafesine göre ön pabuç fren faktörü değişimi



Şekil 14. c mesafesine göre arka pabuç fren faktörü değişimi



Şekil 15. c mesafesine göre fren faktörü değişimi

#### 4. SONUÇ

Çalışmada, fren pabuç mesnet noktası her iki ekseninde de 2'şer mm'lik aralıklarla toplam 8 mm artırılıp azaltılmıştır. Kampana geometrisinin bozulmaması için daha fazla artırma ya da azaltma yapılmamıştır. Mesnet noktasının eksenlere daha yakın olması fren faktörünü artırırken eksenlerden uzaklaştıkça fren faktörü azalmıştır. Bu sonuçlardan mesnet noktasının hem yatayda hem de düşeyde eksenlere yakın konumlandırılmasının fren faktörünü artıracığı belirlenmiştir.

Fren kuvveti uygulama noktası da aynı şekilde düşey ekseninde 2'şer mm'lik aralıklarla toplam 8 mm artırılıp azaltılmıştır. Burada da kampana geometrisinin bozulmaması için daha fazla artırma ya da azaltma yapılmamıştır. Fren kuvveti uygulama noktasının merkeze daha yakın olması fren faktörünü azaltırken, merkezden uzaklaştıkça fren faktörü artmıştır. Bu sonuçtan fren kuvveti etki noktasının kampana geometrisinin el verdiği ölçüde merkeze uzak konumlandırılmasının fren faktörünü artıracığı belirlenmiştir.

Fren faktörünü artırmak için kampana geometrisinin el verdiği ölçüde o ve a mesafeleri kısaltulmalı yani olabildiğince merkeze yakın konumlandırılmalıdır. Fren kuvveti uygulama noktası olan c mesafesi ise yine kampana geometrisi el verdiği ölçüde merkezden uzak konumlandırılmalıdır. Bu şekilde maksimum fren faktörü elde edilebilir.

#### Semboller

$\mu_L$ :	Sürtünme katsayısı balata/kampana
$\mu_s$ :	Pabuç ucu ve mesnet sürtünme katsayısı
a:	Fren ebatı (dayanak noktası ile yatay eksen arası mesafe), mm
c:	Fren ebatı ( $F_a$ frenleme kuvveti ile yatay eksen arası mesafe), mm
o:	Fren ebatı (dayanak noktası ile düşey eksen arası mesafe), mm
r:	Kampana yarıçapı, mm
$\alpha_0$ :	Balata yay açısı, derece
$\beta$ :	Balata yay açısı merkezi ve yatay eksen arasındaki açı, derece
$\gamma$ :	Balata başlangıcı ile yatay eksen arasındaki açı, derece

#### 5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

#### 6. YAZAR KATKISI

Mustafa Ceyhun ERKOCA ve Hüseyin BAYRAKÇEKEN çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi ve yönetimi, veri toplama, veri analizi ve yorumlama, makale taslağının oluşturulması, fikirselleştirilme sürecinin eleştirel incelenmesi, son onay ve tam sorumluluk aşamalarında katkı sağlamışlardır.

#### 7. KAYNAKLAR

Altıparmak D., Fren Sistemleri, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Matbaası, Ankara, 2004.  
Anonim, 2021. Simpleks Pabuçlu Kampana, <https://www.slideserve.com/ayoka/figure-10-2-an-exploded-view-of-a-typical-drum-brake-assembly> / (Erişim Tarihi: 17.05.2021).

- Bayrakçeken H., Altıparmak D, Taşıtlarda frenleme kuvveti analizi için matematik modelleme ve deneysel bir çalışma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 18(3), 489-503, 2005.
- Çavdar A., Bayrakçeken H., Otomobillerde kullanılan frenleme yardımcı sistemlerinin incelenmesi. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi (1), 50-59, 2006.
- Çetinkaya S., Taşıt Mekaniği, Nobel Akademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara, 2013.
- Erdem M., Altıparmak D., Fren disk sıcaklığının frenleme performansına etkisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi 29(2), 425-432, 2014.
- Göktan A. G., Güney A., Ereke M., Taşıt Frenleri, İTÜ Makine Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1995.
- Güney B., Mutlu İ., Taşıtlarda AB ve ABD'nde uygulanan fren test standartlarının incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 15(1), 7-16, 2015.
- Kuralay N. S., Anonim, 2020. Fren sistemleri, <http://kisi.deu.edu.tr/mustafa.karaoglan>, (Erişim Tarihi: 17.01.2020).
- Limpert R., Brake Design and Safety, Society of Automotive Engineers, USA, 2011.
- Mutlu İ., Öner C., Özdin K., Yıldız E., Elyaf katkılı asbestsiz disk fren balatalarında sürekli frenleme veriminin incelenmesi. Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 98-102, 2006.
- Öz A., Demir A., Sağıroğlu S., Yakut, A. K., Plazma sprey tekniği ile Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> kaplanmış fren diskinin frenleme performansının deneysel olarak incelenmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi 15, 394-403, 2019.
- Staudt W., Motorlu Taşıt Tekniği, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, 2000.
- Sugözü İ., Kompozit fren balatasında bakır oranının frenleme karakteristiğine etkisi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 8(4), 1458-1465, 2019.

