

Cilt 1 Sayı 1 Haziran 2020

ISSN: 2717-8811(Online)

**JOURNAL**

**Materials  
and  
Mechatronics:A**

**Editor-in-Chief  
Yusuf KAYALI**

# **JOURNAL**

**Materials**

**and**

**Mechatronics: A**

**e-ISSN: 2717-8811**

**Cilt: 1 Sayı: 1**

**2020**

**Editor-in-Chief**

**Yusuf KAYALI**

# JOURNAL of MATERIALS and MECHATRONICS:A

<b>Editör Kurulu / Editorial Board</b>		
Yusuf KAYALI (Editor-in-Chief)	ykayali@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Şükrü TALAŞ (Senior Editor)	stalas@aku.edu.tr	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Barış GÖKÇE (Senior Editor)	bgokce@erbakan.edu.tr	Necmettin Erbakan Üniversitesi, TÜRKİYE

<b>Danışma Kurulu / Advisory Board</b>	
Dr. Adem KURT	Gazi Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Adnan MAQBOOL	Insitute of Space Technology, PAKISTAN
Dr. Ali GÜNEN	İskenderun Teknik Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Anas Al ATTIEH	German University of Jordan, ÜRDÜN
Dr. Aytekin HİTİT	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Dursun ÖZYÜREK	Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Ersan MERTGENÇ	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Hazizan Md. AKİL	Sains Malaysia Üniversitesi, MALEZYA
Dr. İsmail YABANOVA	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Kubilay ASLANTAŞ	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. M.Serhat BAŞPINAR	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Metin ÖZGÜL	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Mourad KEDDAM	University of Science and Technology Houari Boumediene, CEZAYİR
Dr. Ramazan KAÇAR	Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Selçuk AKTÜRK	Muğla Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Süleyman GÜNDÜZ	Karabük Üniversitesi, TÜRKİYE
Dr. Shabana SHEIK	University of Pune, Department of Physics, INDIA
Dr. Yılmaz YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi, TÜRKİYE

<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> Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi The Effect of Welding Parameters on Welding Seam Geometry and Penetration of Different Types of Steels Used in Automotive Industry Combined with Laser Welding Method Çakmakkaya, M., Çolak, F., Kara, R., Karaağaçlı, A.	1-11
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Borlanmış AISI 316 L Paslanmaz Çeliğin Difüzyon Kinetiğinin İncelenmesi Investigation of Diffusion Kinetics of Boronized AISI 316 L Stainless Steel Kayalı, Y., Yalçın, Y.	12-21
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Plazma Püskürtme ile Üretilmiş Beyaz ve Gri Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Kaplamaların Mekanik Özellikleri Mechanical Properties of White and Grey Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Coatings Fabricated by Plasma Spray Karabaş, M., Mertgenç, E.	22-28
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> ROS/Gazebo Ortamında Tank Sürüş Özellikli Mobil Bir Robotun Simülasyonu Simulation of A Skid Steer Driving Mobile Robot in ROS / Gazebo Environment Koca, Y.B., Gökçe, B., Aslan, Y.	29-41
<b>Araştırma Makalesi (Research Article)</b> Mobil Cihazlar için Uygulama Geliştirmekte Kullanılan Platformların ve Dillerin Karşılaştırılması Comparison of The Platforms and Languages Used on The Developing Mobile Applications for Mobile Devices Çınar, S.M., Bilici, H.	42-54

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi**

Mehmet ÇAKMAKKAYA<sup>1\*</sup>, Fatih ÇOLAK<sup>2</sup>, Rıza KARA<sup>3</sup>, Adnan KARAAĞAÇLI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Otomotiv Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9031-3830>

<sup>2</sup>Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak, Türkiye,  
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-1161-9875>

<sup>3</sup>Uşak Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü, Uşak, Türkiye,  
ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0820-2577>

<sup>4</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Otomotiv Mühendisliği ABD, Afyonkarahisar, Türkiye

**Geliş/ Recieved:** 07.03.2020;

**Kabul / Accepted:** 12.04.2020

**ÖZET:** Bu çalışmada, otomotiv sanayinde kullanılan ST 6222 ve DP600 saclarına lazer kaynağı uygulanmış ve farklı kaynak parametrelerinin mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Temel parametreler esas alınarak yapılan lazer kaynağının malzemelerin kaynak dikişine, kaynak kesitine ve sertliğine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada 25x150 mm ebatlarında 2,0 mm kalınlığındaki parçalar kaynak yapıldıktan sonra mikrosertlik değerleri, 50 gr yük ile kaynak kesiti üzerinden esas metal, ısı tesiri altındaki bölge (ITAB) ve ergime bölgelerinden üç ayrı nokta alınarak ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde kaynak ilerleme hızının artması birleşmenin sertlik dağılımında düzensizlikler ve hem kaynak dikiş genişliğinde hem de kaynak nüfuziyetinde bir azalma bulunmuştur. Ancak lazer gücünün artması ile kaynak dayanımında, kaynak dikişinin genişliğinde ve kaynak nüfuziyetinde bir artış gözlemlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Lazer kaynağı, Farklı çelik türleri, Nüfuziyet, Mikroyapı, Mekanik özellikler.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [cakmakkaya@aku.edu.tr](mailto:cakmakkaya@aku.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çakmakkaya, M., Çolak, F., Kara, R., Karaağaçlı, A. (2020). Lazer Kaynak Yöntemiyle Birleştirilen Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Farklı Tür Çeliklerin Kaynak Dikiş Geometrisi ve Nüfuziyetine Kaynak Parametrelerinin Etkisi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 1-11.

## The Effect of Welding Parameters on Welding Seam Geometry and Penetration of Different Types of Steels Used in Automotive Industry Combined with Laser Welding Method

**ABSTRACT:** In this study, laser welding was applied to ST 6222 and DP600 sheets used in the automotive industry and the effects of different welding parameters on microstructure and mechanical properties were investigated. The effect of laser welding made on the basis of basic parameters on the welding seam, welding cross section and hardness of the materials was investigated. In this study, after welding 25x150 mm sized parts with a thickness of 2.0 mm, microhardness values were measured by 50 g load and three different points from the main metal, heat affected zone (HAZ) and melting regions over the welding section. When the results are examined, it has been found that the welding feed rate is increased, irregularities in the hardness distribution of the joint and a decrease in both the weld seam width and the weld penetration. However, with the increase of laser power, an increase in weld strength, width of the weld seam and weld penetration has been observed.

**Keywords:** Laser welding, Different types of steels, Penetration, Microstructure, Mechanical properties.

### 1. GİRİŞ

Lazer kaynağı, yüksek orandaki enerjiyi daha küçük alanlara odaklayabilen, otomotiv ve beyaz eşya sektörleri gibi benzer üretim yapılan birçok sektörde kullanılan yeni ve ileri bir kaynak yöntemidir (Püskülcü ve Koçlular, 2009). Lazer ışığını diğer kaynaklardan ayıran en büyük fark istenen noktaya kolaylıkla ulaştırılabilmesidir. Böylelikle bölgesel olarak, lazer kaynağı ile birleştirilecek olan bölgeye istenilen miktarda enerji gönderilebilmektedir (Jokinen, 2004). Lazer kaynak tekniği, lazer nokta konumlandırma için daha fazla esnekliğe, endüstrideki üretim gereksinimlerini karşılayabilecek yüksek bir hıza ve düşük işletme maliyetine sahiptir. Birleştirme süreçleri ve prosedürleri, yeni uygulamalara ve yeni malzemelerin geliştirilmesine ayak uydurmalıdır. (Farabi ve ark., 2010). Yüksek ve 50 kW'a kadar devamlı güç elde edilebilen bir CO<sub>2</sub> lazer sistemi diğer sistemlere göre verimi en yüksektir (Yaşkın ve ark., 2011; Köse ve Kaçar, 2016). Ancak CO<sub>2</sub> lazer kaynak yöntemi daha uzun dalga boyu ve daha zayıf ışık Emilimi olduğu için anahtar deliği kaynağı olarak kullanılabilir (Köse ve ark., 2016). Darbeli lazer kaynağında, maksimum darbe gücünün ve yüksek darbe sürelerinin seçilmesi kaynakta ideal kaynak dikişi ve doğru nüfuziyet derinliği için gerekli olduğu tespit edilmiştir (Aydın ve Karaağaç, 2018). Bilinen kaynak yöntemleriyle kaynak yapılamayan farklı malzemelerin lazer kaynağının ise son derece başarılı olduğu tespit edilmiştir. (Xu ve ark., 2012; Xu ve ark., 2013).

Otomotiv endüstrisi, bir trafik kazası durumunda enerji Emilimi için gelişmiş yüksek mukavemetli çelikler kullanmaktadır. Otomobilde bulunan direkler ve tavan yayları gibi güvenlik bileşenleri için en umut verici alaşımlardan biri de çift fazlı (DP) çeliklerdir. Çift fazlı çelikler, belirli bir morfoloji ve boyutta, 1 GPa'ya yakın gerilme mukavemetleri elde edebilen martensit ve ferrit olmak üzere iki fazdan oluşur (Ferreira ve ark., 2020). Bundan dolayı yüksek dayanımlı çift fazlı sac malzemelerin kullanımı otomotiv endüstrisinde artmıştır (Şen ve ark., 2015). Otomobil gövde yapısının üretiminde kaynak yapılması kaçınılmazdır (Correard ve ark., 2016). Çift fazlı malzemelerin kaynağında çekme kopmasının nedeninin ITAB iç kısmında meydana gelmesinden ve

ayrıca çift fazlı DP600 çeliğinin esas metal ve kaynaklı parçada sünek kırılma olduğunu tespit etmişlerdir (Khan ve ark., 2012; Donk ve ark., 2015). DP600 yumuşak bir ferrit matrisinde yaklaşık%15 sert martensit içerir (Marya ve Gayden, 2005; Calcagnotto ve ark., 2011).

Bu çalışmada lazer kaynağın başta güç, hız ve ışın boyu gibi temel parametreleri dikkate alınarak malzemelerin kaynak dikişine ve kesitine etkilerini araştırılmıştır. Bu parametrelerin ITAB ve ergime bölgelerinde sertlikleri ölçülmüştür. Farklı kaynak parametrelerinin ST 6222 çeliği ve DP600 çeliği üzerindeki dayanım ve mikroyapı özellikleri üzerine etkisi araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Uygulanacak olan lazer kaynağı için ST 6222 çeliği ve DP600 çeliği seçilmiştir. Bu çelikler su jeti ile 25x150 mm kesilerek hazırlanmıştır. Seçilen malzemelerin kimyasal bileşimleri Çizelge 1’de verilmiştir. Hazırlanan parçalar kendi içlerinde CO<sub>2</sub> lazer ünitesi kullanılarak kaynak yapılmıştır. Kaynak bölgesinde metalografik incelemeler yapılarak Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) Vickers sertlikleri ölçülmüştür.

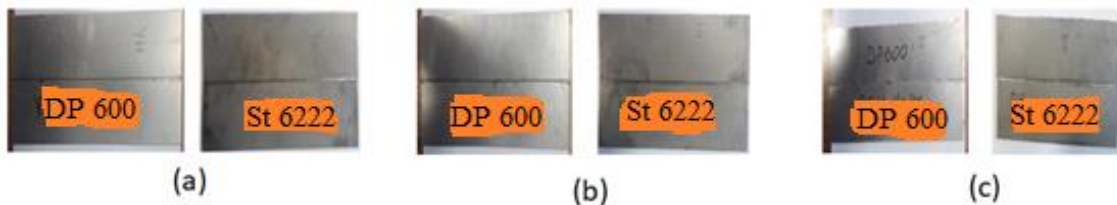
**Çizelge 1.** ST 6222 ve DP600 çeliklerinin kimyasal bileşimi.

% ağı.	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Al	Cu	Ni	Ti	Fe
ST 6222	0.057	-	0.195	0.085	0.031	0.016	0.012	-	0.203	0.057	-	99.298
DP 600	0.152	0.339	1.766	0.365	0.043	0.018	0.019	0.122	0.03	0.057	0.01	96.902

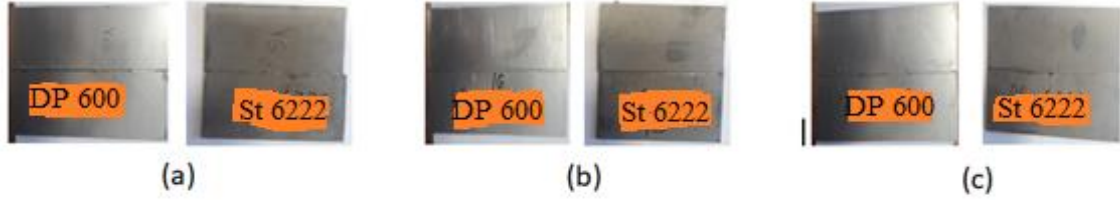
ST 6222 ve DP600 çeliklerinde uygulanacak olan lazer kaynağı seçilen dört parametre (Çizelge 2) dikkate alınarak yapılmıştır (Şekil 1-Şekil 2).

**Çizelge 2.** Kullanılan kaynak parametre değerleri.

	Kaynak Hızı (m/sn)	Lazer gücü (kW)	Işın Güç Yoğunluğu (kW/mm <sup>2</sup> )	Odaklanma Uzaklığı (mm)
Yüksek Hız(YH)	4	47	5.6	50
İdeal Hız(İH)	3	47		
Düşük Hız(DH)	2	47		
Yüksek Güç(YG)	3	56		
İdeal Güç(İG)	3	47		
Düşük Güç(DG)	3	38		



**Şekil 1.** Sırasıyla; yüksek hız(a), ideal hız(b) ve düşük hız(c) parametreleriyle birleştirilmiş iki farklı malzeme



Şekil 2. Sırasıyla; yüksek güç(a), ideal güç(b) ve düşük güç(c) parametreleriyle birleştirilmiş iki farklı malzeme

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kaynak yapılan numunelerin mikroyapıları için kaynak dikişlerinin üstünden ve dikişin genişliğini ifade eden dört tane değer seçilmiştir. Seçilen bu dört değerın ortalaması alınarak  $L_{ort}$  bulunmuştur. Numunelerin kaynak kesitinden ise kaynak nüfuziyeti ölçülmüştür ve bu ölçülen değer  $L_{nüfuziyet}$  olarak ifade edilmiştir.

#### 3.1 Kaynak İlerleme Hızının Etkisi

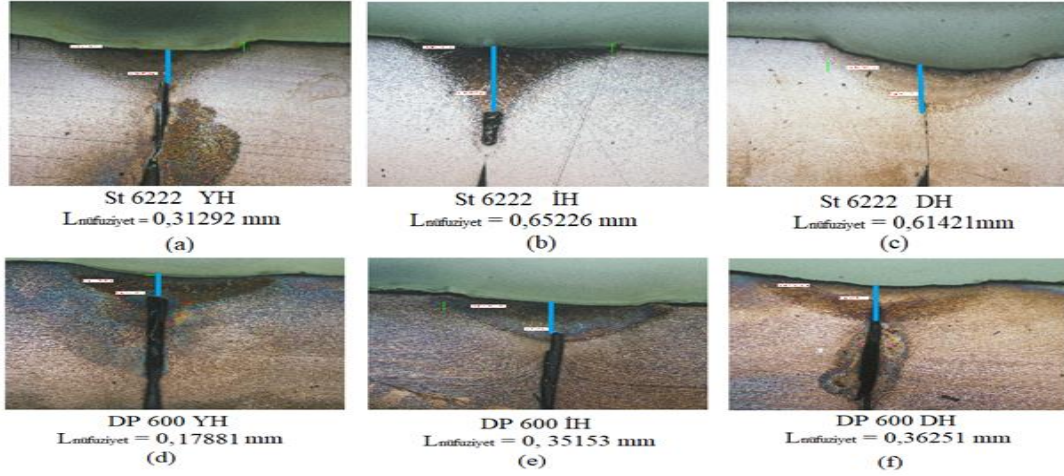
Kaynak ilerleme hızının, numuneler üzerindeki kaynak dikişine etkisi Şekil 3' te verilmiştir. Her iki malzemede de kaynak ilerleme hızının yüksekten düşük hıza doğru azalmasının kaynak dikişinin genişliğinde bir artışa neden olduğu görülmektedir. Bu durumda oluşan ısı girdisindeki azalmayla ergiyen metalin miktarının azalmasından dolayı yüksek hızın kaynak dikişini azalttığı görülmektedir. Ayrıca kaynak aralık sıklığının yüksekten düşük hıza doğru bariz bir şekilde arttığı da görülmektedir.

Şekil 4' te ise uygulanan kaynak ilerleme hızının nüfuziyete olan etkisinin ters orantılı olduğu görülmektedir. Her iki malzemede de kaynak ilerleme hızının yüksek bir değerde seçilmesi, kaynak dikişinde ve kaynak kesitinde bir azalmaya neden olacaktır. Bundan dolayı yapılan kaynağın kalitesi istenilen seviyelerde olamayacaktır.



Şekil 3. Kaynak hızının kaynak dikişine etkisi (200X)



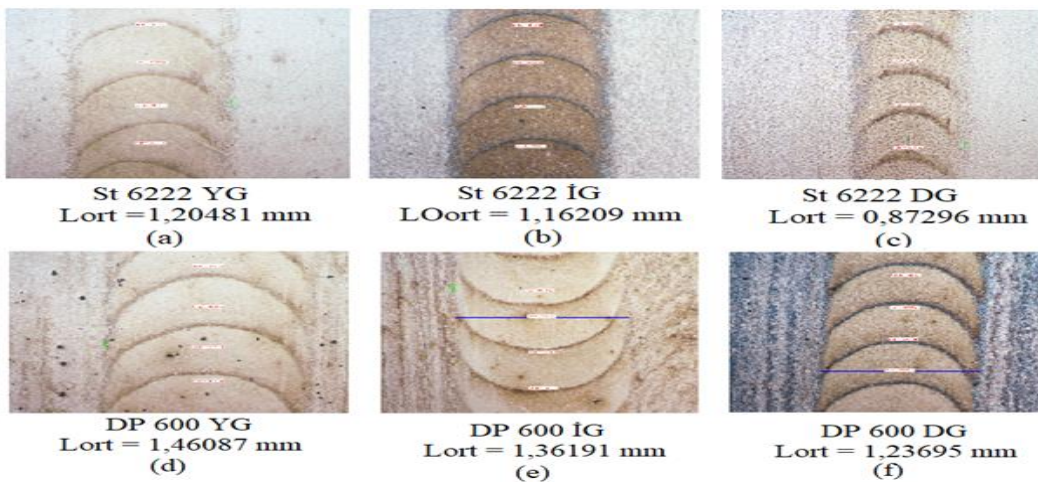


Şekil 4. Kaynak hızının kaynak kesitine etkisi (200X)

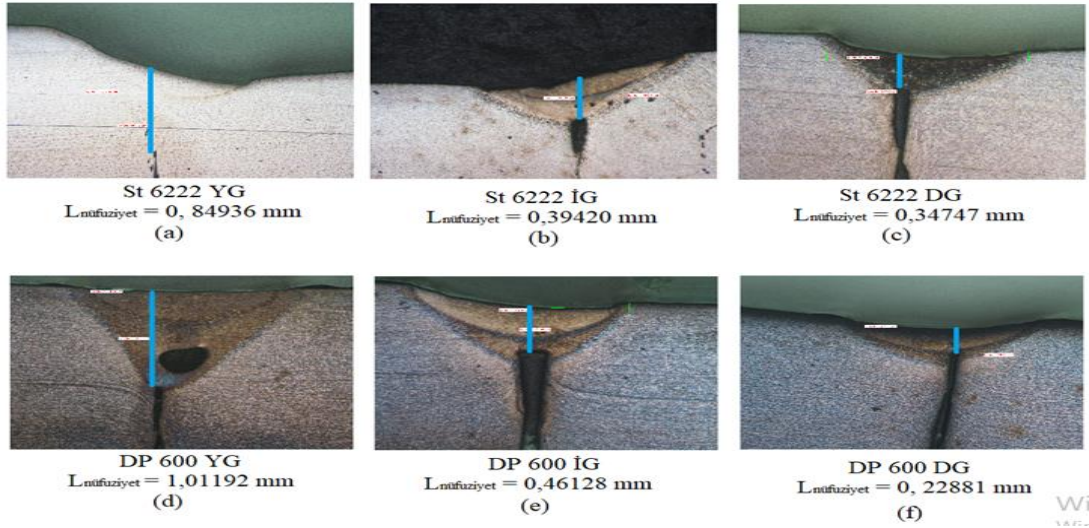
### 3.2 Lazer Gücünün Etkisi

Artan lazer gücü, kaynak dikişinin genişliğinde de artmasına neden olmuştur. Lazer gücünün yüksekten düşük doğru azalması ile kaynak dikişinin genişliğinin azaldığı Şekil 5' te görülmektedir. DP600 çeliğindeki kaynak dikişlerinin ST 6222 çeliğindeki dikişlerden daha geniş olmasına kimyasal bileşimin etkisi olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, kaynak ilerleme hızındaki gibi kaynak dikişlerinin sıklığında bir değişme yaşanmamaktadır.

Şekil 6' da ise kaynak yapılan numunelerin nüfuziyetine lazer gücü parametresinin etkisinin doğru orantılı görülmektedir. Lazer güç parametresinin ise nüfuziyet derinliğine lazer hız parametresine göre daha belirleyici olduğu saptanmıştır. Böylelikle Şekil 5 ve Şekil 6' da seçilen numuneler, lazer gücü ile ilerleme hızına bağlı olarak nüfuziyet derinliği, etkin ve belirleyici kriterler içinde lazer gücü de olduğu ortaya konulmuştur. Örneğin, DP 600 çeliğinde; 0,36251 mm değerinde olan maksimum nüfuziyete düşük hız parametresinde ulaşılabilirken, yüksek lazer gücü parametresinde ulaşılan maksimum nüfuziyet değeri 1,01192 mm'ye kadar çıkabilmiştir. ST 6222 çeliğinde de aynı paralellik söz konusudur. Lazer gücü kaynak yapılacak malzemenin nüfuziyetin de dikkate alınması gereken temel parametre olarak görülmelidir.