Araştırma Makalesi / Research Article

Hareketli Ürünlerin Sayımı için Kızılötesi Tabanlı Sensör Dizaynı ve Yumurta Sayma Uygulaması

İsmail YABANOVA<sup>1\*</sup>, Mehmet YUMURTACI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8075-3579>, iyabanova@gmail.com

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8528-9672>, mehmetyumurtaci@aku.edu.tr

Geliş/ Received: 09.09.2021;

Kabul / Accepted: 26.10.2021

**ÖZET:** Tarım, gıda, ilaç vb. endüstri sektörlerinde gerek günlük üretim miktarının tespitinde gerekse ürünlerin paketlenmesi aşamasında sayım işlemi önem arz etmektedir. Sektörlerdeki artan taleplerin karşılanabilmesi için sayım işleminin büyük bir doğruluk oranıyla kısa sürede yapılması gerekmektedir. Bazı sektörlerdeki ürünler standart şekillere sahip olup boyutu büyük ve ağır olduğundan bant üzerinden sabit ve bir adet olarak geçmekte sayımı reflektörlü fotosel sensörler ile kolayca yapılabilmektedir. Bazı ürünler ise standart bir geometrik şekle sahip olmayıp bantın hareketiyle birlikte birden fazla olarak ve konum değiştirerek bant üzerinde hareket ederler. Böyle ürünlerin sayımı için ise IR (InfraRed) tabanlı sistemler veya makine görme sistemleri tercih edilmektedir. Bu çalışmada bant üzerinde hareket halindeki yumurtaların sayımı için IR tabanlı bir algılama sistemi tasarımı ve yumurta sayısının tespiti için Matlab programında yazılım gerçekleştirilmiştir. Bant üzerinden aynı anda birden fazla yumurta geçmesi durumunda da algılama sistemi ve yazılım hatasız olarak sayma işlemini gerçekleştirmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** IR, Sayıcı, Matlab.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: iyabanova@gmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Yabanova, İ., Yumurtacı, M. (2021). Hareketli Ürünlerin Sayımı için Kızılötesi Tabanlı Sensör Dizaynı ve Yumurta Sayma Uygulaması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(2), 141-149.

## Infrared Based Sensor Design and Egg Counting Application for Counting Moving Products

**ABSTRACT:** Counting is important both in determination of daily production amount and in packaging of products in industry sectors such as agriculture, food, medicine, etc. In order to meet increasing demands in sectors, counting process must be done in a short time with great accuracy. Products in some sectors have standard shapes, and since they are large and heavy in size, they pass over band as one fixed and counting can be easily done with reflective photocell sensors. Some products, on the other hand, do not have a standard geometric shape and move on the band by changing positions and more than once with movement of the band. IR-based systems or machine vision systems are preferred for counting such products. In this study, an IR-based detection system was designed for counting eggs in motion on the band and software was developed in Matlab program to determine number of eggs. In the event that more than one egg passes over the band at same time, detection system and software perform counting process without error.

**Keywords:** IR, Counter, Matlab.

### 1. GİRİŞ

Endüstrinin pek çok alanında gerek ürünlerin üretimi aşamasında gerekse paketlenmesi aşamasında hassas bir şekilde ve kısa sürede sayılması talep edilmektedir. Ürünlerin ağırlığı, geometrik şekli gibi fiziksel özelliklerinin yanında bant üzerindeki duruş/hareketlerine bağlı olarak fotoselli, IR tabanlı algılayıcılar veya makine görme sistemleri tercih edilmektedir.

Çelik ve Tekin tarafından yapılan çalışmada tahıl üretiminde tohumların etkin olarak kullanılabilmesi için yüzeye uygun mesafeye ve yeterli adette ekimini sağlayan makine görmesine dayalı bir sistem geliştirmişlerdir. Kamera görüntüsü işlenerek tohum sayısı tespit edilmektedir (Çelik ve Tekin, 2020). Kaymak vd. tarım ürünleri arasında önemli bir yeri olan elma ağacından alınan görüntüleri kullanarak bir veri seti oluşturmuşlardır. Görüntü işleme tekniklerini uygulayarak ağaç üzerindeki kırmızı elmaların yeri tespit edilerek merkez noktaları işaretlenmiştir. Elmaların merkez noktalarından yola çıkılarak elmaların sayısını bulan bir yazılım geliştirmişlerdir (Kaymak ve ark., 2019). Öziç vd. görüntü işlemede nesne koordinat bilgilerine dayalı bakliyat sayma işlemini gerçekleştirmişlerdir (Öziç ve ark., 2020). Trafik yoğunluğunu tespit etmek için üst geçitten çekilen fotoğraflara arka plan silme ve statik çerçeve farkını kullanan vasıta sayısını otomatik hesaplayan bir algoritma geliştirmişlerdir. Geliştirilen algoritma ile araçları boyutlarına göre iki sınıfa ayırmak mümkündür (Kocaağa ve ark., 2015). Karaköse vd., endüstriyel sistemlerde arka plan çıkarımı tabanlı hareketli nesne tespiti ve sayılması için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bilgisayarlı görme sistemi sayesinde ürünlerin kalite kontrol işlemini de kolayca gerçekleştirmişlerdir (Karaköse ve ark., 2016). Esnek otomasyon sistemi verilerinin takibi için LabVIEW tabanlı veri izleme sistemi tasarlamış ve uygulamışlardır. Her bir konveyör hattındaki ürünlerin sayımını duruma göre konveyörün ileri/geri hareketi söz konusu olduğundan çift fotosel verisini PLC’de işleyerek tespit etmişlerdir (Kaya ve ark., 2015). Konveyör bant üzerinde hareket halindeki yumurtaların sayımı için IR tabanlı olarak birçok firma modül ve yazılım geliştirdiği (Anonymous, 2021a; Anonymous, 2021b; Anonymous, 2021c; Anonymous, 2021d; Anonymous, 2021e) gibi bu işlemi makine görmeye dayalı olarak gerçekleştiren firma ve çalışmalar da mevcuttur (Anonymous, 2021f; Anonymous, 2021g).

Yumurta üretimi yapan çiftliklerin kapasiteleri de büyük işletmelerde 1.000.000 tavuğun üzerine çıkmış, orta ölçekli işletmelerde ise 300.000 kapasitelerine ulaşmıştır. Bir kümeste yaklaşık

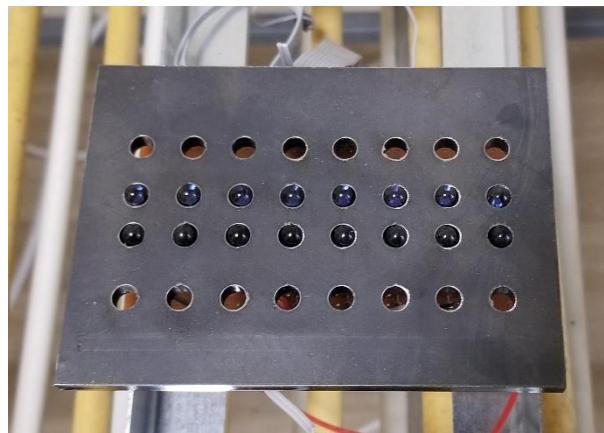
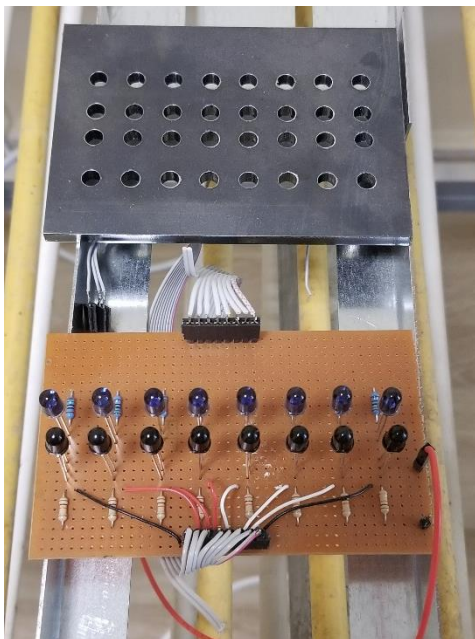