Şekil 5. Lazer gücünün kaynak dikişine etkisi (200X)



Şekil 6. Lazer gücünün kaynak kesitine etkisi (200X)

Kaynak ilerleme hızının değiştirilmesiyle kaynak dikiş genişliği ve kaynak nüfuziyetine etki değerlerinin ortalamaları Çizelge 3' te verilmiştir.

Çizelge 3. Kaynak ilerleme hızının değişmesiyle  $L_{ort}$  ile  $L_{nüfuziyet}$  değerleri

		ST 6222	DP 600
$L_{ort}$	Yüksek Hız (YH)	1.27083	1.48475
	İdeal Hız (İH)	1.51307	1.53089
	Düşük Hız (DH)	1.54167	1.53562
$L_{nüfuziyet}$	Yüksek Hız (YH)	0.31292	0.17881
	İdeal Hız (İH)	0.65226	0.35153
	Düşük Hız (DH)	0.61421	0.36251

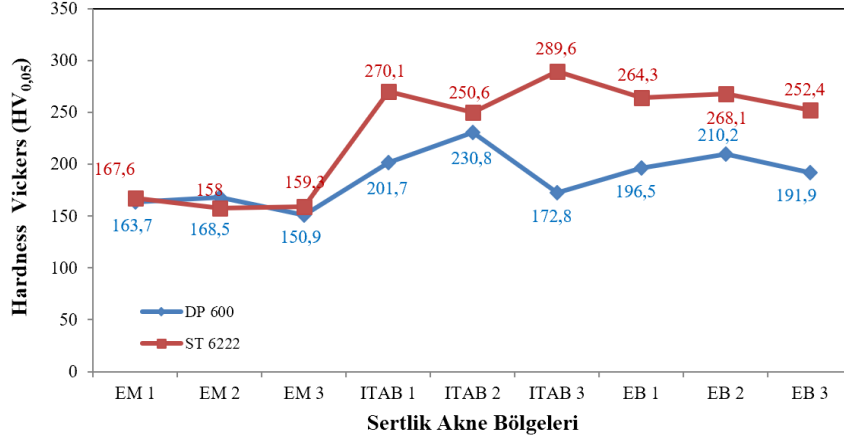
Lazer gücünün değiştirilmesiyle kaynak dikiş genişliği ve kaynak nüfuziyetine etki değerlerinin ortalamalarında Çizelge 4' te verilmiştir.

Çizelge 4. Lazer gücünün değişmesiyle  $L_{ort}$  ile  $L_{nüfuziyet}$  değerleri

		ST 6222	DP 600
$L_{ort}$	Yüksek Güç (YG)	1.20481	1.46087
	İdeal Güç (İG)	1.16209	1.36191
	Düşük Güç (DG)	0.87296	1.23695
$L_{nüfuziyet}$	Yüksek Güç (YG)	0.84936	1.01192
	İdeal Güç (İG)	0.39420	0.46128
	Düşük Güç (DG)	0.34747	0.22881

### 3.3 Tartışma

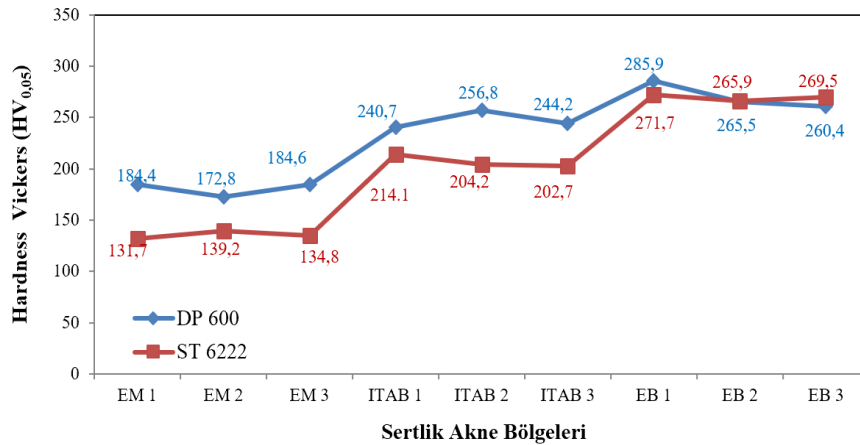
Mikrosertlik testi 50 gr yük ile esas metal kesitinden, ısı tesiri altındaki bölgenin (ITAB) kesitinden ve ergime bölgesi kesitinden üç farklı nokta alınarak yapılmıştır. Yüksek hız parametresinin esas alındığı iki farklı numunenin 3 ayrı bölgeden alınmış sertlik değerleri Şekil 7' de gösterilmiştir.



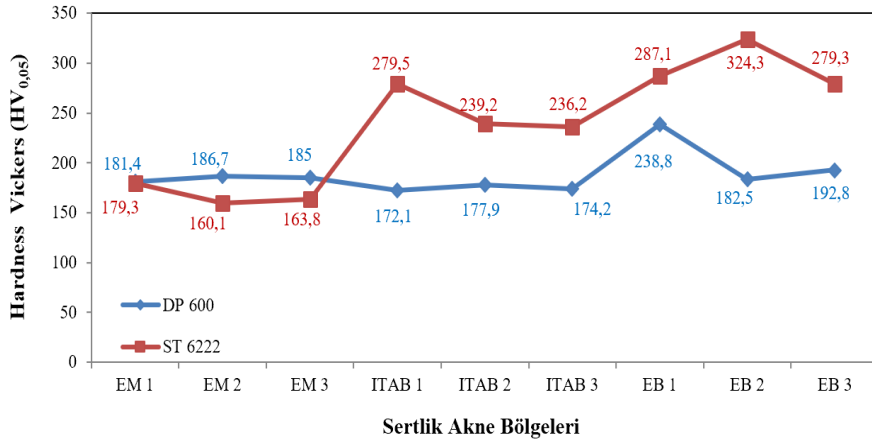
Şekil 7. Yüksek Hız'ın Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi

Sertlik değerleri EM' den ITAB'a doğru aşırı bir şekilde arttığı görülmüştür. Ancak ITAB bölgesinden EB' ne doğru artış olmamıştır. ITAB ve EB'de düzensiz olan sertlik değerlerinin, ITAB' nden düşük olduğu görülmektedir. Kullanılan yüksek hızın, kaynak yapılan parçalardaki ITAB ve EB' nin sertliğini olumsuz etkilediği söylenebilir. Kaynak ilerleme hızının artmasıyla kaynak metaline ısı girdisi azalmaktadır. Kaynak metalinde, azalan ısı girdisi sonucu soğuma hızı da artar. Katılacak olan kaynak metalinde bu yüzden sert ve kırılğan faz oluşumları azalır.

İdeal hız parametresinin de ise sertlik değerlerinin düzenli bir şekilde EM bölgesinden ITAB ve EB'ne doğru arttığı görülmektedir. Her bölgeden sonra seviyeli bir artıştan sonra yeni bölgede sertlik değerlerinin kararlılık gösterdiği görülmektedir (Şekil 8). Bu da seçilen hız değerinin numunelerin kaynağı için uygun olduğu söylenebilir.



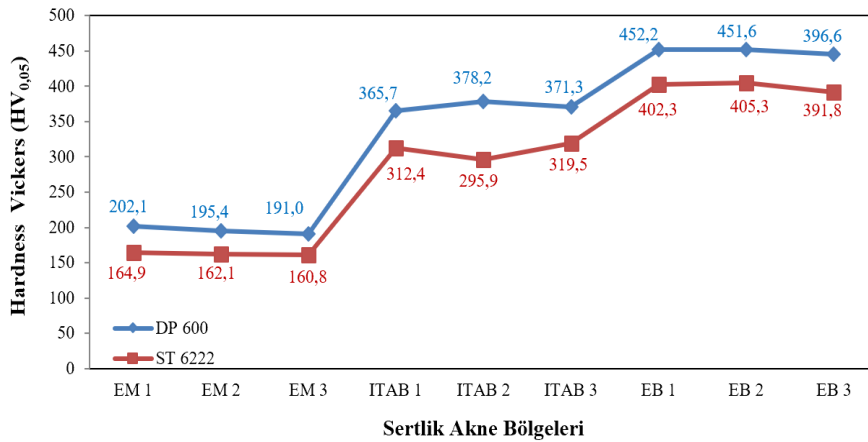
Şekil 8. İdeal Hız'ın Esas Metal (EM), ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi



Şekil 9. Düşük Hız'ın Esas Metal (EM) ITAB ve Ergime Bölgesi (EB) sertliğine etkisi

Düşük hız da kaynak edilen numunelerde EM bölgesinden ITAB' ne geçişte yüksek hız ve ideal hız değerlerine göre çok ciddi bir azalma olduğu görülmektedir. Bu da seçilen parametrenin bu malzemelerin mikroyapı ve mekanik özelliklerini olumsuz etki verdiği düşünülmektedir. Ayrıca hem ITAB hem de EB' nde sertlik değerlerinin düzensiz olduğu görülmektedir (Şekil 9).

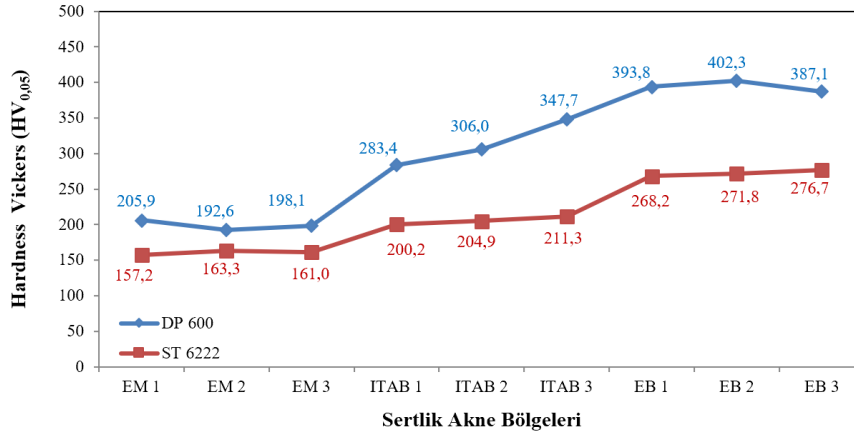
Kullanılan lazer gücünün seçiminde yüksek güçte tercih edildiğinde bulunan sertlik değerlerinin yüksek bir artışla EM bölgesinden sonra ITAB' ne ve EB' ne geçtiği görülmektedir (Şekil 10). Bu durum ise, oluşan yüksek ısı girdisi ile ısı iletkenliği düşük olan malzemelerde soğuma hızının daha yavaş olacağından özellikle paslanmaz çeliklerde görülen sertliği yüksek fazların ortaya çıkmasıyla açıklanabilir.



Şekil 10. Yüksek Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

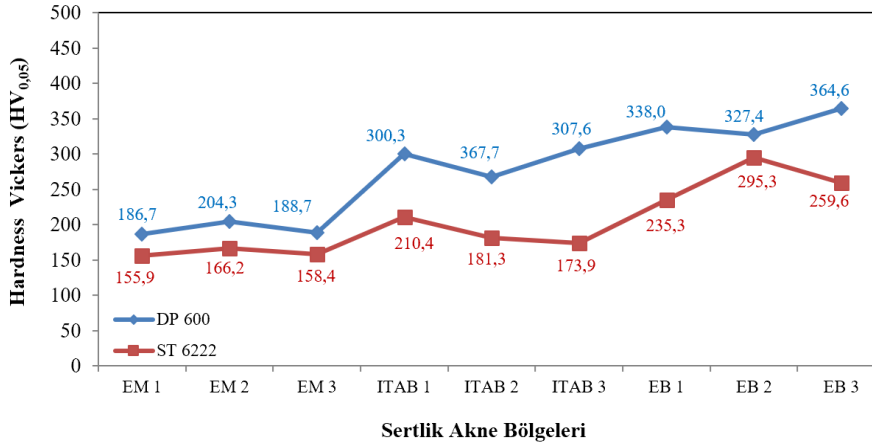
Her iki malzemenin yüksek güç parametresi ile ITAB ve EB' deki sertliklerinin EM bölgesindeki sertliğine göre yaklaşık üç katı gibi değerlere ulaştığı görülmektedir. ITAB ve EB' de ki noktaların birbirine yakın olması buradaki kararlılığı göstermektedir.

Şekil 11' de verilen sertlik değerlerinin ise ideal güç parametresi kullanılarak yapılan kaynak sonrası ITAB ve EB' ne doğru arttığı görülmektedir.



Şekil 11. İdeal Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

Numunelerin sertlik değerlerinde ciddi değişimler olduğu düşük güç parametresinde görülmektedir. Düşük güç parametresi seçilerek yapılan kaynak sonrası ITAB ve EB' ndeki ölçülen sertlik değerleri diğer iki parametreye göre azalmıştır. Bahsedilen bu durum, ITAB' sinin değerlerinde de görülmektedir (Şekil 12).



Şekil 12. Düşük Gücün Esas Metal, ITAB ve Kaynak Bölgesi sertliğine etkisi

Seçilen güç değerlerinin bu malzemelerin sertliğinde olumsuz etkiler yarattığı ITAB ve EB'nde meydana gelen bu iniş ve çıkışlar ile açıklanabilir. Düşük güç parametresinin ise numunelerin sertlik değerlerinde ciddi değişimlere sebep olduğu görülmektedir. Genel olarak ITAB ve EB' ndeki değerlerin seçilen diğer iki parametreye göre azaldığı görülmektedir. Örneğin, DP 600 için EB' nde; yüksek güç maksimum değeri 452,2 HV ve ideal güç maksimum değeri 402,3 HV iken, düşük güçte bu değer 364,6' ya düşmektedir. Bu durum ITAB' sinin değerlerinde de bariz olarak Şekil 12 'de görülmektedir. ITAB ve EB' nde ani iniş ve çıkışların olması seçilen güç değerinin bu malzemenin sertliğinde olumsuz etkiler yarattığı görülmüştür.

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada, otomotiv endüstrisinde kullanılan ST 6222 ve DP600 saclarına lazer kaynağı uygulanmıştır. Uygulanan kaynak işlemi ile mikroyapı ve mekanik özelliklere, farklı lazer kaynak parametrelerinin etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Kaynak ilerleme hızının yüksekten düşük hıza doğru gitmesiyle kaynak dikişinin genişliğinde bir artış görülmüştür. Aynı zamanda düşük hızdan yüksek hıza doğru kaynak aralık sıklığının azaldığı gözlemlenmiştir. Kaynak ilerleme hızı arttıkça numune ile temasın süresi azaldığından dolayı nüfuziyet azalmıştır.
- Uygulanacak hızın yüksek seçilmesi kaynak dikişinde ve kaynak kesitinde bir azalmaya neden olabilir. Böylelikle kaynak özellikleri olumsuz etkilenebilir. Farabi ve ark.,(2010) yaptıkları çalışmada kaynak sırasında hızlı soğuma nedeniyle ergime bölgesinde oluşan büyük miktarda martensitik yapının, sertlikte önemli bir artışa neden olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden bu çalışmada seçilen yüksek hız parametresi kaynak edilmiş malzemenin sertliğinde farklılıklara, yavaş hız ise malzemenin sertliğinde düşüşe neden olmuştur.
- Lazer gücünün artması ile kaynak dikiş genişliğinde ve nüfuziyetinde ciddi artış gözlemlenmiştir. Seçilen yüksek güç, numunelerin sertliğinde bir artışa sebep olmuştur. Ancak bu artışın ITAB ve EB' inin her birinin kendi içinde de anlamlı olduğu görülmüştür.
- Düşük güç seçildiğinde sertlik değerlerinin diğer güç parametrelerine göre azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda ITAB ve EB' ne geçişte farklılıklara neden olduğu anlaşılmıştır. Lazer gücünün artmasıyla dayanım artmıştır.

## 5. KAYNAKLAR

- Aydın K., Karaağaç İ., Lazer kaynağı ve lazer kaynağının başlıca uygulamaları. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5 (2), 693-705, 2018.
- Calcagnotto M., Adachi Y., Ponge D., Raabe D., Deformation and fracture mechanisms in fine- and ultrafine-grained ferrite/martensite dual-phase steels and the effect of aging. *Acta Materialia*, 59, 2, 2011.
- Correard G.C.C., Miranda G.P., Lima M.S.F., Development of laser beam welding of advanced high-strength steels. *Int J Adv Manuf Technol* 83, 1967–1977, 2016.
- Dong D., Liu Y., Yang Y., Li J., Ma M., Jiang T., Microstructure and dynamic tensile behavior of DP600 dual phase steel joint by laser welding. *Materials Science and Engineering: A*, 594, 17-25, 2013.
- Farabi N., Chen D.L., Li J., Zhou Y., Dong S.J., Microstructure and mechanical properties of laser welded DP600 steel joints. *Materials Science and Engineering: A*, 527, 4–5, 2010
- Ferreira C. C., Braga V., Siqueira R. H., Carvalho S. M., Lima Milton S. F., Laser beam welding of DP980 dual phase steel at high temperatures. *Optics and Laser Technology*, 124, 2020.
- Jokinen T., Novel ways of using Nd: YAG laser for welding thick section austenitic stainless steel. PhD Thesis, Lappeenranta University of Technology, 2004.
- Khan A.S., Baig M., Choi S.H., Yang H.S., Sun X., Quasi-static and dynamic responses of advanced high strength steels: experiments and modeling. *International Journal of Plasticity*, 30–31, 1–17, 2012.
- Köse C., Kaçar R., Lazer kaynağı ile birleştirilen AISI 2205 dubleks paslanmaz çeliğin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi. *Technological Applied Sciences*, 11 (4), 98-109, 2016.

- Köse C., Kaçar R., Zorba A.P., Bağirova M., Allahverdiyev A.M., The effect of CO<sub>2</sub> laser beam welded AISI 316L austenitic stainless steel on the viability of fibroblast cells, in vitro. *Materials Science and Engineering: C*, 60, 211-218, 2016.
- Marya, M., Gayden X., Development of requirements for resistance spot welding dual-phase (dp600) steels part 1-the causes of interfacial fracture. *Weld Journal*, 84 (11), 172-182, 2005
- Püskülcü G., Koçlular F., Lazer kaynak yöntemi ve uygulaması. *Mühendis ve Makine*, 599(50), 2009.
- Şen M., Yıldırım E., Çebi H., Özdemir C., Çift fazlı çeliklerden üretilen otomotiv sac parçalarının dizaynında geri esnemeyi optimize edebilmek için sac kalınlığına bağlı olarak büküm radyüslerinin belirlenmesi. *Electronic Journal of Machine Technologies*, 12(2), 75-95, 2015.
- Taşkın M., Çalığülü U., Turkmen M., X-Ray tests of AISI 430 and 304 stainless steels and AISI 1010 low carbon steel welded by CO<sub>2</sub> laser beam welding. *MP-Materials Testing Materials and Components Technology and Application*, 53, 741-747, 2011.
- Xu W., Westerbaan D., Nayak S.S., Chen D.L., Goodwin F., Biro E., Zhou Y., Microstructure and fatigue performance of single and multiple linear fiber laser welded DP980 dual-phase steel. *Materials Science and Engineering: A*, 553, Pages 51-58, 2012.
- Xu W., Westerbaan D., Nayak S.S., Chen D.L., Goodwin F., Biro E., Zhou Y., Tensile and fatigue properties of fiber laser welded high strength low alloy and DP980 dual-phase steel joints *Materials & Design*, 43, 373-383, 2013.

Araştırma Makalesi / Research Article

Borlanmış AISI 316 L Paslanmaz Çeliğin Difüzyon Kinetiğinin İncelenmesi

Yusuf KAYALI<sup>1\*</sup>, Yılmaz YALÇIN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2449-7125>

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7773-8896>

Geliş/ Recieved: 03.05.2020;

Kabul / Accepted: 18.05.2020

**ÖZET:** Paslanmaz çeliklerinin korozyon direncinin genel olarak yüksek olmasından dolayı, AISI 316L paslanmaz çeliği çeşitli endüstri sektörlerinde kullanılmaktadır. Bunun yanında, korozyon direncinin yüksek olması ve biouyumluluk gibi özelliklerinden dolayı tıp alanında da implant malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Böyle iyi özellikleri olmasına rağmen zayıf aşınma performansı ve düşük sertlik taşıdığından endüstride bu çeliğin kullanıldığı alanları sınırlandırılmaktadır. Teknolojinin gelişiminin sağlanması ile beraber malzemelerin yüzey özelliklerinin değiştirilmesiyle ilgili son zamanlarda birçok kaplama yöntemleri gündeme gelmiştir. Bu kaplama yöntemlerinden bir tanesi de borlamadır. Termokimyasal bir difüzyon işlemi olan borlama, bor atomlarının yüksek sıcaklıkta çelik yüzey üzerine difüze edilmesi işlemidir. Borlama işlemiyle düşük sürtünme katsayısı, yüksek korozyon, yüzey sertliği ve aşınma direnci gibi özellikler elde edilir. AISI 316 L paslanmaz çeliğifarklı sıcaklık (1073, 1123, 1173 K) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) borlanmıştır. Elde edilen kaplama tabakalarının yüzey ve faz özellikleri optik ve XRD analizi yardımıyla yapılmıştır. Borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğin sertlikleri Knoop uç kullanılarak ölçülmüştür. Difüzyon kinetikleri ise Arrhenius denklemi ile hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 316 L Paslanmaz Çelik, Borlama, Borür tabakası, Mikrosertlik, Difüzyon Kinetiği.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [ykayali@aku.edu.tr](mailto:ykayali@aku.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Kayalı, Y., Yalçın, Y. (2020). Borlanmış AISI 316 L Paslanmaz Çeliğin Difüzyon Kinetiklerinin İncelenmesi. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 12-21.