olarak 60.000-80.000 tavuk bulunmaktadır. Kümesteki kafesler 7 kata kadar ve 4-5 sıradan oluşmaktadır. Her bir kafes bölümünde 6-7 yumurta tavuğu bulunmaktadır. Kafes yükseklikleri 3 metrenin üzerinde olmaktadır. Bir kümeste bulunan yüksek tavuk sayısından dolayı üretimi etkileyen faktörlerin takibi ve gerekli hallerde müdahale etmek büyük önem taşımaktadır. Kümeslerde üretim verimini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler kümes içi iklimlendirilmesi, yem, tavuk yaşı ve telef olan tavuklardır. Bu faktörlerin belirlenmesinde en önemli etken üretim veriminin belirlenerek verime etki eden faktörlere karşı gereken önlemin alınması üreticiler açısından büyük önem taşımaktadır. Örneğin yüksek katlarda bir tavuk ölümü gerçekleştiğinde bunun insan tarafından belirlenmesi çok güç olmakta ve bu diğer tavukları da etkileyerek verimi düşürmektedir. Ayrıca kümes içi iklimlendirmesi de büyük önem taşımaktadır. Bundan dolayı her bir kafes katındaki bez bantlardaki yumurtaların günlük sayımının yapılması ve buna göre verimi takip etmek gerekmektedir.

Bu çalışmada bant üzerinde hareket halinde olan nesnelerin sayımı için IR tabanlı bir algılama modülü ve yazılım geliştirilmiştir. Örnek bir uygulama olması açısından yumurta verileri geliştirilen IR tabanlı modül üzerinden alınarak Arduino Mega kartı ile Matlab programına aktarılmıştır. Matlab programına gelen veriler sinyal işlemeden görüntü işlemeye geçişe dayalı geliştirilen yazılım ile işlenmektedir. Geometrik şekilleri farklı ve konumları değişebilen yumurtaların sayımı hareket halindeki bant üzerinde hatasız olarak gerçekleştirilmiştir.

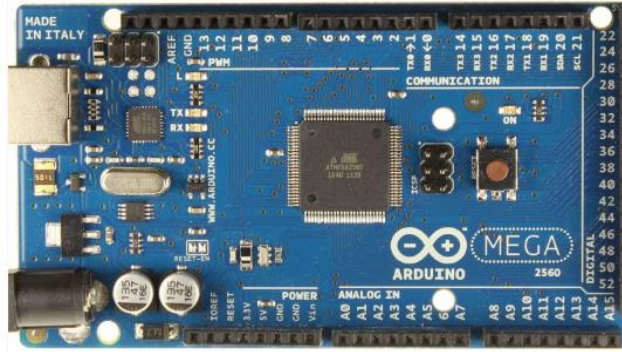
## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

IR led ve foto transistör kullanılarak hareket halindeki konveyör üzerindeki nesneye ait verilerin alınması için IR modül oluşturulmuştur. Modülde sekizer adet gönderici IR led ve alıcı foto transistör kullanılmıştır (Şekil 1). IR led sürekli olarak kızıl ötesi ışın gönderirken nesne veya konveyöre çarpıp gelen ışın foto transistör tarafından algılanmaktadır. Foto transistörün algılama durumu nesne ile arasındaki mesafeye bağlı olarak değişmekte olup bu değer 10 bit çözünürlüğe sahip bir ADC ile okunduğunda 0-1023 arasında değişmektedir. Mesafe azaldıkça algılayıcıdan okunan değer artarken mesafe arttıkça değer azalmaktadır.



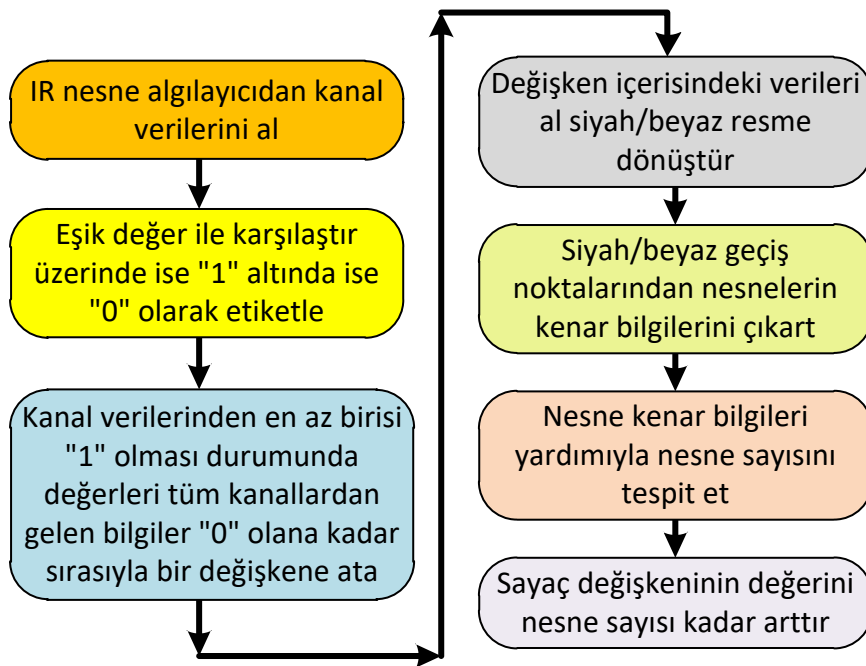
Şekil 1. IR tabanlı nesne algılama modülü

IR tabanlı nesne algılama modülünden gelen verilerin bilgisayar ortamına aktarılması için veri toplama kartı olarak düşük maliyetli olan Arduino Mega kartı tercih edilmiştir. Şekil 2’de görülen Arduino Mega kartında kontrolör olarak 16 MHz hızında çalışacak şekilde ayarlanmış Atmega2560 çipi kullanılmış olup 16 adet 10 bit çözünürlüğünde analog girişi mevcuttur. Karttaki 8 adet analog giriş kullanılarak nesne algılayıcıdan gelen veriler Matlab ortamına aktarılmaktadır.



Şekil 2. Arduino mega kartı (Anonim, 2021)

Algılayıcı kanallarından gelen veriler öncelikli olarak deneme yanılma yoluyla belirlenen bir eşik değerden geçirilir. Kanallardan gelen veriler eşik değerinin üzerinde ise "1" eşik değerinin altında ise "0" olacak şekilde değiştirilir. 8 kanal bilgisinden en az birinin bilgisi bir olması durumunda bir değişkene veriler kaydedilmeye başlar, kanal verilerinin hepsi sıfır olması durumunda değişkene kayıt işlemi durdurulur. Değişken içerisindeki matris işlenmeye başlanır. Siyah ve beyaz geçiş noktaları kullanılarak nesnelere kenar bilgileri tespit edilip kaç adet nesne olduğu belirlenir. Tespit edilen nesne sayısı adedince nesne sayacının değeri artırılır. Nesne tespitine yönelik akış şeması Şekil 3’te verilmiştir.

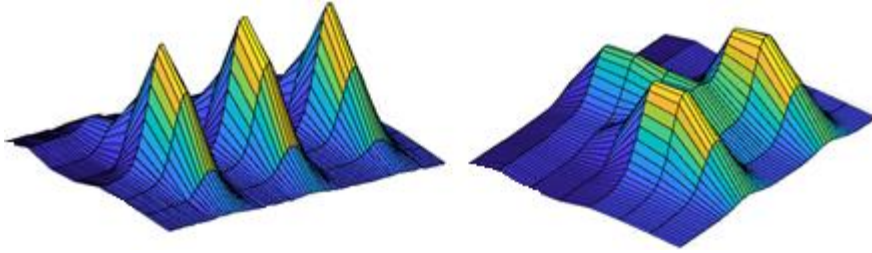


Şekil 3. Hareketli nesne sayıcı akış şeması

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

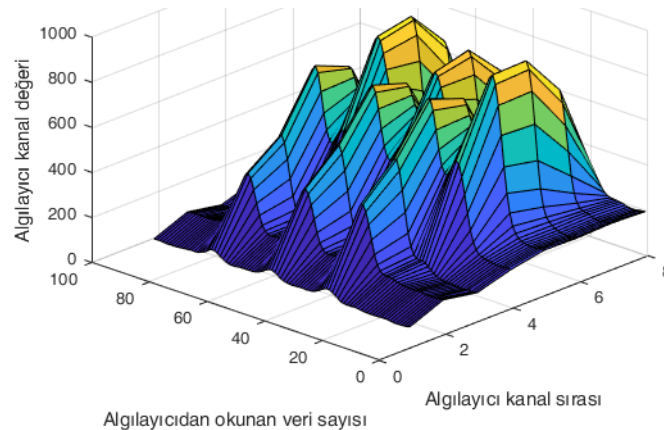
Üretim sektöründe günlük üretimin tespiti ve paketlenme aşamasında sayım büyük önem arz etmektedir. Ürünlerin sayım işlemi bant üzerinde taşınması sırasında gerçekleştirilmektedir. Bant üzerinde ürünlerin birer adet sırayla geçmesi durumunda sayım işlemi fotoselli bir sensör vasıtasıyla kolayca algılanıp yapılabilmektedir. Ürünlerin geometrik şeklinin standart olmaması ve bant üzerinde hareket halinde olup aynı anda birden fazla ürünün bir arada olması durumunda sayma işleminin hassas bir şekilde hatasız olması beklenir. Bu durumda IR tabanlı algılayıcılar veya makine görme sistemleri tercih edilir. Makine görme sistemlerinde ortamın aydınlık seviyesi önemli bir etken iken IR sistemleri ortamın aydınlığından etkilenmemektedir. Maliyet açısından bakıldığında da IR tabanlı algılayıcılara dayalı sayıcı sistemleri daha düşük maliyetlidir. Makine görme sistemleri ürün saymanın yanında ürün ayırma ve kalite kontrol işlemini de beraberinde gerçekleştirebilmektedir. Bu çalışmada; yumurta, elma, limon, portakal vb. küçük boyutlu nesnelerin sayımı için IR tabanlı modül ve yazılım geliştirilmiştir.