## Investigation of Diffusion Kinetics of Boronized AISI 316 L Stainless Steel

**ABSTRACT:** Due to the high corrosion resistance of stainless steels in general, AISI 316L stainless steel is used in various industrial sectors. In addition, it is used as an implant material in the medical field due to its high corrosion resistance and features such as biocompatibility. Although it has such good properties, its poor wear performance and low hardness limits the areas where this steel is used in the industry. Along with the advancement of technology, many coating methods have recently been brought up to change the surface properties of the materials. One of these coating methods is boronizing. Boronizing, which is a thermochemical diffusion process, is the process of diffusing boron atoms onto steel surface at high temperatures. Boronizing process provides properties such as low friction coefficient, high corrosion, surface hardness and wear resistance. AISI 316 L stainless steel is boronized at different temperatures (1073, 1123, 1173 K) and times (2, 4, 6 hours). Surface and phase properties of the coating layers obtained were made with the help of optical and XRD analysis. The hardness of the boronized AISI 316 L stainless steel was measured using the Knoop tip. Diffusion kinetics was calculated with the Arrhenius equation.

**Keywords:** AISI 316 L Stainless Steel, Borided, Boride Layers, Microhardness, Diffusion Kinetics.

### 1. GİRİŞ

AISI 316 L paslanmaz çeliği, yüksek sıcaklık ve korozyon direnci gibi özelliklerinden dolayı birçok endüstri alanlarında geniş kullanım alanına sahiptir (Heras ve ark., 2008; Kayalı ve ark., 2013). Bunun yanında yüksek korozyon direnci ve biouyumluluk gibi özelliklerinden tıp alanında implant olarak kullanılmaktadır (Gil ve ark., 2006). Böyle üstün özellikleri olmasına rağmen zayıf aşınma performansı ve düşük sertliğe sahiptir (Heras ve ark., 2008). Son zamanlarda AISI 316 L paslanmaz çeliğin bu zayıf yönlerini geliştirmek için çeşitli yüzey kaplama işlemleri uygulanmaktadır. En yaygın olarak kullanılan yüzey kaplama yöntemlerin biriside borlama işlemidir. Termo-kimyasal bir difüzyon işlemi olan borlama işlemi bor atomlarının yüksek sıcaklıkta çeliğe difüzyonudur (Kayalı, 2015). Genellikle, 700 °C-1100 °C aralığında 2-10 saat sürelerle farklı (katı, sıvı, gaz, plazma) ortamlarında gerçekleştirilir (Kayalı, 2015). Borlama işlemi, her türlü çeliklere, nikel, titanyum, kobalt, esaslı alaşımlara ve dökme demirler gibi birçok demir esaslı ve demir dışı metallere uygulanmaktadır (Özbek ve Bindal, 2002). En yaygın olarak kullanılan borlama metodu ise kutu borlamadır. Kutu borlama işlemi basit ve maliyeti uygun olduğu için en çok tercih edilmektedir (Atık ve ark., 2003). Borlama işlemi ile yüzey sertliği yükselmesiyle malzemenin adhesiv ve abrasiv aşınma direnci artar.

Bu çalışma da AISI 316 L paslanmaz çeliği farklı sıcaklık ve sürelerde kutu borlama yöntemiyle borlanmıştır. Borlama işlemi sonucunda zaman ve sıcaklık değişimiyle oluşan borür tabaka kalınlıkları tespit edilmiş, tabakaların faz analizi yapılmış ve elde edilen borür tabakasının aktivasyon enerjisi belirlenmiştir.

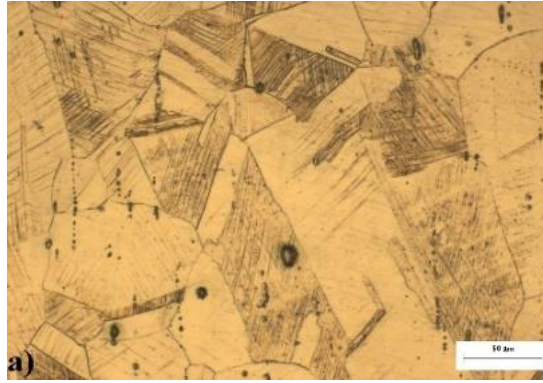
### 2. MATERYAL VE METHOD

#### 2.1. Malzeme ve Borlama

AISI 316 L paslanmaz çeliğin kimyasal analizi Çizelge 1’de ve mikroyapı resmi de Şekil 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi

C	Cr	Ni	Si	Mn	Mo	S	P	Cu	N	Ti
0.02	16.89	10.62	0.39	01,50	2,11	0.03	0.033	0,34	0.054	0.008

**Şekil 1.** AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin satıldığı durumda optik mikroyapısı

Deneylerde kullandığımız numuneler Ø20x10 mm boyutlarında kesilerek 120-800 gritlik zımparalama kademelerinden geçirilerek hazırlanmıştır. Borlama, paslanmaz çelik pota içerisinde Ekabor-2 tozunda farklı sıcaklık (1073, 1123, 1173 K) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) gerçekleştirilerek, oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Kesitten kesilen numuneler 120-1200 gritlik zımpara kademelerinde zımparalandı. 1 µm'lik alümina ile parlatıldı ve paslanmaz çelik dağlayıcı ile dağlanmış ve Olympus BX-60 marka optik mikroskopla incelendi. Bor tabakasındaki fazlar CuKα ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) radyasyonu kullanan Shimadzu XRD-6000 marka X-ray difraksiyonu ile tesbit edilmiştir. Optik mikroskoba bağlı bir dijital kalınlık ölçüm cihazı ile borür kalınlığı ölçülmüştür. Borlanmış numuneler Shimadzu HM-2 mikro-sertlik cihazında 50 gr. yük altında Knoop uç kullanılarak sertlik değerleri tespit edildi.

## 2.2. Kinetik

Buradaki kinetik çalışmalar Eşitlik 1'de verdiğimiz Arrhenius denklemi ile yapılmaktadır (Efe ve ark., 2008).

$$D = D_0 \cdot \exp(Q/R \cdot T) \quad (1)$$

$D_0$ : Difüzyon sabiti ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ ),  $Q$ : Aktivasyon enerjisi ( $\text{J/mol}$ ),  $T$ : Sıcaklık ( $^\circ\text{K}$ ) ve  $R$ : Gaz sabiti ( $8,314 \text{ J/mol.K}$ )'dir.

İlk önce Eşitlik 2 yardımı ile çizdiğimiz ( $x^2-t$ ) diyagramının eğiminden difüzyon katsayıları tespit edilmiştir (Kayalı, 2015).

$$x^2 = D \cdot t \quad (2)$$

$x$ : Elde edilen bor tabasının kalınlığı (cm),

$D$ : Difüzyon katsayısı ( $\text{cm}^2/\text{sn}$ )

t : Borlama süresi (sn)

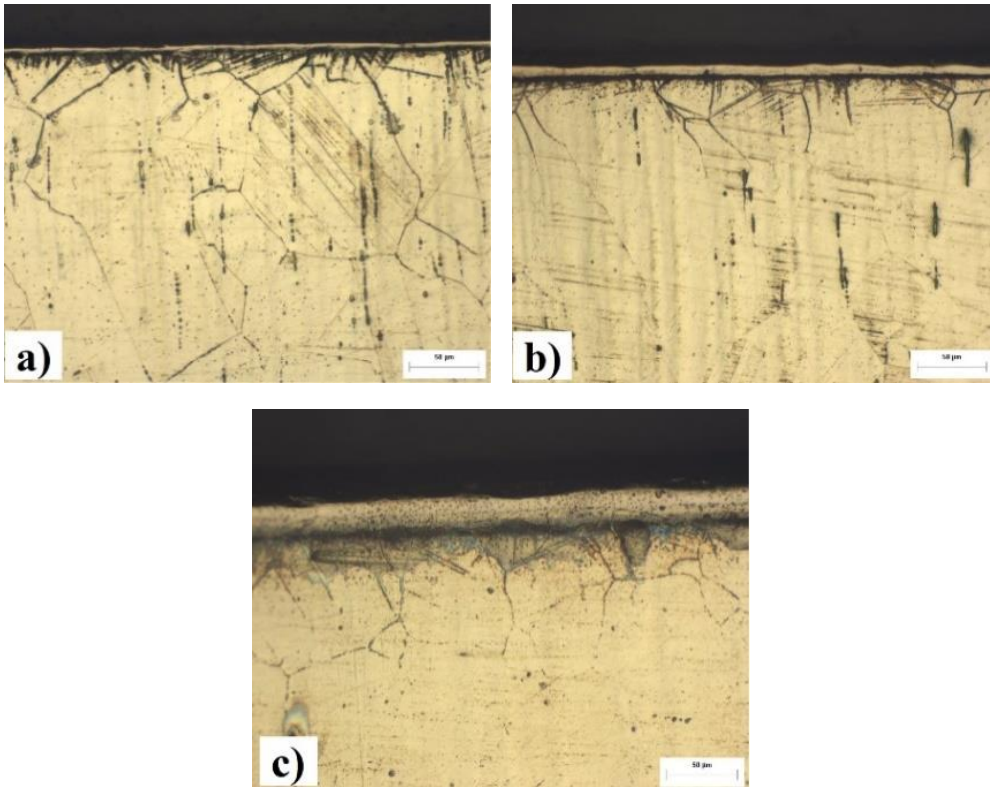
Eşitlik 2'den, Eşitlik 3 elde edilir.  $\ln D$  ile  $1/T$  ile çizilen diyagramın eğimi bize aktivasyon enerjisini (Q) vermektedir (Efe ve ark., 2008; İpek ve ark., 2012; Yu ve ark., 2006).

$$\ln D = \ln D_0 - Q/R.T \quad (3)$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1 Kaplama Tabakasının Karakterizasyonu

1073, 1123 ve 1173 K sıcaklıkta 4 saat borlanmış AISI 316L paslanmaz çeliğin mikro yapı resimleri Şekil 3'de görülmektedir.

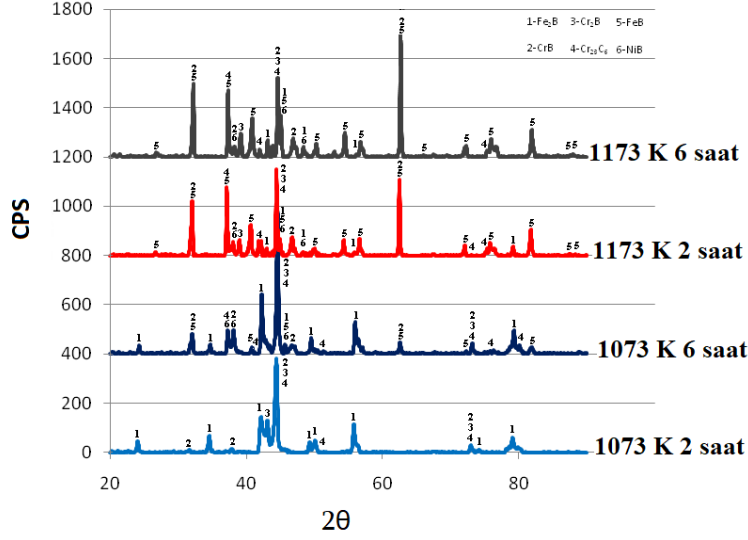


Şekil 3. a) 1073, b) 1123 ve c) 1173 K sıcaklıklarda 4 saat borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğin optik mikroskop görüntüsü

Şekil 3 de elde edilen borur tabakasında kaplama ve matris arayüzeyinin düz ve pürüzsüz olarak görülmektedir. AISI 316 L paslanmaz çelikte elde edilen borür tabakası, diğer borlanmış çeliklere göre, oluşan borür tabakası düz, ince olmasının sebebi paslanmaz çeliğin yüksek miktarda Cr, Ni olmasıyla difüzyon işlemi zorlaşmaktadır (Kayalı ve ark., 2013; Özbek ve ark., 2002). Çeliklerdeki Cr ve Ni miktarı arttığı için elde edilen borür tabakası ince olmakta ve matris ile borür tabakası arasındaki ara yüzey düzleşir (Meriç ve ark., 2000; Özbek ve ark., 2002, Taktak, 2006; Taktak, 2007). Bu sebepten dolayı elde edilen tabaka borlama süresine, sıcaklığına ve kimyasal bileşimle ilişkilidir (Sinha, 1991; Uzun, 2002; Özbek ve ark., 2004; Efe ve ark., 2008).

#### 3.2 Borür Tabakasının XRD analizi

Şekil 4’de AISI 316 L paslanmaz çeliğin 1073 K ve 1173 K sıcaklıklarda 2 ve 6 saat sürelerde borlanmasıyla elde edilen borür tabakalarındaki fazların tayini için X-ışınları difraksiyon analiz sonuçları verilmiştir. Tabakanın FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB, Cr<sub>2</sub>B, NiB ve Ni<sub>2</sub>B fazlarından oluştuğu XRD analizlerinde görülmektedir.

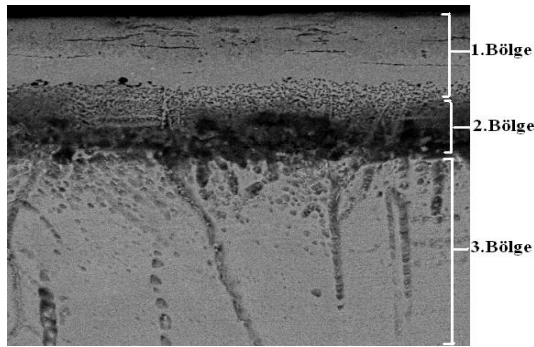


Şekil 4. Borlanmış AISI 316 L paslanmaz çelik numunelerin XRD analizleri

1073 K de 2 saat borlama ile borür tabakasına Fe<sub>2</sub>B fazı hakim iken, 1173 K 6 saat artmasıyla birlikte tabakaya FeB fazı hakim olmaktadır. Borlama süresinin ve sıcaklığının artması ile birlikte FeB ve CrB fazlarının arttığı, Fe<sub>2</sub>B, Cr<sub>2</sub>B fazlarının azaldığı görülmektedir. Difüzyon işleminde yüksek sıcaklıklar da uzun bekleme sürelerinde bor ortamında bekletilmesi sonucunda FeB ve CrB fazları artmaktadır (Kayalı ve ark., 2013).

### 3.3 Borür Tabakasının Kalınlığı ve Sertliği

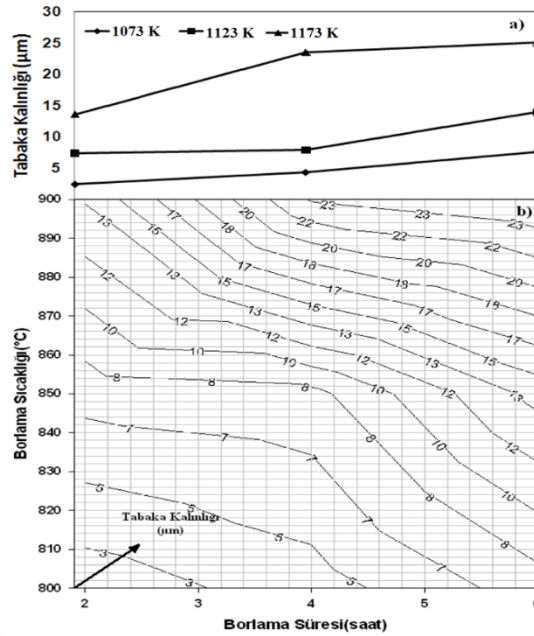
AISI 316 L östenitik paslanmaz çelikte elde edilen borür tabakası 3 bölgeden oluşmaktadır (Şekil 5). 1.Bölge; Borür tabakası (FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB, Cr<sub>2</sub>B, NiB ve Ni<sub>2</sub>B), 2.Bölge; Borun katı çözelti yaptığı daha az sertliğe sahip bölgedir. 3.Bölge; Çeliğin matris kısmıdır (Özbek ve ark., 2002; Özbek ve ark., 2004; Taktak, 2006; Taktak, 2007; Özdemir ve ark., 2009).



Şekil 5. Borlanmış AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin SEM görüntüsü

Borlama sıcaklığı ve süresi ile altlık malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak elde edilen borür tabakasının kalınlığı 2,3 µm ile 25 µm arasındadır (Şekil 6a). Borlama sıcaklığı ve süresinin

artmasıyla borür tabakasının kalınlığı artar (Özbek ve ark., 2004; Taktak, 2007; Efe ve ark., 2008). Aynı şekilde borlama süresi ve sıcaklıkla birlikte borür tabaka kalınlıklarındaki değişim ile kontur diyagramı Şekil 8b'de gösterilmiştir. Kontur diyagramı biri sıcaklık ve süre gibi işlem parametrelerine göre büyüme hızını ve kaplama tabakasının kalınlığını tayin etmek için, diğeri ise önceden belirlenmiş büyüme hızı ve kaplama tabaka kalınlıklarını elde etmede işlem zamanı ve sıcaklığını tespit etmek için kullanılır (Uslu ve ark., 2007; Özdemir ve ark., 2009)



Şekil 6. Borlanmış AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğinin borlama sıcaklığı ve süresine bağlı olarak tabaka kalınlığındaki değişimi a) tabaka kalınlıkları, b) kontur diyagramı

Elde edilen borür tabaka kalınlığı, diğer çeliklere göre düşük (2,3-25 µm) olduğu için mikrosertlik değerleri Knoop uç kullanılarak yapılmıştır. Borlanmış çeliğin borür tabakasının ve borlanmamış çeliğin yüzey sertlik değerleri Çizelge 2’de verilmiştir. Borür tabakasının sertliği 1836 HK<sub>0,05</sub> ile 2227 HK<sub>0,05</sub> arasında bulunmuştur. Oysaki ana malzemenin sertliği 334 HK<sub>0,05</sub> ‘dir. Malzemelerin yüzey sertliğinin borlama işlemiyle arttığı yapılan birçok literatür çalışmasında tespit edilmiştir. Borür tabaka sertliğinin altlık malzemenin sertliğinden çok yüksek olduğu saptanmıştır. Bunun sebebi olarak kaplama tabakasında FeB, CrB gibi çok sert fazların oluşması gösterilebilir. Ayrıca borür tabakasının sertliği krom miktarının artması ile artmaktadır (Bandini ve ark., 1987; Özbek ve ark., 2002; Genel, 2006; Özdemir ve ark., 2009).

Çizelge 2. Borlanmış AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin tabaka kalınlık ve mikrosertlik değerleri

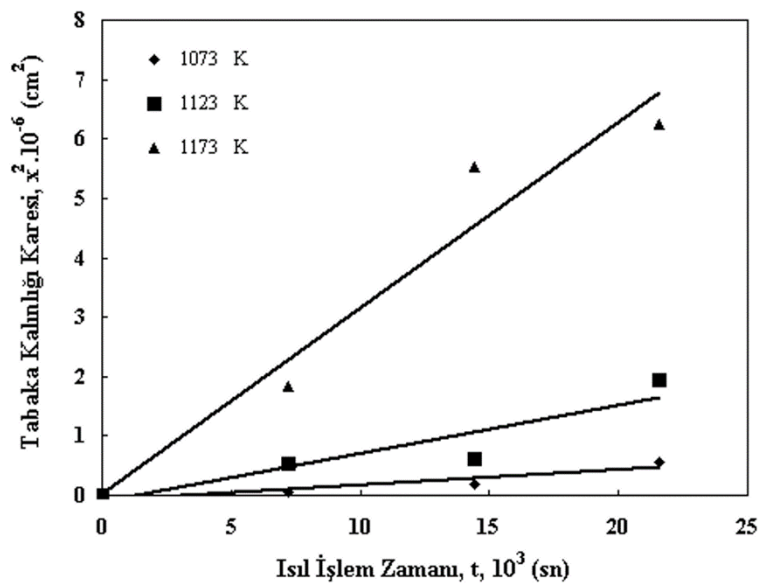
Kaplamasız Sertlik Değeri (HK <sub>0,05</sub> )	Sıcaklık (K)	Süre (Saat)	Tabaka Kalınlığı (µm)	Mikrosertlik Değeri (HK <sub>0,05</sub> )
334	1073	2	2,3	1836
		4	4,2	1980
		6	7,5	2022
	1123	2	7,3	2017
		4	7,8	2054
		6	13,9	2070
		2	13,5	2082

1173	4	23,5	2119
	6	25	2227

### 3.4 Borür Tabakasının Difüzyon Kinetiği

Elde edilen borür tabakasının kalınlığı, borlama sıcaklığına, borlama süresine ve içerdiği alaşım elementlerine de bağlıdır (Uslu ve ark., 2007; Efe ve ark., 2008). Farklı sıcaklık (1073, 1123 ve 1173 K) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğinin borlama süresi ile borür tabaka kalınlığının karesi ( $x^2-t$ ) değişimini veren diyagram Şekil 7 de ve difüzyon katsayılarının değerleri Çizelge 3’de verilmiştir. Şekil 7’de borür tabaka kalınlığı ve borlama süresi arasında parabolik ilişki vardır.