Yumurtanın geometrik şekli dikdörtgen ya da kare prizma şeklinde olmadığından oval olduğundan bant üzerinde konum değiştirerek hareket etmektedir. Bu durum rastgele olduğundan bazen yumurtalar Şekil 4'te görüldüğü gibi sırayla algılayıcının altından geçerken bazen de birbirine çok yakın ve birden fazla yumurtanın geçtiği durumlarda söz konusu olmaktadır.



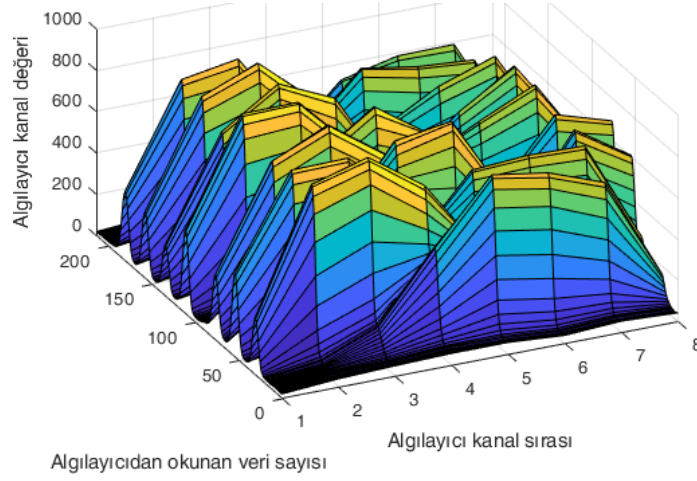
Şekil 4. Konveyör üzerindeki algılayıcının altından geçen yumurtaların durumu

Ürünlerin doğru sayılmasında algılayıcıdan okunan değerlerin geçirileceği eşik değer önem arz etmektedir. Bu değer küçük ya da büyük seçilmesi sayım işleminin hatalı olmasına sebebiyet vermektedir. Bu çalışmada örnek olması açısından ürün olarak kullanılan yumurta için eşik değer deneme yanılma yöntemiyle 630 olarak belirlenmiştir. Konveyör üzerindeki 6 adet yumurtaya ait veriler Şekil 5'te verilmiştir. Görüldüğü üzere yumurtaların boyut ve yüzey şekli vb. fiziksel özellikleri değişkenlik göstermektedir. Algılama modülü ve yazılım sayesinde yumurta sayısı tam olarak tespit edilmiştir.