Sıcaklığın artmasıyla difüzyon katsayısının artması beklenen bir sonuçtur (Şen ve ark., 2005; Taktak, 2006; Uslu ve ark., 2007; Efe ve ark., 2008). Borlama sıcaklığın yükselmesiyle, difüzyon işlemi hızlandığı için daha kalın borür tabakası tesbit edilmiştir.

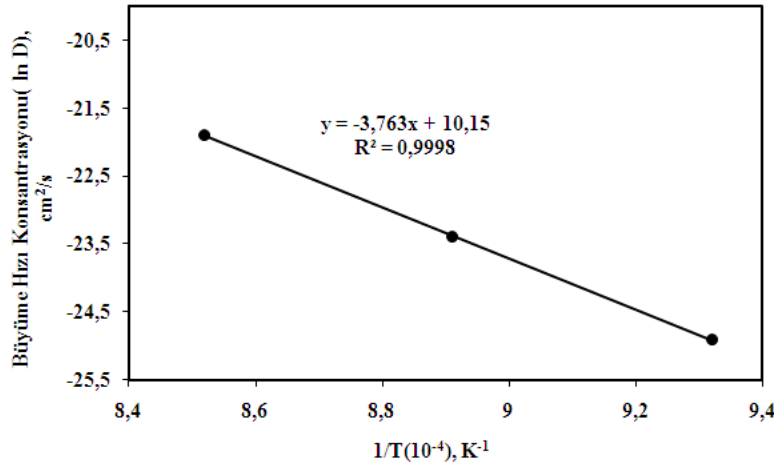


Şekil 7. AISI 316 L paslanmaz çeliğinin ( $x^2-t$ ) diyagramı

Çizelge 3. AISI 316 L paslanmaz çeliğinin farklı sıcaklıklardaki difüzyon katsayı değerleri

Borlama Sıcaklığı (K)	Difüzyon Katsayısı (cm²/sn)
1073	$1,521 \cdot 10^{-11}$
1123	$6,857 \cdot 10^{-11}$
1173	$30,886 \cdot 10^{-11}$

Aktivasyon enerjisi (Q) Eşitlik 3.3 kullanılarak  $\ln D$  ile  $1/T$  arasında elde edilen diyagramın eğiminden hesaplanmıştır. Şekil 8’de Farklı sıcaklık (1073, 1123 ve 1173 K) ve sürelerde (2, 4, 6 saat) borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğinin  $\ln D-1/T$  diyagramı ve Çizelge 4’de elde edilen aktivasyon enerji değeri ile elde edilen formül verilmiştir.



Şekil 8. AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin lnD-1/T grafiği

Çizelge 4. Aktivasyon enerjisi ve elde edilen formüller

Çelik	Elde Edilen Formüller		Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)
		$D = 25591,102 \cdot \exp\left(-\frac{312930,972}{R \cdot T}\right) \left[\frac{\text{cm}^2}{\text{s}}\right]$	
AISI 316 L	$x = \sqrt{25591,102 \cdot e^{\left(\frac{37637,5}{T}\right)} \cdot t \cdot 1000} [\mu\text{m}]$		312,930

Borlama sıcaklığına bağlı olarak AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğinin borür tabaka kalınlığından yola çıkılarak yapılan kinetik incelemesinde, difüzyon katsayılarının sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. 1073 K'de  $1,521 \cdot 10^{-11}$ , 1123 K'de  $6,857 \cdot 10^{-11}$  ve 1173 K'de  $30,886 \cdot 10^{-11}$   $\text{cm}^2/\text{sn}$  ve aktivasyon enerjisi 312,930 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Elde ettiğimiz formüllerden AISI 316 L paslanmaz çelik için istediğimiz sıcaklıkta elde edeceğimiz bor kalınlığını ve difüzyon katsayısını hesaplayabiliriz (Çizelge 4).

Çizelge 5'de literatürde farklı borlama ortamlarında yapılmış olan çeliklerin aktivasyon enerji değerleri verilmektedir. AISI 316 L paslanmaz çeliğin kinetik sonuçları daha önce yapılmış olan çalışmalarla karşılaştırıldığında aktivasyon enerjisinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni ise AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğinin çok yüksek miktarda Cr ve Ni elementine sahip olmasıdır. Aktivasyon enerjisinin artması ve tabaka kalınlığının azalması çelikteki alaşım elementinin miktarının artması ile ilgilidir (Şen ve ark., 2005; Taktak, 2006; Uslu ve ark., 2007; Efe ve ark., 2008).

Çizelge 5. Literatürde farklı borlama ortamlarında farklı çeliklerde elde edilmiş aktivasyon enerjilerinin karşılaştırılması

Çelik	Sıcaklık Değişimi (K)	Borlama Ortamı	Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)	Kaynaklar
AISI 5140, 4340, D2	1123-1223	Sıvı Borlama	223, 234, 170	Şen ve ark.,2005
AISI H13, 304	1073-1223	Sıvı Borlama	244,37-253,35	Taktak, 2006
AISI 1040, P20	1073-1223	Kutu Borlama	168, 200	Uslu ve ark., 2007
31CrMoV9, 34CrAlNi7	1123-1223	Kutu Borlama	230-270	Efe ve ark., 2008
AISI 316 L	1073-1173	Kutu borlama	312,930	Bu çalışmada

#### 4. SONUÇ

AISI 316 L paslanmaz çeliğin kaplama ve matris arayüzey düze ve pürüzsüz bir tabakası elde edilmiştir. X-ışınları difraksiyon analizi ile elde edilen borür tabakasında FeB, Fe<sub>2</sub>B, CrB, Cr<sub>2</sub>B, NiB ve Ni<sub>2</sub>B fazları elde edilmiştir. Düşük borlam sürelerinde ve sıcaklıklarında Fe<sub>2</sub>B fazı baskın iken, sıcaklık ve süresinin artmasıyla FeB ve CrB fazları baskın olmasının yanında NiB ve Ni<sub>2</sub>B fazlarının da olduğu görülmüştür.

Borlama sıcaklığı ve süresi ile altlık malzemenin kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak elde edilen borür tabakasının kalınlığı 2,3 µm ile 25 µm arasındadır. Borlanmış AISI 316 L paslanmaz çeliğinin zayıf olan yüzey sertliği yaklaşık 7 kat artmıştır. AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğin matris sertliği 334 HK<sub>0,05</sub> iken, borlama işlemi sonucunda yüzey sertliği borlama işleminin sıcaklık ve süresine bağlı olarak 1836 HK<sub>0,05</sub> ile 2227 HK<sub>0,05</sub> arasında değişmiştir.

Borlama sıcaklığına bağlı olarak AISI 316 L östenitik paslanmaz çeliğinin borür tabaka kalınlığından yola çıkılarak yapılan kinetik incelemede, difüzyon katsayılarının sıcaklıkla doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. AISI 316 L paslanmaz çelikte yüksek miktarda bulunan alaşım elementlerinden dolayı aktivasyon enerjisi 312,930 kJ/mol olarak belirlenmiştir. Alaşım elementinin artmasıyla tabaka kalınlığı azalmak ve aktivasyon enerjisini artmaktadır.

#### 5. TEŞEKKUR

Bu çalışma, Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "09.TEF.01" kodlu proje ile desteklenmiştir.

#### 6. KAYNAKLAR

- Atık E., Yunker U., Meriç C., The Effects of Conventional Heat Treatment and Boronizing on Abrasive Wear and Corrosion of SAE 1010, SAE 1040, D2 and 304 Steels, *Tribology International*, 36(3), 155-161, 2003.
- Badini C., Cianoglio C., Paradelli G., The Effect of Carbon and Chromium on the Hardness of Borided Layers, *Surface and Coatings Technology*, 30, 157-170, 1987.
- Efe G.Ç., İpek M., Özbek İ., Bindal C., Kinetics of borided 31CrMoV9 and 34CrAlNi7 steels *Materials Characterization*, 59, 23-31, 2008.
- Genel K., Boriding kinetics of H13 steel, *Vacuum*, 80, 451-457, 2006.
- Gil L., Brühl S., Jiménez L., Leon O., Guevara R., Staia M.H., Corrosion performance of the plasma nitrated 316 L stainless steel, *Surface & Coatings Technology*, 201, 4424-4429, 2006.
- Heras E.D.L., Egidi D.A., Corengia P., Santamaria D.G., Luis A.G., Brizvela M., Lopez G.A., Martinez M.F., Duplex Surface Treatment of an AISI 316 L Stainless Steel; Microstructure and Tribological Behaviour, *Surface&Coating Technology*, 202, 2945-2954, 2008.
- Ipek M., Efe G.C., Ozbek I., Zeytin S., Bindal C., Investigation of Boronizing Kinetics of AISI 51100 Steel, *Journal of Materials Engineering and Performance*, 21(5), 733-738, 2012.
- Kayalı Y., Büyüksağış A., Yalçın Y., Corrosion and Wear Behaviors of Boronized AISI 316L Stainless Steel, *Journal of Metals And Materials International*, 19(5), 1053-1061, 2013.
- Kayalı Y., Investigation of diffusion kinetics of borided AISI P20 Steel in Micro-wave furnace. *Vacuum*, 121(3), 129-134, 2015.



- Meriç C., Şahin S., Yılmaz S.S., Investigation of The Effect on Boride Layer of Powder Particle Size Used in Boronizing with Solid Boron-yielding Substances, *Materials Research Bulletin*, 35C, 2165-2172, 2000.
- Özbek I., Bindal C., Mechanical properties of boronized AISI W4 steel. *Surface and Coatings Technology*, 154(2), 14-20, 2002.
- Özbek I., Sen S., Ipek M., Bindal C., Zeytin S., Ucisik A.H., A mechanical aspect of borides formed on the AISI 440C stainless-steel, *Vacuum*, 73(2), 643-648, 2004.
- Özdemir O., Omar M.A., Usta M., Zeytin S., Bindal C., Ucisik A.H., An investigation on boriding kinetics of AISI 316 stainless steel, *Vacuum*, 83(2), 175-179, 2009.
- Şen Ş., Şen U., Bindal C., An Approach to Kinetic Study of Borided Steels, *Surface & Coatings Technology*, 191, 274-285, 2005.
- Sinha A. K., Boriding (Boronising), *ASM Handbook*, Vol. 4, J. Heat Treating, 437-447, 1991.
- Taktak Ş., A study on the diffusion kinetics of borides on boronized Cr-based, *J Mater Sci.*, 41, 7590-7596, 2006.
- Taktak Ş., Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels, *Materials and Design*, 28, 1836-1843, 2007.
- Uslu I., Comert H., Ipek M., Ozdemir O., Bindal C., Evaluation of borides formed on AISI P20 steel, *Materials and Design* 28, 55- 61, 2007.
- Uzun H.A., Borlama ile Yüzeyleri Sertleştirilen Çeliklerin Aşınma ve Korozyona Karşı Dayanımları”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2002.

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Plazma Püskürtme ile Üretilmiş Beyaz ve Gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamaların Mekanik Özellikleri**

Muhammed KARABAŞ<sup>1</sup>, Ersan MERTGENÇ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0666-6132>

<sup>2</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Motorlu Araçlar ve Ulaştırma Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8247-2922>

**Geliş/ Recieved:** 13.04.2020;

**Kabul / Accepted:** 24.05.2020

**ÖZET:** Paslanmaz çelikler yüksek korozyon direnci, paslanmaz özelliklerinden dolayı endüstride geniş bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu üstün özelliklerinin yanında yüksek sıcaklığın söz konusu olduğu agresif ortamlarda oksidasyon en büyük dezavantajları olup, paslanmaz çeliklerin servis ömürlerinin iyileştirilebilmesi için kaplama üretimi araştırmacıların ilgi odağı haline gelmiştir. Bu çalışmada plazma püskürtme yöntemi ile gri alümina ve beyaz alümina kullanılarak AISI 304 L paslanmaz çelik yüzeyleri kaplanmıştır. Kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin mikroyapı özellikleri ve tabaka kalınlıkları ölçümü Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplama yüzeyleri pürüzlülük değerleri ölçülerek, kaplama tabakası sertlikleri ise mikrosertlik cihazı yardımıyla 20 gr yük altında gerçekleştirilmiştir. Kaplama tabakasının düz ve pürüzsüz yapıya sahip olduğu ve matris kaplama geçiş tabakasının düz bir yapıda olduğu görülmüştür. Tabaka kalınlığının gri alümina ile kaplamada 216.7 µm iken beyaz alümina ile kaplamada ise 116.7 µm olarak tespit edilmiştir. Yüzey sertliğinin ise gri alümina ile kaplamada yaklaşık 5.5 kat, beyaz alümina ile kaplamada ise 7 kata kadar arttığı tespit edilmiştir. Kaplama ile beraber malzemenin aşınma hızlarında ve sürtünme katsayılarında düşüş tespit edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** AISI 304 L, Plazma püskürtme, Gri alümina, Beyaz alümina.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [ersanmertgenc@hotmail.com](mailto:ersanmertgenc@hotmail.com)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Karabaş, M., Mertgenç, E. (2020). Plazma Püskürtme ile Üretilmiş Beyaz ve Gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Kaplamaların Mekanik Özellikleri. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 22-28.

## Mechanical Properties of White and Grey Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Coatings Fabricated by Plasma Spray

**ABSTRACT:** Stainless steels find wide usage in the industry due to their high corrosion resistance and stainless properties. In addition to these superior features, poor oxidation resistance in aggressive environment is the biggest disadvantage and it has recently become the focus of researchers to increase the surface hardness in order to improve the service life of stainless steels. In this study, the AISI 304 L stainless steel surface was coated with the gray method using gray alumina and white alumina. Microstructure properties and layer thickness measurement of coated AISI 304 L stainless steels were examined by scanning electron microscope (SEM). Coating surfaces were measured by roughness values and coating layer hardnesses were carried out under a 20-gr load with the aid of a microhardness device. It has been found that the coating layer has a flat and smooth structure and the matrix coating transition layer has a flat structure. Layer thickness was 216.7 µm in coating with gray alumina and 116.7 µm in coating with white alumina. It was determined that surface hardness increased approximately 5.5 times in coating with gray Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and up to 7 times in coating with white alumina. The wear rates and friction coefficient of substrate material were decreased due to coating application with the white and grey alumina.

**Keywords:** AISI 304 L, Plasma spraying, Gray alumina, White alumina.

### 1. GİRİŞ

Alümina seramik kaplamalar yüksek sıcaklık dayanımları, agresif ortamlarda kimyasal stabilite, dielektrik özellikleri ve diğer seramik malzemelere nazaran iyi mekanik özelliklere sahip olmaları sebebiyle birçok uygulamada yaygın olarak kullanılmaktadır (Chráska ve ark., 1997). Seramik kaplama üretiminde birçok farklı teknik olmasına rağmen, plazma püskürtme yöntemi yapışma mukavemeti, birikme verimi ve kaplama işlemi sonrası herhangi bir işlem gerektirmemesi gibi özellikleri nedeniyle öne çıkmaktadır. Plazma püskürtme işleminde bir tabanca düzeneğinde konumlandırılmış anot ve katod kutupları arasına plazma oluşturuucu argon, hidrojen, helyum gibi gazlar belirli bir akış hızında beslenir ve bu kutuplara akım verildiğinde yüksek entalpili bir plazma alevi oluşur. Bu plazma jetinin merkezindeki sıcaklık yaklaşık 15.000 K civarındadır ve seramik partiküller bu plazma jeti içerisine yaklaşık 1 km/s<sup>-1</sup> hızında beslenir. Plazma jeti içerisinde milisaniye süresinde kalan seramik partikülleri yarı ergiyik hale geçer ve kaplanacak malzemeye püskürtülür. Hızlandırılmış ve yarı ergiyik haldeki partiküller kaplanacak malzemeye çarpar ve kuvvetli bir mekanik bağlanma sağlandıktan sonra üst üste birikerek yüksek kaliteli ve homojen bir kaplama tabakası oluşturur (Gill ve Tucker, 1986). Fakat yüksek plazma sıcaklığı sebebiyle kaplama işlemi esnasında püskürtülen malzemenin faz yapısı ve saflığını kontrol etmek zor olabilmektedir. Ayrıca buhar basıncı düşük malzemeler plazma alevi içerisinde buharlaşabilmekte ve stokiometrik olmayan kaplamalar oluşabilmektedir (Sarıkaya, 2005a, 2005b; Toma ve ark., 2010).

Alümina endüstriyel olarak plazma spreyle en çok üretilen kaplamalardan birisidir. Bu nedenle plazma püskürtme Alümina kaplamalar birçok araştırmaya konu olmuştur. Bu araştırmalara göre Alümina plazma spreyle püskürtüldüğünde yüksek plazma entalpisi nedeniyle faz dönüşümlerine uğrayabilmektedir. Ticari Alümina tozları alfa Alümina fazında üretilmektedir. Fakat plazma püskürtme şartlarına göre kaplamalarda faz dönüşümü sebebiyle delta ve gamma Alümina fazları oluşabilmektedir. Genel yaklaşım bu fazların kaplama karakteristiğini çok etkilemediği yönündedir. Fakat bazı çalışmalarda uzun zamanda bu fazların kaplama korozyon direncini olumsuz etkilediği bildirilmiştir (Toma ve ark. 2010).

Bu çalışmada 304L paslanmaz çelik altlıklar üzerine gri ve beyaz alümina kaplamalar plazma püskürtme tekniği ile üretilmiş, üretilen kaplamaların mikroyapısal ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada altlık malzeme olarak Ø20 x 5 mm boyutlarında 304 L kalite paslanmaz çelik kuponlar kullanılmıştır. Kaplama üretim işlemine geçmeden önce altlık malzemeler çift taraflı bant yardımıyla bir plakaya yapıştırılmış ve kumlama işlemine tabii tutulmuştur. Böylece kumlama işlemi sebebiyle oluşması muhtemel farklı yüzey pürüzlülük seviyelerinin önüne geçilmiştir. Kumlama işleminde 50-80 mesh alümina kumu numune yüzeylerinde 200 mm mesafeden 90° açıyla püskürtülmüştür. Kumlanarak yüzeyi pürüzlendirilen numuneler kumlama kaynaklı kirlilikleri gidermek amacıyla teknik etanol içerisinde ultrasonik temizleyicide 30 dk temizlenmiştir. Temizlenen numuneler döner tabla tutucuya yerleştirilmiş ve kaplama işlemi için hazır hale getirilmiştir. Kaplama malzemesi olarak Metco tarafından ticari olarak sunulan Metco 105NS (Partikül boyutu: -45+15 µm) beyaz Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Metco 101NS (Partikül boyutu: -45+11 µm) gri Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tozları kullanılmış olup kimyasal kompozisyonları Çizelge 1’de verilmiştir (kataloglara referans verilmeli, biz ölçmedik).

**Çizelge 1.** Kaplama tozlarının kimyasal kompozisyonları (Ağırlıkça %)

Kullanılan Tozlar	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O
105NS (Beyaz)	98.00	-	2.00	-	0.75
101NS (Gri)	94.00	2.50	2.00	1.00	-

Kaplamaların üretiminde Sulzer Metco 9 MB plazma tabancası kullanılmış ve 730C nozül olarak seçilmiştir. Kaplama tabancası üç eksenli bir CNC robota bağlanarak istenen hız ve hareket ayarlanmıştır. Çizelge 2’de plazma püskürtme işlem parametreleri verilmiştir.

**Çizelge 2.** Plazma püskürtme parametreleri

Parametreler	
Akım (A)	500
Birincil gaz akış hızı, Ar (L/dk)	42.5
İkincil gaz akış hızı, H <sub>2</sub> (L/dk)	7
Toz besleyici gaz hızı, Ar (L/dk)	6.4
Paso sayısı	12
Püskürtme mesafesi(mm)	75
Tabanca hızı (mm/dak)	600
Döner tabla hızı (Hz)	50

Kaplanan numuneler enine kesilerek, kesit yüzeyleri 120-1200 grit zımparadan geçirilerek, 1 µm’luk alümina ile parlatma işlemine tabii tutularak, metalografik olarak hazırlanmıştır. Kesit yüzeyleri parlatılan numunelerin mikroyapı ve kaplama kalınlıkları LEO 1430 VP marka Taramalı Elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Kaplanmış numunelerin sertlik değerleri mikro-sertlik cihazında (Shimadzu HM-2) 15 sn süre ile 20 gr. yük altında yüzeyden altlığa doğru sıra sertlik

alınarak, ortalama sertlik değeri hesaplanmıştır. Yüzey pürüzlülük değerleri ise Time-TR 220 model yüzey pürüzlülük cihazı ile ölçülmüştür.