Şekil 5. Algılayıcıdan alınmış 6 adet yumurta verisi

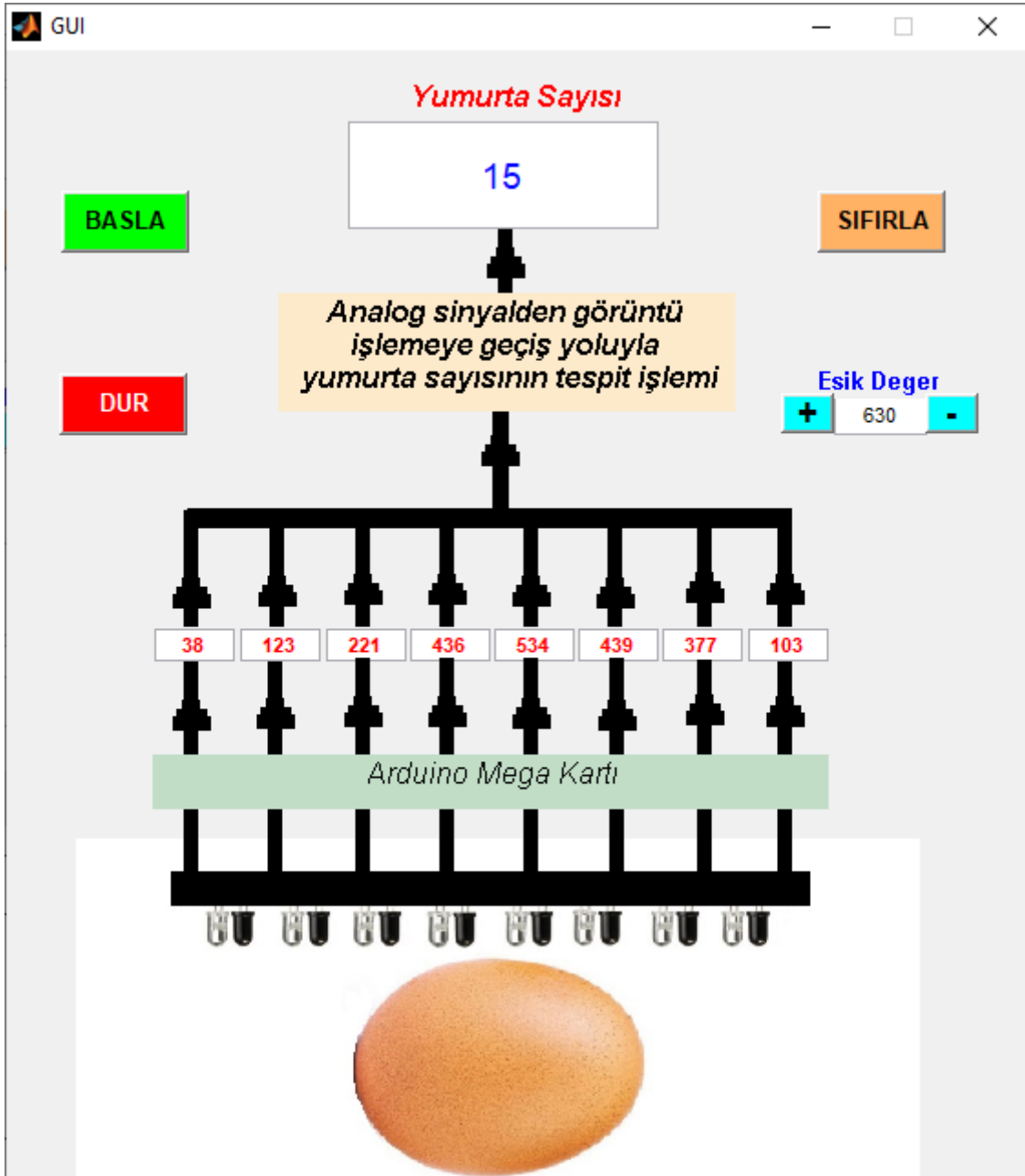
Bant üzerinde boyut aralığı daha geniş ve birbirine daha yakın olan 18 adet yumurtanın verisi algılayıcı yardımıyla alınmış olup Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Algılayıcıdan alınmış 18 adet yumurta verisi

Algılama modül ve yazılımı ile 18 adet yumurta tam olarak sayılmıştır. Yapılan denemeler sonucunda eşik değerin belirlenmesinde sayımı yapılacak ürünlerden boyu küçük olana göre eşik değerin belirlenmesi sayma işleminin doğru yapılmasını sağlamaktadır. Kullanılan Arduino Mega kartında 16 adet analog giriş olduğundan iki adet IR modül kullanılarak eni daha geniş olan bantlardaki sayma işlemi test edilmiştir. 2 adet IR modülü ile 16 adet algılayıcı durumunda da kullanılan yazılımla yumurta sayım işlemi hatasız olarak gerçekleştirilmiştir. Modül sayısı artırılarak daha geniş bantlarda aynı anda geçen küçük boyutlu çok sayıdaki ürünün sayımı da hassas bir şekilde gerçekleştirilebilecektir.

Matlab/GUI ile oluşturulan bir arayüz üzerinden sayma işlemi başlatılıp durdurulabilmekte ve sayıcının değeri sıfırlanabilmektedir. Eşik değeri hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Sayma işlemi süresince anlık yumurta sayısı ve IR algılayıcı modülünden gelen bilgiler arayüz ekranında kullanıcıya gösterilmektedir. Oluşturulan arayüz Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Yumurta sayıcı arayüzü

#### 4. SONUÇ

Endüstride ürünlerin üretim ve paketlenme aşamasında sayımı büyük önem arz etmektedir. Bant üzerinde hareket halindeyken ürünlerin sayım işlemi gerçekleştirilmektedir. Ürünlerinin şekilleri dikdörtgen prizma, kare prizma vb. standart olabileceği gibi standart bir şekli olmayan fiziksel özellikleri aynı tür içerisinde bile farklılık gösteren ürünler mevcuttur. Ürünlerin sayımı için farklı tekniklerle çalışan sayıcılar kullanılmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen IR tabanlı algılayıcı ile veriler üründen alınıp Matlab ortamına aktarılmakta burada yazılım ile işlenerek ürün sayma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ürün sayma işleminde örnek olarak geometrik şekli değişkenlik gösteren yumurta üzerinde çalışılmıştır. Öncelikli olarak 8 kanallı IR modül ile yumurta verileri alınıp Matlab ortamına aktarılmıştır. Algılama modül kanallarından gelen veriler eşik değerden geçirilmiş eşik üzerinde ise "1" ve altında ise "0" olarak etiketlenmiştir. Algılayıcı kanal bilgilerinden en az birinin "1" olması durumunda kanal verileri bir değişkene tüm kanal verileri "0" olana kadar