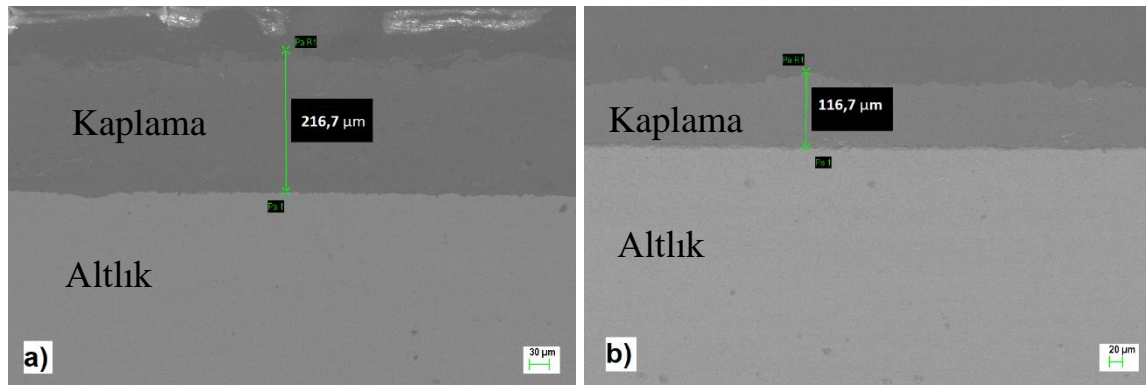
Aşınma deneyleri oda sıcaklığında, bilye disk sisteminde, 1895 HV<sub>0.02</sub> sertliğe sahip WC-Co bilye kullanılarak, 500 metre mesafede 5 N yük altında 0,3 m/s kayma hızında gerçekleştirilmiştir. Aşınma hızı ise aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Hızı} = \text{Aşınma hacmi miktarı} / (\text{Uygulanan yük} \times \text{Kayma mesafesi}), \text{mm}^3/\text{Nm}$$

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Mikroyapı Karakterizasyonu

Gri alümina ve beyaz alümina ile kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin SEM mikroyapı fotoğrafları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. 304 L Paslanmaz çeliğin a) Gri alümina, b) Beyaz alümina kaplama tabakalarının SEM resimleri

Şekil 1 de yer alan mikroyapı resimleri incelendiğinde, yüzeyde oluşan kaplama tabakası ve altık ara yüzeyi düz bir morfolojiye sahiptir. Kaplamalar ile altık malzeme ara yüzeyi incelendiğinde sürekli bir yapışmanın sağlandığı belirlenmiş olup, kaplamaların altık malzemeye yapışmasında herhangi bir problem olmadığı anlaşılmıştır.

Plazma püskürtme yöntemiyle AISI 304 L paslanmaz çelik altık üzerine gri ve beyaz alümina kullanılarak yapılan kaplamalarda elde edilen tabaka kalınlıkları ve yüzey pürüzlülüklerine ait değerler çizelge 3 de verilmiştir.

**Çizelge 3.** Gri alümina ve beyaz alümina ile kaplanmış AISI 304 L paslanmaz çeliğin kaplama tabaka kalınlık ve yüzey pürüzlülük değerleri

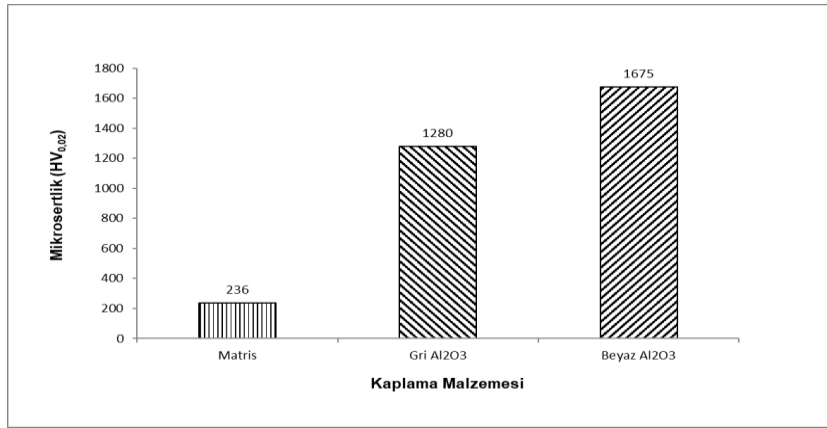
Malzeme (Kaplama)	Tabaka Kalınlığı (µm)	Yüzey Pürüzlülüğü Ra, (µm)
Gri alümina	216.7	0.82
Beyaz alümina	116.7	0.64

Kaplama tabakası kalınlıkları gri alümina kullanılarak yapılan kaplamada 216.7 µm, beyaz alümina kullanılarak yapılan 116.7 µm olarak ölçülmüştür. Kaplamaların aynı plazma püskürtme işlem parametreleri ile üretildiği düşünüldüğünde, Gri alümina tozunun birikme verimi beyaz alümina tozundan daha yüksektir. Bu durum kaplama üretimi için seçilen tozların fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Gri alüminanın erime noktası (2040 °C) azda olsa beyaz alüminadan (2055 °C) daha

düşüktür. Bu durum gri alüminanın plazma içerisinde beyaz alüminaya göre daha kolay ve hızlı yarı ergiyik hale geçmesine neden olur. Plazma alevinden yarı ergiyik halde altlık malzemeye doğru ilerleyen partiküller altlık malzemeye yapışır ve üst üste birikerek kaplama tabakasını oluşturur. Yüksek erime noktasına sahip partiküller, yeterli derecede yarı ergiyik hale dönüşemediği zaman altlık malzemeye çarparak geri seker veya ergimemiş partikül olarak kaplama tabakasında kalır. Bu nedenle aynı parametreler ile püskürtülmüş farklı malzemeler için farklı birikme verimleri ortaya çıkabilir. Yüzey pürüzlülük değerleri incelendiğinde ise gri alümina ile yapılan kaplamada yüzey pürüzlülüğünün beyaz alümina ile yapılan kaplamaya oranla daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Farklı yöntemlerle yapılan kaplama çalışmalarında da kaplama kalınlığı ile yüzey pürüzlülüğü arasında bir ilişkinin olduğu ve yüzey kaplama kalınlığının artışı ile yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir (Taktak 2007, Smith 1995).

### 3.2. Kaplama Tabakası Sertliği

Numunelerin kesit yüzeylerinden, kaplama tabakasından alınan sertlik ölçümlerine ait grafik Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Gri alümina ve Beyaz alümina ile kaplanmış paslanmaz çeliğe ait sertlik grafiği

Şekil 2 incelendiğinde AISI 304 L paslanmaz çelik altlığa ait sertlik değeri 236 HV<sub>0,02</sub> iken, gri alümina ile kaplamada sertliğin 1280 HV<sub>0,02</sub>, beyaz alümina ile kaplamada ise 1675 HV<sub>0,02</sub> seviyelerine kadar yüzey sertliğinin arttığı tespit edilmiştir. Malzemelerin üzerine alümina kaplanmasında voltaj ve akıma bağlı olarak sertliğin 1500 HV<sub>0,02</sub> kadar ulaştığı tespit edilmiştir (Gao et al 2002).

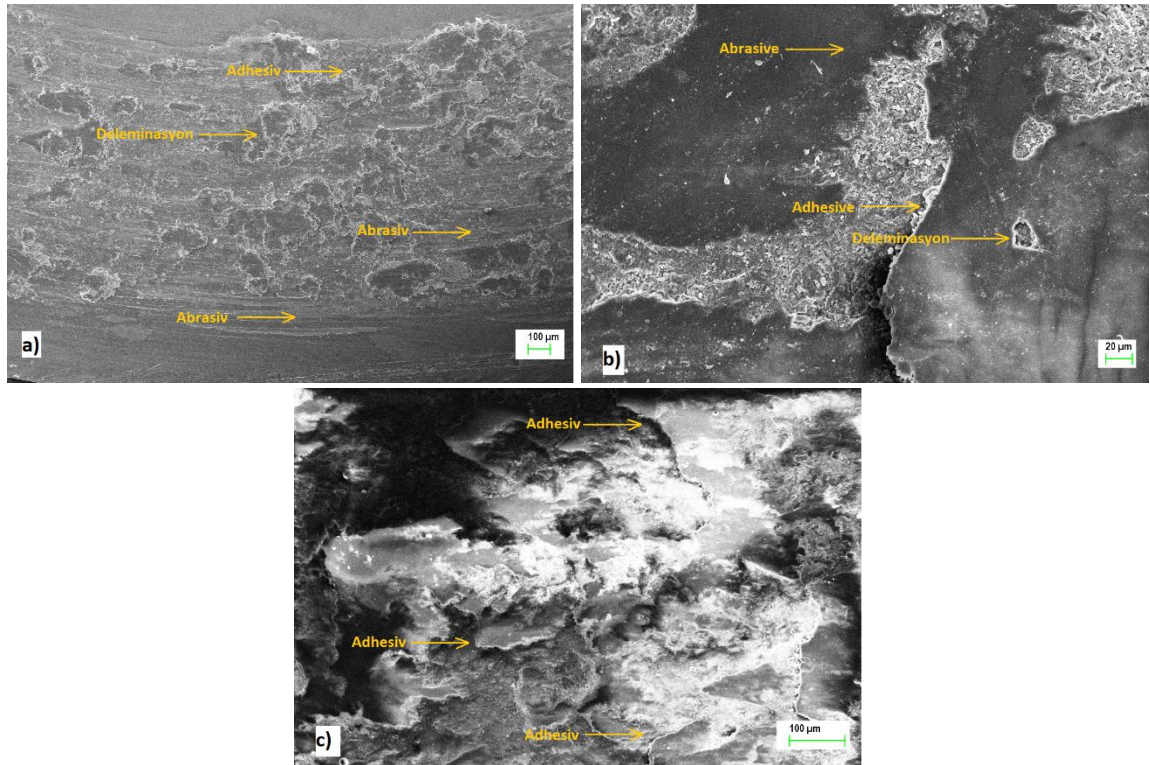
### 3.3. Aşınma Deneyleri

Gri ve beyaz alümina ile yapılan kaplamalarda, kuru sistemde 5 N yük altında, 0.3 m / s aşınma hızında, 500 m mesafede yapılan aşınma testlerinde elde edilen değerler Çizelge 3 de, aşınma izlerine ait SEM görüntüleri ise Şekil 3 de verilmiştir.

Çizelge 3. Gri ve beyaz Alümina ile kaplanmış paslanmaz çeliğe ait aşınma değerleri

Malzeme	Aşınma hızı x 10 <sup>-6</sup> (mm <sup>3</sup> / Nm )	Sürtünme Katsayısı
Kaplamasız	61.2	0.71
Gri Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.73	0.45
Beyaz Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.24	0.37

İşlemsiz AISI 304 L paslanmaz çeliğinin aşınma hızı  $61.2 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.71 iken gri Alümina ile kaplanmasından sonra aşınma hızı  $9.73 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.45'e, beyaz Alümina ile kaplanmasından sonra ise aşınma hızı  $7.24 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$ , sürtünme katsayısı 0.37 olarak tespit edilmiştir. Kaplama işleminden sonra gri Alümina ile kaplamada aşınma direncinin yaklaşık 6 kat, beyaz Alümina ile kaplamada ise aşınma direncinin yaklaşık 8 kat artmıştır. Kaplama tabakası kalınlığı gri Alümina ile kaplamada daha yüksek olmasına rağmen, beyaz Alümina ile kaplamada daha düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısı elde edilmiştir. Beyaz Alümina ile yapılan kaplamada yüzey sertliğinin yüksek olması aşınma direncini de arttırmıştır ki Liu and Li (2001)'de malzemelerin sertlik değerleri ile aşınma hızı artışı arasında ters orantı olduğunu belirtmiştir.



**Şekil 3.** AISI 304 L paslanmaz çeliğin a) kaplanmamış, b) gri alümina ve c) beyaz alümina ile kaplanmasıyla yapılan aşınma testlerinin yüzeyden alınan SEM resimleri

Şekil 3 incelendiğinde kaplama yapılmamış numunede delaminasyonların ve abrasif aşınmanın ağırlıkta olduğu görülmektedir. Gri alümina ile kaplanmış numunede delaminasyonla beraber abrasif ve adhesiv aşınma görülürken, beyaz alümina ile kaplanmış numunede neredeyse tamamen adhesiv türü aşınmanın olduğu tespit edilmiştir. Gri alümina ile kaplamada abrasif aşınmanın fazla görülmesi, kaplamanın sertliğinin bilyenin sertliğine nazaran daha düşük olduğu için kaplama tabakasından kopmalar meydana gelerek bilye-numune ara yüzeyinde aşındırıcı olarak davranmasından kaynaklanmaktadır. Beyaz alümina ile kaplamada bilye sertliğine (1895 HV<sub>0.02</sub>) yakın kaplama tabakası sertliği mevcut olup, sertlik arttıkça pürüzlülük düşmektedir (Sarıkaya 2005b). Yüzeydeki düşük pürüzlülük nedeniyle numunenin bilye ile temas eden yüzeylerinden homojen deformasyonlar meydana gelmekte ve bundan dolayı adhesiv aşınma ağırlıklı olarak görülmektedir.

#### 4. SONUÇ

Plazma püskürtme yöntemi ile paslanmaz çelik yüzeyinin gri alümina ve beyaz alümina kullanılarak kaplanmasıyla elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir;

- Elde edilen kaplama tabakalarının düz ve homojen bir yapıya sahip olduğu, altlık-kaplama ara yüzeyinde yapışmayı olumsuz etkileyecek boşluk, çatlak vb. herhangi bir etkene rastlanmamıştır.
- Kaplama tabakasının gri alümina ile kaplamada 216.7 µm iken beyaz alümina ile kaplamada 116.7 µm olarak tespit edilmiştir.
- Beyaz alümina gri alüminadan daha yüksek sertlik değerine sahiptir.
- Beyaz alümina ile yapılan kaplamada gri alümina ile yapılan kaplamaya göre sürtünme katsayısının daha düşük, aşınma direncinin daha yüksektir.
- Gri alümina ile yapılan kaplamada abrasiv ağırlıklı aşınma görülürken, beyaz alümina ile kaplamada ise adhesiv ağırlıklı aşınma izleri yoğunluktadır.

#### 5. KAYNAKLAR

- Chráska P., Dubsky J., Neufuss K., Písacka, J., Alümina-base plasma-sprayed materials part I: Phase stability of Alümina and Alümina-chromia. *Journal of Thermal Spray Technology*, 6(3), 320-326, 1997.
- Gill B.J., Tucker R.C., Plasma spray coating processes. *Materials Science and Technology*, 2(3), 207-213, 1986.
- Liu R., Li D.Y., Modification of Archard's equation by taking account of elastic/pseudoelastic properties of materials. *Wear*, 251(1-12), 956-964, 2001.
- Sarikaya O., Effect of some parameters on microstructure and hardness of Alumina coatings prepared by the air plasma spraying process. *Surface and Coatings Technology*, 190, 388-393, 2005(a).
- Sarikaya O., Effect of the substrate temperature on properties of plasma sprayed Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> coatings. *Materials & Design*, 26, 53-57, 2005(b).
- Smith D.L., Thin-film deposition: principles and practice. New York: McGraw-Hill; 1995.
- Taktak S., Some mechanical properties of borided AISI H13 and 304 steels. *Materials & Design*, 28, 1836-1843, 2007.
- Toma F.L., Stahr C., Berger L.M., Saaro S., Herrmann M., Deska D., Michael G., Corrosion resistance of APS and HVOF sprayed coatings in the Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> system. *Fraunhofer IWS*, 19, 2010.
- Gao Y., Xu X., Yan Z., Xin A., High hardness Alümina coatings prepared by low power plasma spraying. *Surface & Coatings Technology*, 154, 189-193, 2002.



**Araştırma Makalesi / Research Article**

**ROS/Gazebo Ortamında Tank Sürüş Özellikli Mobil Bir Robotun Simülasyonu**

Yavuz Bahadır KOCA<sup>1\*</sup>, Barış GÖKÇE<sup>2</sup>, Yılmaz ASLAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0317-1417>

<sup>2</sup>Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6141-7625>

<sup>3</sup>Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye,  
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9798-1519>

**Geliş/ Recieved:** 21.05.2020;

**Kabul / Accepted:** 25.06.2020

**ÖZET:** Robot simülatörleri, teorik bulguların performansını gerçek robotlara uygulamadan önce tahmin etme olanağı sağlar. Bu çalışmada, mobil bir robotta sistem performans analizini amaçlayan Gazebo simülatörü ile Robot İşletim Sistemi (ROS) kullanılarak, tank sürüşü özellikli bir mobil robot için 3 boyutlu modelleme ve simülasyon sunulmaktadır. Bu kapsamda holonomik olmayan tank sürüş özellikli mobil bir robot tasarlanmış, tüm fiziksel ve atalet özellikleri tanımlanmış ve simüle edilmiştir. Gazebo, Birleşik Robot Açıklama Formatı (URDF) ve parametrelendirilmiş robot bileşen makro (XACRO) dosyası aracılığıyla robot dünya ortamının, fiziksel modelin, algılayıcıların ve kontrol sisteminin simülasyonunu sağlar. Gerçekleştirilen bu simülasyonla robotta gerçek sistem uygulamasından önce oluşabilecek eksiklikler tespit edilebilir. Bu sayede, gerekli yazılımların geliştirilmesi ve test edilmesi imkânı elde edilir. Sunulan yaklaşım, Gazebo simülatörü ve ROS programı ile tank sürüş mobil bir robotta modelleme ve simülasyonu gerçekleştirilen sistematik yapı sayesinde insansız kara araçları gibi diğer mobil robotik sistemlerinin de çalışmalarının geliştirilmesine katkı sunar. Ayrıca bu alanda çeşitli uygulamaların yapılabilmesine de olanak da sağlar. Bu çalışmada, tank sürüşü özellikli bir mobil robotun konum kontrolü yapılarak bir değerlendirme sunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** ROS, Gazebo, Tekerlekli robot, Tank sürüş, Simülasyon, Konum Kontrolü, Kapalı döngü kontrolü.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [ybkoca@aku.edu.tr](mailto:ybkoca@aku.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Koca, Y.B., Gökçe, B., Aslan, Y. (2020). ROS/Gazebo Ortamında Tank Sürüş Özellikli Mobil Bir Robotun Similasyonu. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 29-41.

## Simulation of A Skid Steer Driving Mobile Robot in ROS / Gazebo Environment

**ABSTRACT:** Robot simulators provide the ability to predict the performance of theoretical findings before applying them to real robots. In this study, 3D modeling and simulation is presented for a mobile robot with skid steer driving feature by using Gazebo simulator and Robot Operating System (ROS), which aims to analyze system performance in a mobile robot. In this context, a mobile robot with non-holonomic skid steer driving is designed, all physical and inertial properties are defined and simulated. Gazebo provides simulation of the robot world environment, physical model, sensors and control system via the Unified Robot Description Format (URDF) and parameterized robot component macro (XACRO) file. With this simulation, deficiencies that may occur before the real system application can be detected in the robot. In this way, it is possible to develop and test the necessary software. The presented approach contributes to the development of other mobile robotic systems, such as unmanned ground vehicles, thanks to the systematic structure modeled and simulated in a mobile driving robot with a Gazebo simulator and ROS program. It also enables various applications in this area. In this study, an evaluation is made by position control of a mobile robot with skid steer driving.

**Keywords:** ROS, Gazebo, URDF, Wheeled robot, Skid steer drive, Simulation, Velocity Control, Closed loop control.

### 1. GİRİŞ

Mobil otonom bir robot, çevresi hakkında bilgi elde edebilen ve tanımlı olan çevresel bilgisini anlamlı ve güvenli bir şekilde hareket etmek için kullanılabilen bir makinedir (Arkin 1998). Mobil robotlar, modern toplumla birlikte insanoğlunun hayatında giderek artan bir öneme sahip olmaktadır. Kara, hava ve su gibi değişik ortamlarda görev alabilen otonom mobil robotlar izleme, değerlendirme, tanımlanan görevleri yapmaya yönelik olarak birçok görevi yerine getirmek üzere tasarlanmaktadır. Otonom mobil robotların geliştirilmesi için uygulama türü oluşturan temel robot platformları için büyük önem arz eder. Ayrıca bu uygulamalarda kullanılacak olan diğer aktüatörler, sensörler gibi çeşitli hususlar dikkate alınarak robotlar tasarlanmaktadır (Bekey, 2005; Matarić ve ark., 2007). Mobil robotlar kinematik özellikleri açısından farklı şekilde tasarlanabilirler. Bu çalışma da sert bir gövde çerçevesine sahip dört tekerlekli, doğru akım motoru ile çalışan tank sürüş özelliğine sahip bir robot tasarlanmıştır. Tank sürüş robotlar tekerlekleri sağ ve sol taraflarda birbirine senkronize olarak çalışan ve mekanik olarak kilitli sistemlerdir. Tahrik tekerlekleri sağ ve sol taraflarda birbirinden bağımsız olarak sürülebilir. Ayrıca bir direksiyon mekanizmasına sahip olmayan bu araç yapısında araç platformu makinenin gövdesi üzerinde sabit bir düz hizaya sahip olarak manevra yapar.

Karasal uygulamalarda genellikle tekerli mobil robotlar daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Tekerlekli mobil robot (TMR) tasarlandığı amaç için bir çevrede insansız olarak ve uzaktan herhangi bir kontrol olmaksızın verilen görevleri yerine getirebilme kapasitesine sahip olmalıdır (Rivera ve ark., 2019). Bu açıdan aracın şekli ve kontrol yapısı değişiklikler gösterir. Dolayısıyla bir robotta çok önemli bir bileşen, robotik sistemin uygulamadan önce yazılımsal olarak kontrol, navigasyon ve diğer sistemler açısından tasarlanabilmesi prototip üretimleri ve pratik uygulamalar açısından çok önemlidir (Correa ve ark., 2012). Bu tasarlanan ve oluşturulan mimari ile robota ait tanımlanan özellikleri ve amacını belirleyen hususlar çerçevesinde dünyası hakkında gerekli bilgileri toplayıp derlemesi ve bunları işleyerek görevini eksiksiz ve güvenli bir şekilde tamamlaması beklenir. Burada robotların tercih edilmesinin en önemli faktörü erişilebilirlik, güvenlik ve hayatta kalma

maliyetleri yüksek olan veya insanlar tarafından gerçekleştirilmesi zor ve tehlikeli görevlerde kullanılmalarıdır. Bu zor görevlerde kullanılacak robotların uygulama aşamasından önce bir yazılımsal ortamda tüm parametrelerinin doğru tanımlanabilmesi ve donanımsal yapılarının doğru analiz edilebilmesi çok önemlidir. Robot tasarımı ile ilgili çeşitli program uygulamaları mevcuttur. Bu uygulamalardan son dönemde birçok araştırmacı tarafından tercih edilen yazılım ise robot işletim sistemi (ROS) programıdır.

ROS, Stanford Üniversitesi tarafından STAIR projesinde bir robot işletim sistemi olarak geliştirilmiştir (Joseph, 2015). Karmaşık robotik sistemlerin geliştirilmesi amacıyla kullanılan ücretsiz ve açık kaynaklı bir robot yazılım aracıdır. Donanım soyutlaması, düşük seviye cihaz kontrolü, süreçler arası mesaj geçişi ve paket yönetimi sağladığı için robotlar için bir meta işletim sistemi görevi görür. Esasen ROS' un kendisi bir işletim sistemi olmayıp, bu işletim sistemi altında çalışan bir programdır. Ayrıca, birden fazla bilgisayarda kod elde etmek, oluşturmak, yazmak ve çalıştırmak için araçlar ve kütüphaneler sağlar.

ROS programının en önemli avantajı robot sensör verilerinin, donanım sürücüleri ile uğraşmak zorunda kalmadan uygulanabilmesine ve soyut veri akışı olarak değiştirilmesine izin vermesidir. Bu sayede yazılım geliştiricilerin robotların programlanmasını çok daha kolay hale getirir. Donanım sürücüleri ve arayüzler ile çalışma zorunluluğunun olmaması büyük bir kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca ROS, kol denetleyicileri, yüz izleme, haritalama, yerelleştirme ve yol planlama gibi birçok üst düzey uygulama sağlar. Bu sayede program kullanıcılarına, programın kendileri için gerekli kısımlarına odaklanma imkânı sunar.

Robotikte, sürekli artan sistem karmaşıklığı ve özerklik düzeyi, araştırmacıları ve yazılımcıları ortaya çıkabilecek entegrasyon sorunlarından kurtarmak ve robotta karar verebilme yeteneklerini artırmak için daha güçlü bir sistem mimarisine ihtiyaç duymaktadır. Buna ek olarak karmaşık tasarım süreci ve farklı robotların davranışlarının entegrasyonu, iyi tanımlanmış bir çevre ortamının desteklenmesini ile ancak mümkün olabilir. Robot çevresi sadece yazılım süreçlerini daha başarılı kılmak için değil, aynı zamanda birbirleri ile uyum farkındalığına dayalı otonom görev planlaması ile yazılı davranışların genişletilmesi açısından da esastır.

Bu çalışma toplam beş başlık altında ele alınmıştır. 2. Bölüm de bir mobil robotu modellemek için kullanılan ROS mimarisi ile birlikte simülasyon ortamında gerçekleştirmek için kullanılan Gazebo programını açıklanmaktadır. Bölüm 3'te tank sürüş özellikli mobil bir robotun ROS programında oluşturulması ve oluşturulan bu modelin Gazebo ortamında uygulanma süreci anlatılmaktadır. Bölüm 4' te ise modeli oluşturulan robotta konum kontrolünün uygulanması, kontrol mekanizması ile elde edilen verilerin değerlendirilmesi sunulmuştur. Son bölümde ise sonuçlar ile birlikte ileriki dönemde yapılması planlanan çalışmalar açıklanmıştır.

## 2. ROS ve GAZEBO

Robot üretiminin ilk aşaması, tasarımı ve modellemesidir. Bir robot AutoCAD, Solid Works, Blender ve benzeri CAD araçları kullanılarak tasarlanabilir ve modellenir. Bir robotu modellemenin temel amaçlarından biri simülasyon programı vasıtasıyla robot davranışlarını, performansını ve doğruluğunu gibi farklı yeteneklerini ölçmektir. Dolayısıyla robotik simülasyon aracı, robot tasarımındaki kritik kusurları kontrol edebilir. Robot üretim aşamasına geçmeden önce çalıştığını doğrulayabilir.

Sanal robot modeli gerçek donanımın tüm özelliklerine sahip olmalıdır. Tasarımı yapılan robotun fiziksel olarak şekli gerçek robot gibi görünebilir veya görünmeyebilir. Ancak gerçek robottaki tüm fiziksel özelliklere sahip soyut bir model olmalıdır. Mobil robotlar tasarlanırken amaç, kararlı mekanik yapılara sahip olurken hassasiyet ve hız gibi istenen işlevleri yerine getirmek için gerekli güvenilirlik ve manevra kabiliyetine sahip modeller elde etmektir. Ayrıca bu analiz, morfolojiye bağlı olarak, robotta amacın yerine getirilmesi için sensörler ve aktüatörler gibi bileşenleri en iyi şekilde düzenlenmesini gerektirmektedir. Bununla birlikte matematiksel olarak tanımlanacak olan kinematik ve dinamik özellikler robotta tanımlanması için ihtiyaç duyulan hesaplamalardır. Ancak aynı mobil robotu simüle etmek için ROS programında istediğimiz işlevselliğe bağlı olarak matematiksel modeller geliştirmeden de tasarlanabilmektedir.

ROS-Gazebo ikilisi genel olarak robot topluluğu tarafından çevrelerinin güvenilirliği ve ortak özelliklerin esnekliği, sağlamlığı ve kullanılabilirliği ile simüle edebilme yeteneği için kullanılan güçlü bir kombinasyondur (Koenig ve Howard, 2004). Bununla birlikte, hem esnekliğe hem de diğer robot ortamlarıyla entegrasyona izin veren bu karmaşıklık yönetiminin, bu Gazebo-ROS platformunun tüm potansiyelinden yararlanmak için sağlam bir bilgi gerektirdiğini anlamak kolaydır (Furrer ve ark., 2016).

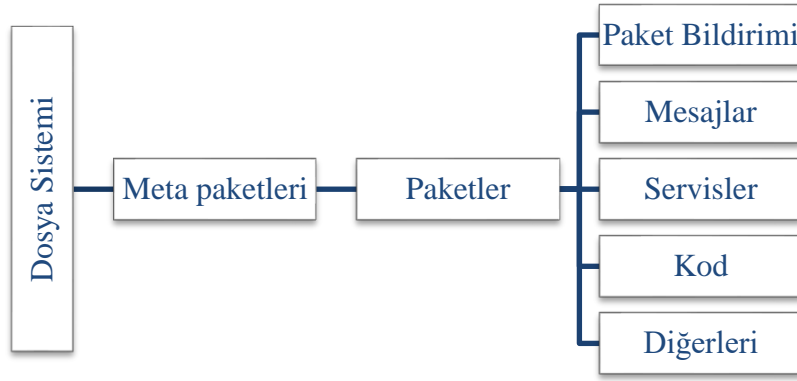
## 2.1. ROS Programı

Robot teknolojisi son on yılda çok önemli bir gelişim göstermiştir. Özellikle ROS gibi yeni açık kaynaklı platformların ortaya çıkması, robot sistemlerinin hem araştırma imkanlarını hem de nihai kullanıcı uygulamalarında daha erişilebilir hale getirmesine olanak sunmuştur (Alajlan ve Koubâa, 2016). Bu imkanlar neticesinde ROS, robot araştırmaları ve şirketlerin robotları modellemesi, simüle etmesi ve prototip üretmesi için en yaygın kullanılan yazılım çerçevelerinden birisi haline gelmiştir (Mahtani ve ark., 2018). ROS, geliştiriciler açısından çok büyük bir dönüşüm ve geliştirme ortamı sunmuştur. Her geçen gün ROS yeni uygulamalar ve robotlar oluşturmak için bir dizi araç, altyapı ve uygulamaları sağlayarak önemli bir yer edinmektedir.

ROS mimarisi üç bölüme veya kavram seviyesine ayrılmıştır. Bunlar; dosya sistemi seviyesi, hesaplama grafiği seviyesi ve topluluk düzeyi olarak sınıflandırılabilir. ROS kullanarak mobil bir robotta üç boyutlu modelini oluşturmayı simüle etmeyi planlıyorsak, robot tasarımına yardımcı olan bazı ROS paketleri hakkında da bilgi edinmek gerekmektedir. ROS, robot\_model adı verilen ve urdf, kdl\_parser, robot\_state\_publisher, collada\_urdf vb. paketlerden oluşan robot modelleri tasarlamak ve oluşturmak için standart bir meta pakete sahiptir (Joseph, 2015). Bu paketler, gerçek donanımın kesin özelliklerine sahip üç boyutlu bir robot modeli tanımlamasını oluşturmamıza yardımcı olur. ROS mimarisinin temel kavramlarını aşağıda sırasıyla ele alalım.

### 2.1.1. ROS Dosya Sistemi

ROS dosya sistemi, bir robot geliştirme sürecini merkezileştirmek ve aynı zamanda bağımlılıklarını merkezden uzaklaştırmak için yeterli esneklik ve araç sağlamaktır. Bir işletim sistemine benzer şekilde bir yapıya sahip olan ROS programı klasörlere ayrılır. Ayrıca bu klasörlerin işlevlerini açıklayan dosyaları vardır. Şekil 1' de ROS dosya sisteminin genel şeması görülmektedir (Mahtani ve ark., 2018).



Şekil 1. ROS dosya sistemi genel prensip şeması.

ROS, tüm işlemlerin bağlı olduğu bir ağ oluşturur. Sistemdeki herhangi bir düğüm bu ağa erişebilir, diğer düğümlerle etkileşime girebilir, gönderdikleri bilgileri görebilir ve ağa veri iletebilir. Bu seviyedeki temel kavramlar düğümler, master, parametre sunucusu, mesajlar, hizmetler, konular ve depolardır. Bunların hepsi grafiğe farklı şekillerde veri sağlarlar. Aşağıda Şekil 2’ de ROS ağ yapısını gösteren şema sunulmuştur (Mahtani ve ark., 2018).



Şekil 2. ROS ağ yapısı

### 2.1.2. Robot modelleme için ROS paketleri

ROS, üç boyutlu robot modelleri oluşturmak için kullanılacak bazı paketler sunar. Bunlardan robot modelleri oluşturmak için yaygın olarak kullanılan bazı önemli ROS paketleri şunlardır.

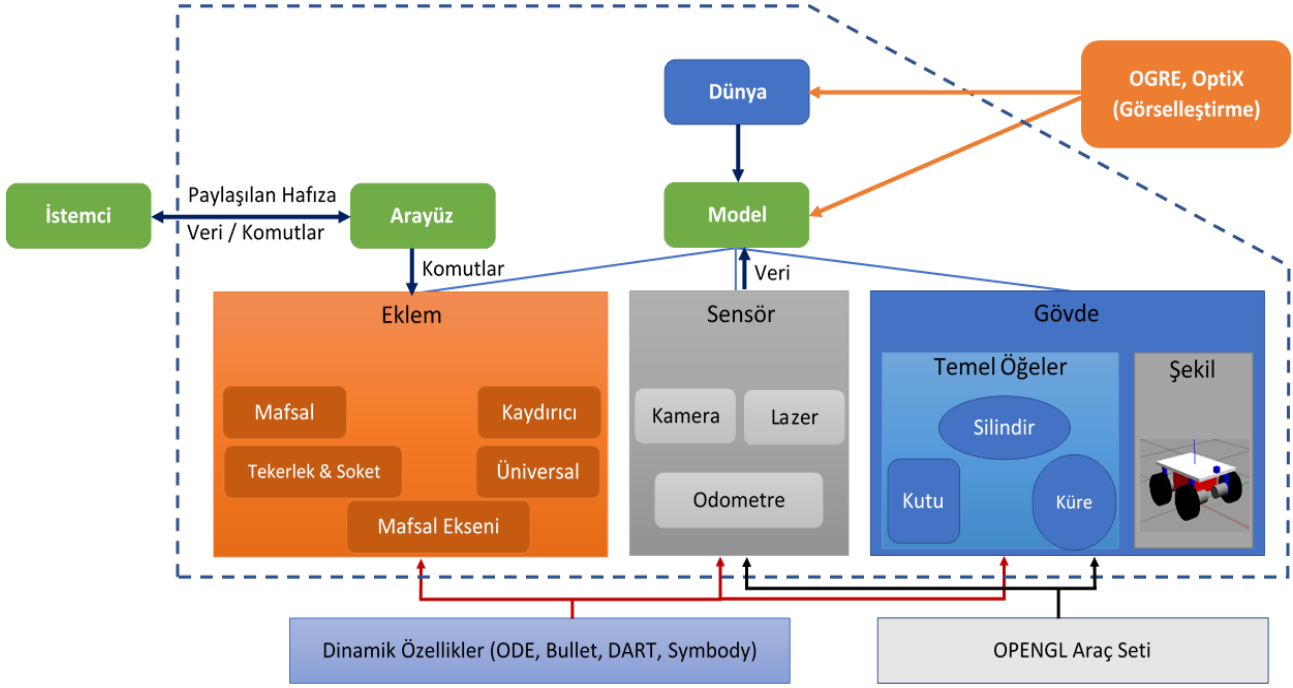
- ***robot model:*** ROS, üç boyutlu robot modellerinin oluşturulmasına yardımcı olan önemli paketler içeren *robot\_model* adında bir meta pakete sahiptir. Bu meta paketin içindeki tüm önemli paketleri görebiliriz. Bunlar sırasıyla aşağıda verilmiştir.

- **urdf:** *robot\_model* meta paketi içindeki önemli paketlerden birisidir. Birleşik robot tanımlama biçimi (URDF) paketi, bir robot modelini temsil eden bir *xml* dosyasıdır. URDF, C++ yazılım dilini kullanır. URDF kullanarak bir robot modelinde sensörler, çalışma ortamı tanımlanabilir. Ayrıca URDF çözümleyicileri kullanarak bunları ayrıştırabiliriz. URDF' de yalnızca bir ağaç yapısı şeklinde katı uzuvlar tanımlanır. Robotta katı uzuvlar birbirleriyle eklemler kullanılarak bağlanırlar. Ayrıca esnek uzuvlar URDF kullanılarak temsil edilemez.
- **joint\_state\_publisher:** Bu paket, robot modeli tanımlamasını okuyan, tüm eklemleri bulan ve gui kaydırıcılarını kullanarak sabitlenmemiş tüm eklemlere ortak değerleri yayınlayan *joint\_state\_publisher* adlı bir düğüm içerir. Kullanıcı bu aracı kullanarak her bir robot eklemiyle etkileşime girebilir ve RViz kullanarak görselleştirebilir. URDF tasarlarken, kullanıcı bu aracı kullanarak her bir eklem dönüşümü ve çevirisini doğrulayabilir.
- **kdl\_parser:** Kinematik ve dinamik kütüphanesi (KDL), URDF kapsamında çözümleyici araçları içeren bir ROS paketidir. Kinematik ağaç, eklem durumlarını yayınlamak için kullanılabilir. Ayrıca ileri ve ters kinematik için de kullanılabilir.
- **robot\_state\_publisher:** Bu paket, mevcut robot eklem durumlarını okur. URDF' den kinematik ağacı yapısını kullanarak her bir robot uzvunun üç boyutlu pozlarını yayınlamaya çalışır. Üç boyut pozunu ROS transformasyonu (tf) olarak yayınlamaya çalışır. ROS tf, bir robotta koordinat çerçeveleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyar.
- **xacro:** *Xml* makroları anlamına gelir. Xacro URDF 'i daha kısa, okunabilir hale getirmek için bazı eklentiler içerir ve karmaşık robot tanımlamaları oluşturmak için kullanılabilir. Bazı ROS araçlarını kullanarak xacro her zaman URDF formatına dönüştürülebilir.

## 2.2. Gazebo Simülasyon Programı

Gazebo, robot gelişimi için gerekli olan üç boyutlu simülasyon için robotlar, sensörler, çevre modelleri sağlayan ve fizik motoru ile gerçekçi simülasyonlar sunan bir simütatördür. Gazebo son yıllarda en popüler simütatörlerden biridir. Ayrıca Gazebo, ROS ve topluluğundan sorumlu Open Robotik tarafından geliştirilip dağıtılmaktadır, bu nedenle ROS ile uyumludur (Koenig ve Howard, 2004). Gazebo tek başına bir program olarak çalışabilir, ancak Gazebo ile farklı türde bir Uygulama Programcısı Arabirimi (API) ve kitaplık kullanarak bağlantı kurmak için kullanılabilirlik de vardır.

ROS, Gazebo' ya bağlanmak için kullanılabilen ve robotik alanda güçlü bir araç oluşturan en popüler uygulamalardan biri olarak kabul edilir. Bunu yapmak için ROS, bağımsız Gazebo ortamında bağıntılar sağlayan ve farklı ROS bileşenleriyle entegrasyon sağlayabilen *gazebo\_ros\_pkgs* adlı bir paket kullanır. Bu paketler, ROS mesajları, konuları ve hizmetleri kullanarak Gazebo da bir robotu simüle etmek için gerekli arayüzleri sağlar. Ayrıca Gazebo' da bulunan sonar, tarama lazer mesafe bulucuları ve GPS gibi sensör modelleri ile iletişim kurma yeteneği sağlar. Şekil 3' de Gazebo uygulamasının genel mimarisi görülmektedir.



Şekil 3. Gazebo genel mimarisi

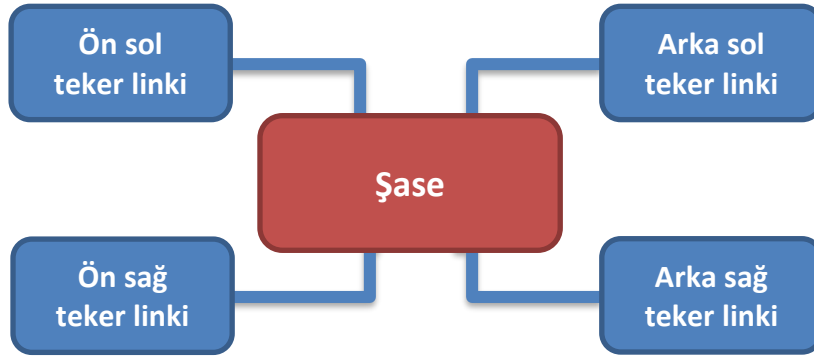
### 3. Robot Modellemesi / ROS ortamında Tank Sürüş Robot Modeli Oluşturma

Bir simülasyon modeli oluşturmaya başlamadan önce, modelin bireysel bileşenlerinin parametrelerini bilmek gerekir. Bu örnekte, bilinmesi gereken parametreler, robot bireysel bağlantılarının, eklemlerinin, eklem tiplerinin ve robot hareketinin konumu ve geometrisidir. Bu çalışmada, robotik araştırmalarda kullanılmak üzere tasarlanan ve geliştirilen tank sürüş bir robot simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tank sürüş robot simülasyonu ROS ve Gazebo kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Robot simülasyonlarında bir robotu modelleme, bu robottan alınan çeşitli sensör verilerini işleme, aktüatörleri kontrol etme, algoritmaları test etme veya değerlendirme yeteneklerine sahip olması açısından önemlidir. ROS' ta robot kinematik modelini, gerçekleştirebilmek için uygun bir formata çevirmeye izin veren bir yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. ROS bu özelliği, robot modellerinin, her bir modelin karşılık gelen serbestlik derecesine göre hareket ettirilebildiği veya çalıştırılabileceği bir üç boyutlu model olarak ifade edilen Birleşik Robot Tanımlama Biçimi (URDF) adlı bir *xml* biçiminde tanımlanabildiği *xml* formatında sağlar. Böylece simülasyon veya kontrol için kullanılabilir. URDF dosyaları, kaç tane tekerleği olduğu, nereye yerleştirildikleri ve hangi yönlere döndükleri gibi robot fiziksel yapılandırmasını tanımlar. Bu bilgiler, Rviz (ROS programının üç boyutlu görselleştirme aracı) tarafından görselleştirmek için kullanılır (Yılmaz ve Bayındır, 2019).

Aşağıdaki model, tank sürüş mobil bir robot için basit bir simülasyon modeli oluşturmanın çeşitli yönlerini açıklamak için kullanılacaktır. Dört tekerlekli temel model, ağaç benzeri bir yapıda beş farklı parça ile tanımlanabilir. Şekil 4, tasarlanan robota ait temel bağlantılarının bir blok diyagramını göstermektedir. Robot merkezi şasisi temel çerçeve olacaktır. Kırmızı dikdörtgen kutu taban bağlantısı olacaktır. Tekerleklerimizin dönmesini istediğimiz için, bu robottaki her bir tekerlek için ayrı bağlantılar oluşturmamızı gerektirir. Bunlar alt bağlantılar olarak tanımlanabilir. Oluşturulan bağlantıların geometrisi bağlantı konumu, bağlantı tipi ve bağlantı eksenini tanımlanmalıdır. Bir bağlantı konumu konum ve yönlendirmeye göre sınıflandırılabilirken, bir eklem türü tam, sürekli,

sabit veya prizmatik olarak sınıflandırılabilir. Eklem konumunu ve yönünü tanımlamak için bir eklem eksenini belirtilmelidir.



Şekil 4. Temel nokta dönüştürücü robot bağlantı bloğu şeması

Robotun bağlantı bloğu oluşturulduktan sonra, robotun yol almasında gerekli olan özellikler aşağıdaki gibi tanımlanabilir. Buna göre robot için tork ve motor devri hesaplamaları yapılabilir.

- Maksimum taşıma kapasitesi = 40 kg
- Robot ağırlığı = 40 kg
- Maksimum hız = 1 m/s
- Tank sürüş özellikli yapılandırma
- Dikdörtgen taban alanı ve
- Otonom seyir ve engellerden kaçınmadır.