sırasıyla atanmaktadır. Değişken içerisindeki veriler siyah/beyaz bir resim verisine dönüştürülür. Siyah/beyaz geçiş noktalarından nesne kenarları tespit edilip ilgili veri içerisindeki ürün sayısı bulunup sayaç değişkenine eklenmektedir. Matlab programına gelen veriler sinyal işlemeden görüntü işlemeye geçişe dayalı geliştirilen yazılım ile işlenmektedir. Algılayıcı kanallarından gelen verileri gözlemlemek, yumurta sayıcı sistemini kontrol etmek ve anlık yumurta sayısını görmek için Matlab/GUI ile bir arayüz tasarlanmış ve geliştirilen yazılım içerisinde gömülmüştür. Bir ve iki adet algılayıcı modülü kullanılarak yapılan çalışmalarda bant üzerinde hareketli durumdaki yumurtaların sayımı hatasız olarak gerçekleştirilmiştir. Algılayıcı modül sayısı artırılarak geliştirilen yazılım ile daha geniş bantlardaki küçük ürünlerin sayımı da hassas bir şekilde düşük maliyetle gerçekleştirilebilecektir.

## 5. ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

## 6. YAZAR KATKISI

İsmail YABANOVA, çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, veri toplama kısımlarına katkıda bulunurken Mehmet YUMURTACI çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin yönetimi, veri analizi ve yorumlama kısımlarına katkıda bulunmuştur. Makale taslağının oluşturulması ve fikirsel içeriğin eleştirel incelemesine her iki yazarda katkı sağlamıştır.

## 7. KAYNAKLAR

- Anonim, 2021. Arduino Mega Özellikleri, <https://fma.arslanalp.com/arduino-mega-ozellikleri> / (Erişim Tarihi: 18.08.2021).
- Anonymous, 2021a. Munters Egg Counter, <https://www.munters.com/globalassets/inriver/resources/5482> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021b. AgroEC Egg Counter, <https://www.agromax.nl/en/products/poultry-farm-accessories/egg-counter> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021c. PMSI Egg Counters, <http://www.pmsi.cc/wp-content/uploads/2017/08/Egg-Counters-8-48-inch.pdf> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021d. Lubing Egg Counter EMEC for Conveyor-Systems, [https://www.lubing.com/files/inhalt/Prospekte\\_PDF/0893-1\\_Eierzaehler.pdf](https://www.lubing.com/files/inhalt/Prospekte_PDF/0893-1_Eierzaehler.pdf) / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021e. EggTek Egg Counters, <https://www.eggtekltd.com/products-4> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021f. Counting Eggs-Not Only on Easter, <https://www.automate.org/case-studies/counting-eggs-not-only-on-easter> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Anonymous, 2021g. Egg counter with computer vision on the conveyor, <https://www.youtube.com/watch?v=3wJ0T371O8o> / (Erişim Tarihi: 15.08.2021).
- Çelik A., Tekin E., Hough Transform Görüntü İşleme Yöntemiyle Ekim Makineleri için Tohum Sayma Uygulaması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Ejosat Özel Sayı 2020 (ARACONF), 260-267, 2020.

- Karaköse M., Baygın M., Aydın İ., Sarımaden A., Akın E., Endüstriyel Sistemlerde Arkaplan Çıkarımı Tabanlı Hareketli Nesne Tespiti ve Sayılması için Yeni Bir Yaklaşım. Muş Alparslan Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 4(2), 373-381, 2016.
- Kaya B., Altıntaş A., Kök Ü., Design and Application of Data Monitoring System with Flexible Automation System. SDU International Technologic Science 7(2), 30-38, 2015.
- Kaymak A.M., Örnek M.N., Kahramanlı H., Görüntü İşleme Teknolojilerinin Elma Bahçelerine Yönelik Kullanım Örneği. Uluborlu Mesleki Bilimler Dergisi 2(1), 17-26, 2019.
- Kocağa E., Mohamad K.H., Kasadar G., Büyüklüklerine Göre Vasıta Sayma. IEEE, 2015.
- Öziç M.Ü., Çankaya N., Özcan, M., Gökçe B., Görüntü İşlemede Nesne Koordinat Özelliklerini Kullanarak Bakliyat Sayma İşlemine Bir Yaklaşım. Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi 8(Özel Sayı), 28-37, 2020.