Tasarlanan robot dört tekerlekten tahrik konfigürasyonuna sahiptir. Robotun motor tork değerleri maksimum taşıma kapasitesi ve robotun kendi ağırlığı ile aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

- Toplam robot ağırlığı = Robotun ağırlığı + Yük kapasitesi
- Robotun ağırlığı = 40 x 9.8 ≈ 400 N.
- Kapasitesi = 40 x 9.8 ≈ 400 N.
- Toplam ağırlık = 400 + 400 = 800 N.

Robota ait tekerleklerinin konfigürasyonu Şekil 5'de gösterilmektedir. Robot hareketsizse, tekerleklere takılan motorların hareket edebilmesi için maksimum tork uygulanması gerekir. Maksimum tork denklemi,

$$\tau = \mu \times N \times r \quad (1)$$

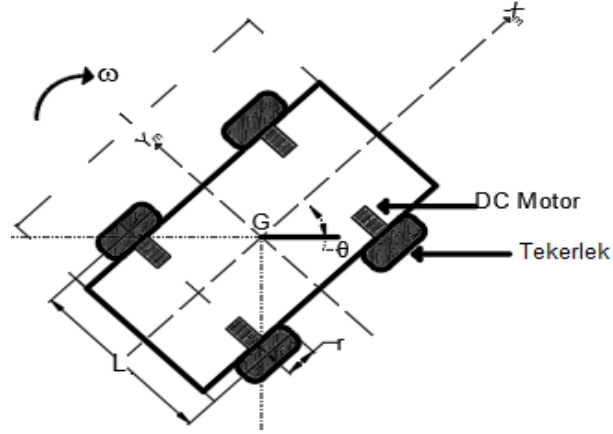
Burada,  $\mu$  sürtünme katsayısı,  $N$  her bir tekerlek üzerinde etki eden ortalama ağırlık,  $r$  tekerleklerin yarıçapı ve  $\tau$  hareket etmek için maksimum torktur.  $N = W/4$  yazılabilir. Çünkü robotun ağırlığı dört tekerleğin hepsine eşit olarak dağıtılır. Ayrıca sürtünme katsayısı olarak 0,6 sabit değeri boş dünya ortamı için kabul edilmiştir. Bu durumda,

$$\tau = 0,6 \times \left(\frac{W}{4}\right) \times r$$

$$\tau = 0,6 \times \left(\frac{800}{4}\right) \times 0,225 = 27 \text{ N.m}$$

olarak hesaplanır. Böylece, tork için 270 kg-cm' ye karşılık olarak 300 kg-cm standart bir değer kullanılabilir.





Şekil 5. Robot tekerlek konfigürasyonu

Verilen özelliklere göre motorlara ait devir hesaplaması ise aşağıdaki gibi yapılabilir. Buna göre;

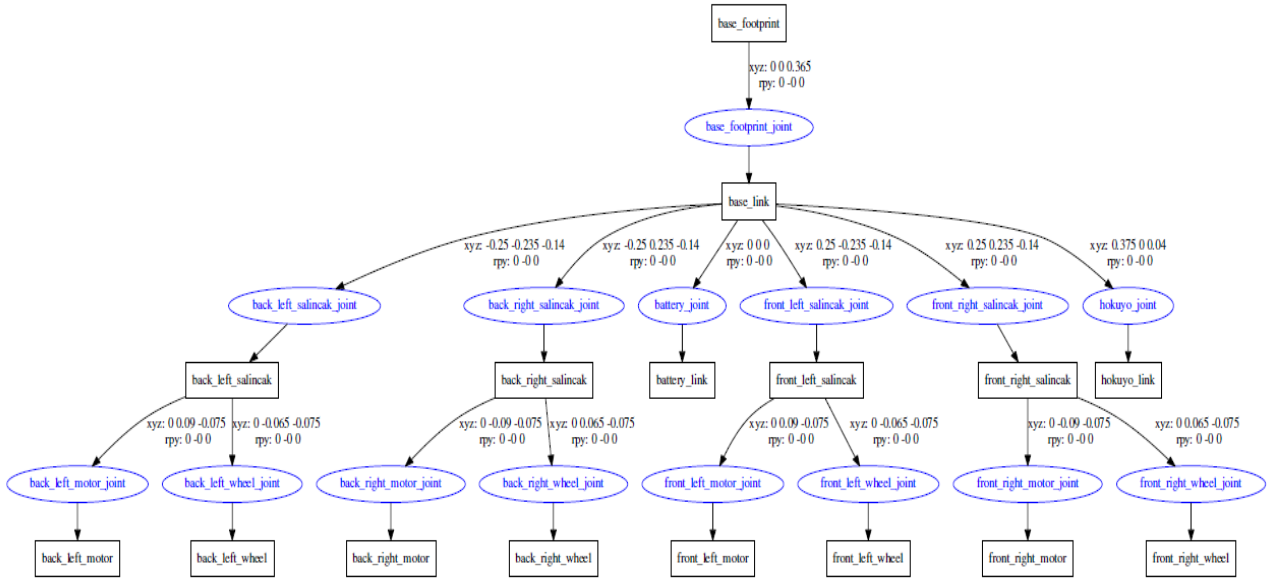
$$RPM = \frac{60 \times Hız}{\pi \times r} \quad (2)$$

$$RPM = \frac{60 \times 1}{\pi \times 0.225} = 84 \text{ d/dk}$$

Bu robot için 100 RPM değerine sahip bir motor seçilebilir. Tüm bu parametreler hesaplandıktan sonra robota ait özellikler ve şasi tasarımı *xml* formatında tanımlanarak robotun modeli oluşturulabilir.

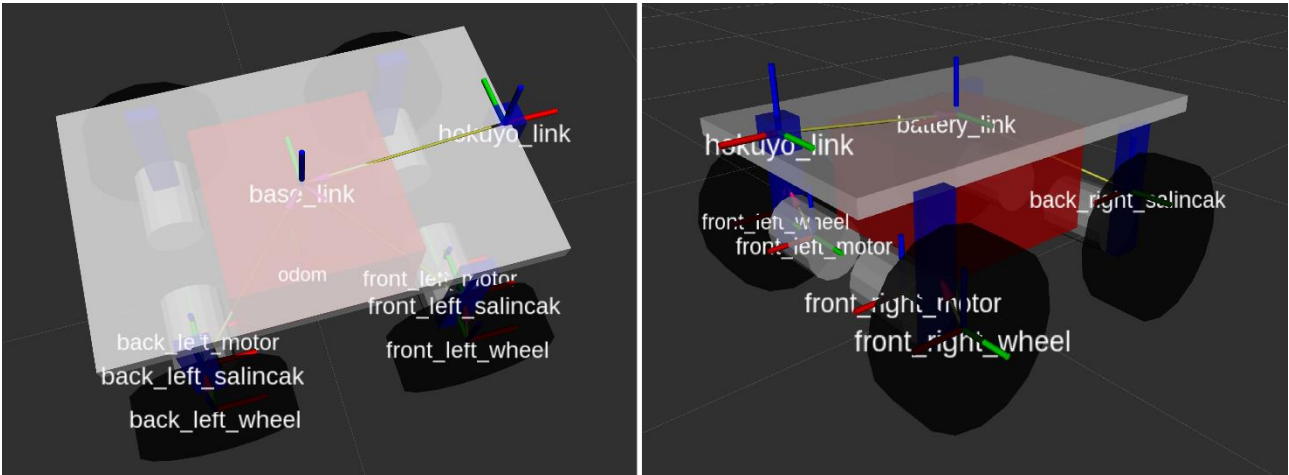
ROS programında gerçekleştirilmek istenen herhangi bir robotik sistem için ilk olarak dosya tanımlamalarının yapılması şarttır. Bu çalışmada da tank sürüş özellikli bir robot sistemi için ilk olarak bir ROS paketi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu paket boş bir paket daha sonra ana dosyanın içerisinde özelliklerini oluşturacağımız holonomik olmayan robot tasarımı gerçekleştirilmiştir.

Tank sürüş tasarlanan robota ait fiziksel özellikler urdf dosyası içinde yazılarak robot fiziksel görünümü oluşturulmuştur. Oluşturulan tank sürüş robota ait ağaç şeması Şekil 6' da verilmiştir.



Şekil 6. Tank sürüş robot ağaç diyagramı.

Oluşturulan robot tanımlamasının Rviz ortamında elde edilen görünümü Şekil 7’ de verilmiştir.



Şekil 7. Tank sürüş robotun Rviz ortamında elde edilen model ve simülasyon görünümü.

#### 4. Deneysel Sonuçlar

Tasarlanan robot Gazebo ortamında boş dünya tanımlaması ile gerçekleştirilmiştir. Robotun pozisyon kontrolü lineer hız ve açısal hız için aşağıda tanımlanan ifadelerle belirlenmiştir. Lineer hız ve açısal hız için tanımlanan maksimum ve minimum hız limitlerinin haricinde oransal bir katsayı tanımlanmıştır. Buna göre (2)’ de lineer hız için hedef konuma göre mevcut konum arasındaki mesafe hesaplanmıştır. Açısal hız içinde robotun yönüne göre (3)’ de hedef konum ile mevcut konum arasında açı hesaplanarak bir oransal katsayı ile çarpılmıştır. Burada doğrusal hız için  $K_v = 2$  ve açısal hız için  $K_h = 0.8$  olarak alınmıştır.

$$V' = K_v \cdot \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} \quad (3)$$

$$\theta' = K_h \cdot \left[ \tan^{-1} \left( \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) \right] \quad (4)$$

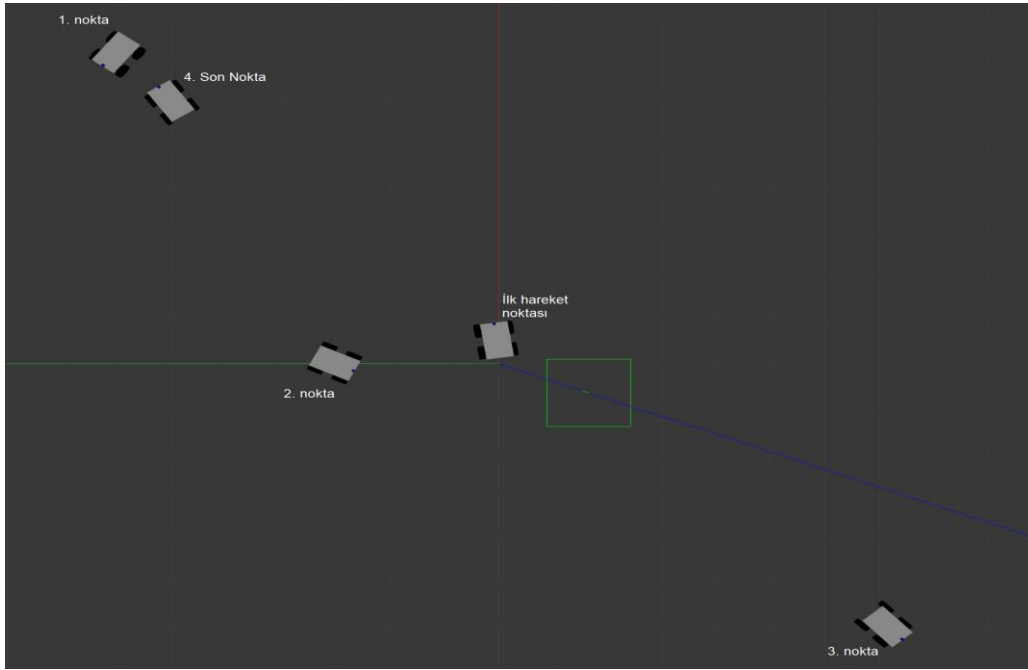
Bu çalışmada, robotun pozisyon kontrolü, Çizelge 1' de verilen koordinat noktalarına göre tanımlanmıştır.

**Çizelge 1.** Robot güzergâh noktaları

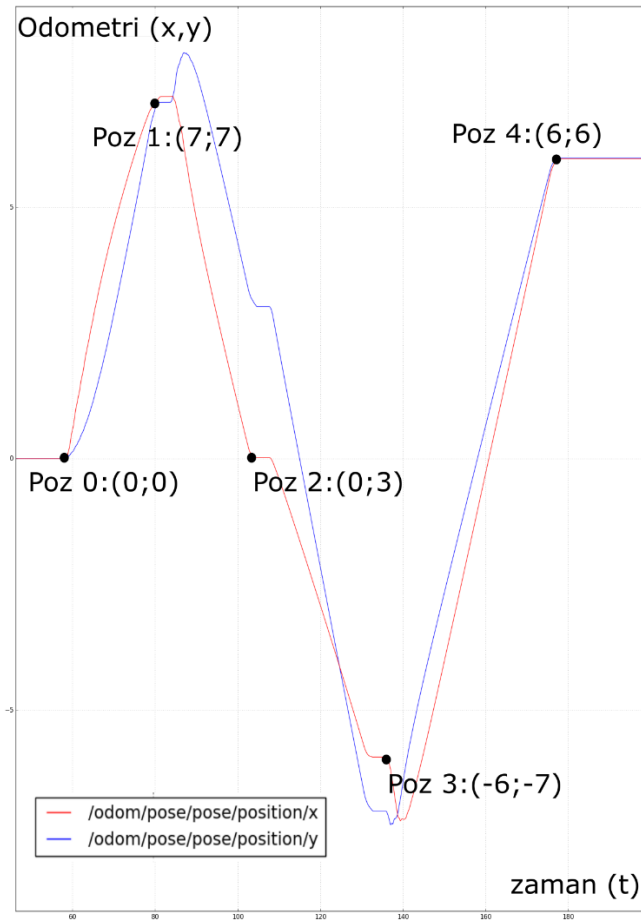
	X	Y
<b>İlk hareket noktası</b>	0	0
<b>1. Nokta</b>	7	7
<b>2. Nokta</b>	0	3
<b>3. Nokta</b>	-6	-7
<b>4. Nokta</b>	6	6

Gazebo simülasyon ortamı üzerinde aracın otonom hareketi için bazı yörünge/koordinat tanımlamaları yapılmıştır. Buna göre araç önce odometri merkezinde X ve Y koordinat düzleminde (0;0) konumuna yerleştirilmiştir. Şekil 8' de aracın simülasyon ortamında üstten görünüşü verilmiştir. Bununla birlikte, Şekil 9'da aracın başlangıç noktası ile x ve y eksenindeki oturduğu noktalar grafiksel olarak gösterilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi aracın ilk hareket noktasından birinci pozisyona sorunsuz bir şekilde oturduğu ve 5 saniyelik bekleme sonrasında ikinci nokta için manevra aldığı görülmektedir. Burada aracın birinci pozisyondan ikinci pozisyona geçerken herhangi bir osilasyona girmediği ve aracın doğrusal ve açısız ivmelenmelerde aracın ataletsel özelliklerini kullanarak sorunsuz bir şekilde hareket ettiği görülmektedir.

Aracın hareket sırasında herhangi bir yanıl kaymaların olmadığı da görülmektedir. Buda aracın hem fiziksel, ataletsel ve kontrol özelliklerinin doğru bir şekilde tanımlandığını göstermektedir. Grafik üzerinde birinci güzergâh noktasından ikinci güzergâh noktasına geçiş yaparken keskin bir dönüş yapıldığı görülmektedir. Bu dönüşte robot'un çok kararlı bir şekilde dönüş yapmış ve belirlenen istikamete doğru yönelim göstermiştir. Aynı şekilde üçüncü ve dördüncü güzergâhlar arasında da robotun belirlenen istikamete kararlı bir şekilde dönüş yaptığı da şekilden gözlenmektedir.



Şekil 8. Tank sürüş robotunun tanımlanan noktalara yol alması



Şekil 9. Tank sürüş robotunun tanımlanan pozisyon noktalarına ilişkin yol aldığı gösteren grafik.

## 5. Sonuçlar

ROS/Gazebo Simülasyon yazılımları çeşitli arazilerde veya ortamlarda robot gerçek zamanlı davranışını tahmin etmek için kullanılır. Bu uygulamalarda robot tasarımının doğru ve verimli bir şekilde kurulduğunda ve test edildiğinde bu gelecekteki gerçek robot davranışı beklentileri hakkında bilgi verecektir. Bu çalışmada, hareketi dört tahrik tekerleğine dayanan tank sürüş dört tekerlekli mobil bir robotun konum kontrolü yapılarak simülasyonu gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Simülasyon. Gerçek zamanlı bir robot davranışının beklendiği gibi olabileceğini göstermektedir. Robotun simüle edilmiş ortamdaki bu istikrarlı sonuçları ve performansı sayesinde ROS/Gazebo sistemleri ile sağlam ve kararlı olan gerçek zamanlı bir robotta uygulama imkânı elde edilmiştir. Robotun belirlenen noktalara başarı ile gittiği görülmektedir. Daha sonraki çalışmalarda farklı robot tasarımları, yüzey şartları veya tanımlanan görevler için simülasyonlar ile performansları gerçekleştirilerek analizler yapılabilir.

## 6. Kaynaklar

- Rivera Z.B., Marco C.S., Domenico G., Unmanned Ground Vehicle Modelling in Gazebo/ROS-Based Environments, *Machines*, 7(2), 1–21, 2019.
- Zahir Y., Bayındır L., Simulation of Lidar-Based Robot Detection Task Using ROS and Gazebo, *European Journal of Science and Technology*, (October), 513–29, 2019.
- Correa D.S.O., Sciotti D.F., Prado M.G., Sales D.O.W., Denis F., Osório F.S., Mobile Robots Navigation in Indoor Environments Using Kinect Sensor, *Proceedings - 2012 2nd Brazilian Conference on Critical Embedded Systems, CBSEC 2012*, 36–41, 2012.
- Koenig N., Andrew H., Design and Use Paradigms for Gazebo an Open-Source Multi-Robot Simulator, In *2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, (IEEE Cat. No. 04CH37566), IEEE, 2149–2154, 2004.
- Alajlan M., Anis K., *Studies in Computational Intelligence Writing Global Path Planners Plugins in ROS, A Tutorial*, 2016.
- Arkin R.C., Ronald C.A., *Behavior-Based Robotics*, MIT press, 1998.
- Bekey G.A., *Autonomous Robots: From Biological Inspiration to Implementation and Control*, MIT press, 2005.
- Furrer F., Michael B., Markus A., Roland S., *Robot Operating System (ROS): The Complete Reference*, Springer International Publishing, Volume-1, 595–625, 2016.
- Joseph L., *Physiological Research Mastering ROS for Robotics Programming*, 2015.
- Mahtani A., Joseph L., Fernández E., Martínez A., Sánchez L., *ROS Programming: Build Powerful Robots: Design, Build, and Simulate Complex Robots Using the Robot Operating System*, Packt Publishing, 2018.
- Matarić M.J., Maja J., Ronald C.A., *The Robotics Primer*, Mit Press, 2007.
- İnt. Ky. 1. ROS'a genel bakış, [http://gazebosim.org/tutorials?tut=ros\\_overview](http://gazebosim.org/tutorials?tut=ros_overview) (Erişim Tarihi: 11.05.2020).

**Araştırma Makalesi / Research Article**

**Mobil Cihazlar için Uygulama Geliştirmekte Kullanılan Platformların ve Dillerin  
Karşılaştırılması**

Sait Mahmut ÇINAR<sup>1\*</sup>, Hilmi BİLİCİ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye,

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8683-3884>

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnternet ve Bilişim Teknolojileri Yönetim ABD, Afyonkarahisar, Türkiye

**Geliş/ Recieved:** 30.06.2020;

**Kabul / Accepted:** 12.07.2020

**ÖZET:** Günümüzde mobil cihazlar çok yaygın bir kullanım alanına sahiptir. Bu cihazlarda farklı işlemler için geliştirilmiş mobil uygulama olarak adlandırılan programlar kullanılmaktadır. Bugün yazılım sektöründe amatör ya da profesyonel mobil uygulamalar geliştirmek amacıyla kullanılacak çok sayıda platform mevcut olup söz konusu platformlarının seçiminde çeşitli ölçütlere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bunlar; mobil cihazların işletim sistemi (Android, IOS, Microsoft vb.), platformda kullanılan yazılım geliştirme dili (C, Swift, Java vb.), platformun çalışma şekli (çevrimiçi veya çevrimdışı) ve platformun ücretli ya da ücretsiz olması gibi sıralanabilmektedir. Bu makalede mobil uygulama geliştirmekte kullanılan elliden fazla çerçeve, ondan fazla geliştirme platformu ve editör incelenmiş, öğrenme olanakları, süreleri, avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmıştır. Ayrıca karşılaştırılması yapılan platformlarla başlangıç seviyesinde uygulama tasarımları yapılarak mobil programlamaya başlayacak kişilere yol gösterici bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Mobil uygulama, Mobil uygulama geliştirme dilleri, Mobil duyarlı web sitesi.

\*Sorumlu yazar / Corresponding author: [smcinar@aku.edu.tr](mailto:smcinar@aku.edu.tr)

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Çınar, S.M., Bilici, H. (2020). Mobil Cihazlar için Uygulama Geliştirmekte Kullanılan Platformların ve Dillerin Karşılaştırılması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 1(1), 42-54.

## Comparison of The Platforms and Languages Used on The Developing Mobile Applications for Mobile Devices

**ABSTRACT:** Nowadays, mobile devices are widely used. These devices use programs called mobile applications developed for different operations. Today, there are many platforms in the software industry that can be used to develop amateur or professional mobile applications. Various criteria need to be considered in the selection of these application development platforms. These; operating systems of mobile devices (Android, IOS, Microsoft, etc.), the software development language used on the platform (C, Swift, Java, etc.), the way the platform works (online or offline), whether the platform is paid or free. In this paper, more than fifty frameworks used in developing mobile applications, more than ten development platforms and editors are examined and learning opportunities, durations, advantages and disadvantages are compared. In addition, by making application designs at the beginning level using compared platforms it was tried to create a resource to guide people who starts mobile programming.

**Keywords:** Mobile Application, Mobile application developing languages, Mobile Responsive Web Sites.

### 1. GİRİŞ

Bilişim Teknolojileri ve İletişim Kurumu tarafından 2017 yılı üçüncü çeyreği için yayınlanan “Türkiye Elektronik Haberleşme Sektörü 3 Aylık Pazar Verileri Raporu” verilerine göre Türkiye’de yaklaşık %97,6 erişim oranına karşılık 62.992.758 4.5G abonesi ve 11.586.255 3G abonesi ile toplam 77.882.845 toplam mobil abone sayısı bulunmaktadır (İnt. Ky. 1). Ayrıca 3G ve 4.5G hizmeti kullanan abonelerin 2017 Aralık ayı itibarıyla %97’sinin akıllı telefonlara sahip oldukları tahmin edilmektedir. Bu durum, kullanıcıların web sayfalarını ziyaret etmek, alışveriş yapmak ve sosyal medya kullanımı gibi işlemlerini bilgisayarlar yerine mobil aygıtlar üzerinden gerçekleştirdiğinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Ülkemizde 2018’de bir yılda indirilen mobil uygulama sayısının 400 milyona çıkması beklendiği düşünüldüğünde ve milyarlarca cihazın kullandığı bu işletim sistemleri için üretilen yazılımlardan hangisini kullanmalı ve nereden başlamalı soruları, mobil uygulama geliştirici olmak isteyenler ve bu makalenin için çıkış noktası niteliğindedir.



Şekil 1. Geçmişten günümüze mobil cihazlar

Mobil cihazlar; akıllı telefonlar, tabletler, e-kitaplar, telefonlar, PDA'lar ve netbook'ları içeren ve çeşitli işlevleri gerçekleştiren cihazlardır (Şekil 1). Akıllı telefonlar, büyüklük ve taşıma kabiliyetinin yanı sıra çok sayıda işlevselliğe sahip olan cihazlardır. Tabletler daha geniş bir ekrana sahiptir ve interneti, kitapları, ofis programlarını ve oyunları kullanmaya olanak sağlar.

2018'in ikinci çeyreğinde İnternet, sosyal medya ve mobil kullanıcı istatistiklerine bakıldığında; 4.08 milyar internet kullanıcısı, 3.29 milyar sosyal medya kullanıcısı, 5.06 milyar mobil kullanıcısı ve 3.08 milyar mobil sosyal medya kullanıcısı, dünya nüfusunun sırasıyla %54, %43, %66 ve %41'ine karşılık geldiği görülmektedir (İnt. Ky.1).



Şekil 2. Mobil işletim sistemleri

Tablet bilgisayarlar, akıllı telefonlar, PDA'lar gibi taşınabilir aygıtlar için özel olarak hazırlanan işletim sistemlerine mobil işletim sistemleri adı verilir. Şu an en çok kullanılan ve popüler olan Şekil 2' de logoları görülen mobil işletim sistemleri Android, iOS ve Blackberry gibi işletim sistemleridir.

İnsanlar günümüzde ortalama olarak 2-5 saatlerini mobil cihazlar ile internette vakit geçirmekte ve bir insan günde 150 ila 500 defa arasında telefonunu kontrol etme ihtiyacı hissetmektedir. 2009 yılında web site trafiklerinin mobil cihaz payı %1 bile değilken, 2018 yılı itibariyle web site trafiklerinin yarıya yakını mobil cihazlar üzerinden sağlanmaktadır. Ayrıca mobil cihazlar ile internet kullanım oranı artarak devam etmektedir. Cep telefonlarında harcanan zamanın %80'i ise mobil uygulamalarda geçirilmektedir (İnt. Ky. 2). Yine istatistiklere göre mobil cihaz kullanıcılarının %79'u ürün siparişi için cihazlarını kullanmaktadır. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda günümüz mobil uygulamaları her ölçekte girişimci için önem arz etmektedir. Ticari açıdan bakıldığında web sitelerine oranla mobil uygulamalar, müşterilerine daha yakın olduğu açıktır.

Her ne kadar internet ve arama motorlarından IOS, Android ve diğer mobil cihazlara yazılım hazırlama ile ilgili bilgiler bulunulacağı düşünülse de yeni başlayanlar için platform ve programlama seçiminde doğru karar verilemediği ve ülkemizde mobil yazılımlar konusunda bir boşluk olduğu görülmektedir. Konunun bu derce önemine karşılık, şimdiye kadar kapsamlı bir karşılaştırma bibliyografyası hazırlanmamıştır.

Charland ve LeRoux, 9 ayrı mobil işletim sisteminde yazılım hazırlamak için gerekli platformları sunmuş ve sadece JavaScript betik dilinin değerlendirilmesini yapmıştır(Charland ve LeRoux 2011) Klein çalışmasında sadece taşınabilir aygıtlar için web sitesi mi yoksa mobil uygulama geliştirme mi sorularına yanıtlar aramış ve mobil uygulama geliştirmenin artıları ve eksileri üzerinde durmuştur. (İnt. Ky. 3). Demir ve Akpınar makalelerinde lisans öğrencilerinin mobil cihaz öğrenmeye yönelik tutumlarını ölçebilecek bir ölçek geliştirilmiş ve bu ölçeği mobil cihazların eğitime olan katkısını araştırmakta kullanmışlardır (Demir ve Akpınar 2016). Bu konuda en kapsamlı çalışmanın ise Keskin ve Kılınç tarafından mobil öğrenme uygulamalarına yönelik geliştirme platformlarının karşılaştırıldığı ve örnek uygulamaların verildiği çalışma olduğu görülmektedir (Keskin ve Kılınç 2015). Fakat adı geçen makalede sadece mobil öğrenme uygulamalarını geliştirmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Gezgin ve Bağmen tarafından hazırlanan başka bir çalışmada mobil öğrenme



uygulamalarının geliştirilmesinde kullanılan yöntemler ve platformların karşılaştırılmaları yapılmıştır (Gezgin ve Bağmen 2014).

Bu çalışmada ise mobil uygulama geliştirmekte kullanılan elliden fazla çerçeve, ondan fazla geliştirme platformu ve editör incelenmiş, öğrenme olanakları, süreleri, avantajları ve dezavantajları ayrıntılı biçimde karşılaştırılmıştır. Ayrıca karşılaştırılması yapılan platformlarla temel seviyesinde uygulamalar tasarlanarak mobil programlamaya başlayacak kişilere yol gösterici bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır.

Makalenin “2. MATERYAL VE YÖNTEM” başlığı altında; mobil programlamada kullanılan diller, çerçeveler (frameworks), çevrimiçi program geliştirme platformları, mobil oyun geliştirme çerçeveleri ve örnek bir uygulama sunulmuştur. Devamında “3. BULGULAR VE TARTIŞMA” başlığında programlama dilleri, çerçeveler, çevrimiçi (online) program geliştirme platformlar ve mobil oyun geliştirme çerçevelerinin tablolar eşliğinde karşılaştırmaları yapılmıştır. Son olarak “4. SONUÇ” bölümünde elde edilen karşılaştırma sonuçları üzerinde analizler ve geleceğe yönelik projeksiyonlar sunulmuştur.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölüm; mobil programlamada kullanılan diller, çerçeveler, çevrimiçi program geliştirme platformları, mobil oyun geliştirme çerçeveleri ve örnek bir uygulamanın sunulduğu beş alt başlıkta düzenlenmiştir. Mobil uygulamalarda kullanılan diller kısmında; mobil platformlara göre ve proje yapısına göre programlama dilleri ayrıntılı olarak verilmiştir. Çerçeveler alt başlığında bilgisayara kurulabilen 20 çerçeve ismi verilip genel özellikleri tanıtılmıştır. Çevrimiçi program geliştirme platformları alt bölümünde ise 15 platform ismi üzerinde durulup bunlarla ilgili bilgiler verilmiştir. Mobil oyun geliştirme çerçeveleri başlığı altında 15 oyun geliştirme çerçevesi tanıtılmıştır. Son olarak örnek bir uygulama başlığında temel seviye bir uygulama kodu verilmiş ve geliştirme süreci anlatılmıştır. Mobil uygulama geliştirmekte kullanılan programlar, çerçeveler, çevrimiçi platformlar, mobil oyun geliştirme çerçeveleri ve bunlarla ilgili örnek uygulamaların ayrıntılarına (Bilici 2019)’dan ulaşılabilir.

### 2.1 Mobil programlamada kullanılan diller

Mobil uygulamalarda performans, görünüm ve etkileşim (kullanıcı dostu ara yüzler), uygulama güvenliği, anlaşılabilirlik, stabilite, geliştirme, test ve bakım süreçleri, yeni geliştirmelere destek, kullanılacak platform ve eklenti desteği en önemli ölçütlerdir. İşletim sistemlerine göre kullanılan programlama dilleri Çizelge 1’de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Mobil platforma göre programlama dilleri

Mobil Platformlar	Programlama Dilleri	Uygulama mağazası
Apple IOS	C, Objective C	Apple Store
Google Android	Java	Google Play Store
Windows Mobile	.NET, C#	Windows Store
Window 7 Phone	.NET, C#	Windows Store
Symbian	C, C++, Phyton, HTML/ CSS/JS	Nokia Store, Ovi store
RIM BlackBerry	Java (J2ME)	BlackBerry App World
HP Palm WebOS	HTML/CSS/JS	HP store
Samsung Bada	C, C++, HTML/CSS/JS	Samsung Apps
MeeGo	C++	Apps for MeeGo

Çizelge 1’de mobil platform tipine göre en çok kullanılan programlama dilleri ve bu programlama aracının nereden temin edilebileceği görülmektedir. Mobil platformların neredeyse tamamında C tabanlı diller kullanıldığı görülmekle birlikte Java tabanlı yaygın kullanıma sahip diller de dikkat çekmektedir.

### 2.1.1 Proje yapısına göre programla dilleri:

Proje yapısına göre programlama dillerini; Mobil web uygulaması, Yerel (native) ve Melez (hybrid) uygulama geliştirme şeklinde üç kısımda incelemek mümkündür.

*Mobil web uygulaması geliştirme:* Uygulamanın HTML5, CSS3, Javascript gibi web teknolojileri ile yazılarak tarayıcılarda çalışacak halde sunulması işlemidir. Mobil cihazların tarayıcıları ile siteye girildiğinde tarayıcı istemciye göre (user agent) mobil tarayıcı olduğunu anlayıp ona göre web sitesi olarak değil de web uygulaması olarak açılması sağlanır. Duyarlı (responsive) web site tasarımı tercih edilebilmesi hem daha pratik hem de daha az maliyetli olmaktadır.

*Yerel (native) uygulama geliştirme:* Mobil uygulamaların farklı özellikteki cihazlar (Apple IOS, Google Android, RIM BlackBerry ve Windows Mobile gibi mobil işletim sistemlerine sahip) için ayrı ayrı yazılmasına, yazılımsal ve donanımsal olanaklarına doğrudan erişmesine yerel uygulama geliştirme yöntemi denmektedir. Yerel uygulamalar cihazın kendi ana platformu tarafından desteklenmiş bir dil ile yazılmaktadır. Örneğin; Java ile geliştirilen Android uygulamaları veya Objective C veya Swift ile geliştirilen iOS uygulamaları gibi.

*Melez (hybrid) uygulama geliştirme:* Tek kod ile yazılan ve birden fazla platformda (Apple IOS, Android, Windows, vb.) çalışabilen uygulamalara melez uygulamalar denir. Bu uygulamalar HTML5, CSS3 ve JavaScript’in gücü ve yaygınlığı üzerine kurularak mobil cihazlarda tercih edilmektedir. Yerel uygulamalar gibi sistem kaynaklarına doğrudan değil de bir ara katman sayesinde erişilmektedir. Çapraz (cross-platform) uygulama geliştirme platformu olarak da bilinen bu geliştirme yönteminde, tüm platformlar için tek dil kullanarak yerel uygulamalar oluşturulmakta ve aynı sonuç üretilmektedir.

**Çizelge 2.** Yerel ve melez mobil uygulamaların karşılaştırılması

<b>Yerel Uygulamalar</b>	<b>Melez Uygulamalar</b>
Platforma bağlı geliştirme	Platformlardan bağımsız geliştirme
Yüksek performans	Sınırlı performans
Geliştirme ve bakım yüksek maliyetlidir	Geliştirme ve bakım düşük maliyetlidir
Uygulama geliştirme karmaşık ve zaman alıcıdır	Hızlı geliştirme ve bakım kolaylığı
Platforma özgü dil ve araçları bilmek gereklidir	HTML, CSS, JS bilmek yeterlidir
Geliştirmiş olduğu platformdaki API'lere ulaşır	Cordova API ile cihaz özelliklerine erişme kullanma imkânı sağlar.

Çizelge 2’de Yerel veya melez uygulama geliştirme süreciyle ilgili karşılaştırmalar ve uygulama geliştirmenin birbirine göre üstün ve zayıf yönleri açıkça sunulmuştur. Örneğin yüksek performans gerektiren uygulamaların yerel olarak tasarlanması yerinde olacakken hızlı geliştirme ve bakım kolaylığı tercih ediliyorsa melez uygulama tasarımı tercih edilebilir.

### 2.1.2 Mobil platforma göre programla dilleri:

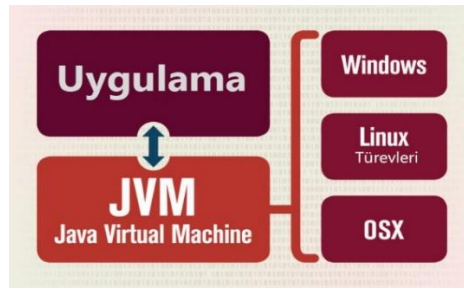
Burada Android, IOS, BlackBerry OS ve Windows phone platformları için altı farklı programla dili verilecektir.

*Android platformu için programlama dilleri:* Android tabanlı sistemler için yazılım geliştirme süreci aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- Java dosyalarında, program mantığı/uygulamanın yapması istenilenler tanımlanır.
- XML dosyalarında sayfa düzeni (mizanpaj)/görünümü tasarlanır.
- Uygulama yazıldıktan sonra, tüm dosyaları derlemek ve bunları Android cihazlarda çalıştırabilecek ve/veya Google Play'de yayımlayabilecek bir .apk dosyasında bir araya getirmek için derleme aracını kullanmak gerekir.
- Tümüleşik bir geliştirme ortamı (Integrated Development Enviroment-IDE) ile birlikte Android için bir uygulama oluşturmakta kullanılan tüm yardımcı programlar ve dosyaları sunabilir. IDE, kod dosyalarınızı düzenlemek, derlemek ve çalıştırmak için açtığınız bir programdır.
- Önceleri, Android geliştirme için standart IDE Eclipse kullanılmaktayken şimdilerde bir Google ürünü olan ve daha işlevsel bir Android Studio platformu kullanılmaktadır.

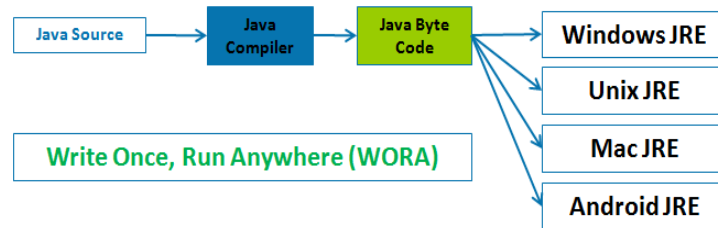
Android platformunda Java ve Kotlin dilleri kullanarak uygulama geliştirme ayrıntıları aşağıda verilmektedir.

Java Programlama dili ile yerel olarak Android uygulama geliştirmek mümkündür (Şekil 3). Java ile programlama yaparken Java sanal makinesi (Java Virtual Machine-JVM), Java çalışma zamanı ortamı (Java Runtime Environment-JRE) ve Java geliştirme kiti (Java Development Kit-JDK) terimlerinin bilinmesi gereklidir.



Şekil 3. İşletim sistemleri ve JVM

*JVM*, Java'nın en temel ve en cazip özelliği olan her işletim sisteminde çalışabilmesini sağlayan yapıdır. *JVM*, nesne modülü formatı olan class uzantılı sınıf dosyalarının belleğe yüklenmesi, kontrol edilmesi ve çalıştırılması için gereken hizmetleri sunan sanal bir programdır. Temel görevi sınıf dosyalarını yorumlamaktır (<https://www.javaworld.com/article/3272244/core-java/what-is-the-jvm-introducing-the-java-virtual-machine.html> Erişim: 27/12/2018). Hangi işletim sistemi veya donanımın mevcut olduğuna bakılmaksızın *JVM*, programların içinde çalışması için öngörülebilir bir ortam oluşturur. *JVM*, bir kere yaz, her yerde çalıştır (Write Once, Run Anywhere-WORA) prensibiyle çalışır (Şekil 4).



Şekil 4. WORA prensip blok şeması

*JRE*, Java teknolojisiyle yazılmış uygulamaları ve küçük uygulamaları (applet) çalıştıran bilgisayar kullanıcılarına gerekli ücretsiz temin edilen bir JVM uygulamasıdır. *JRE*, Java programlarını çalıştırmak için Java sınıflarından oluşan bir kütüphaneye sahip bir uygulamadır.

*JDK*, Java geliştiricilerine yönelik Oracle firması tarafından hazırlanmış bir üründür. Java'nın kullanıma sunulmasından beri en geniş kullanım alanına sahip *JDK*'dir. *JDK*, *JRE*, Java Compiler, hata ayıklama aracı ve diğer gerekli araçlardan oluşur. Yazılan “.java” uzantılı kod derlenip JVM'in okuyabileceği “.class” uzantılı hale getirilmesi için *JDK*'ya ihtiyaç duyulur. *JDK* ilk olarak Java kodunu bytecode'a çevirir, onu JVM'ye yükler ve farklı işletim sistemlerinde çalıştırır. Bunun yanında Java uygulamaları geliştirmek ve çalıştırmak için gerekli diğer tüm araçları da içinde barındırır.

Kotlin, 2010 yılında Rus şirketi JetBrains'ten tarafından hazırlanmaya başlanan genç bir dildir ve 2011 yılında “JVM Language Summit” etkinliğinde duyurulmuştur. Google I/O 2017 konferansında, Android geliştirme ekibi, Kotlin'in Android uygulamalarının geliştirilmesi için resmi destek aldığını bildirmiştir. Kotlin Java'ya göre daha kısa ve daha özgün şekilde kodlama yapılabilir. Kotlin programlama dili ile JVM uygulamaları (Server-side uygulamalar), Android uygulamaları, browser uygulamaları (JavaScript tabanlı web uygulamaları), yerel uygulamalar (MacOS, iOS ve gömülü sistemler uygulamaları) geliştirilebilmektedir. Java, C ve C++ gibi, Kotlin statik olarak yazılmış bir dildir. Hem nesne yönelimli hem de prosedürel programlamayı destekler.

*IOS platformu için programlama dilleri:* iOS, Apple firmasının mobil platformlar için geliştirdiği bir mobil işletim sistemidir. Çekirdeğini MAC OSX den alan iOS içinde dört katman bulundurmaktadır;

- Core OS tabakası, Sockets ve dosya sisteminin olduğu nesneye yönelik olmayan katmandır.
- Core Servisleri tabakası, nesneye yönelik ara yüzlerle bu işletim sisteminin çoğunu kapsadığı katmandır.
- Medya tabakası, ses, müzik, video gibi dosyaların çalıştırıldığı katmandır.
- Cocoa Touch tabakası, dokunmatik ekran üzerinde yapılan parmak hareketlerini algılayan bir yapıya sahip ve nesneye yönelik bir ara yüzün olduğu en üst katmandır.

Programcılar uygulama geliştirmeye başlamadan önce işletim sistemi sürümlerinin kullanım oranlarını mutlaka gözden geçirmelidir. Çünkü programlarda hafıza yönetimi (Garbage Collection) çok önemlidir. Özellikle bazı sürümlerden sonra ortaya çıkan yapılar geliştiricinin üstünden yükü kaldırır. Örneğin iOS 7 ile birlikte standart haline gelen “ARC” gibi. Automatic Reference Counting kelimesinin kısaltması olan bu sistem nesnelerin yaratıldıktan sonra onların hafızadaki durumunu düzenleyen sistemdir. Bu sistem sayesinde her seferinde nesnelerin elle bellekten çıkarılmasına gerek kalmamakta ve programcıya büyük bir kolaylık sağlamaktadır.

Objective-C, C tabanlı, yansımali ve nesne yönelimli bir programlama dilidir. 1983 yılında geliştirilmeye başlanan dil ObjC, Objective C ve Obj-C olarak da isimlendirilmektedir. 26 Ekim 2007 tarihinden itibaren Apple firması tarafından geliştirilmeye başlanan dil OpenStep standardı üzerine kurulu olan Mac OS X ve GNUstep işletim sistemlerinde kullanılmaktadır. Objective-C, C'nin syntax'ı (sözdizimini), ilkel türleri ve akış kontrol deyimlerini miras alır. Sınıfları ve yöntemleri tanımlamak için söz dizimi ekler. Objective-C, dinamik yazma ve bağlamayı sağlar. Aynı zamanda nesne grafik yönetimi ve nesne hazırlıkları için dil seviyesi desteği de ekler.

Swift programlama dili 2 Haziran 2014 yılında Apple tarafından düzenlenen WWDC (Apple etkinlikleri- <https://developer.apple.com/wwdc/>) konferansında duyurulan, iOS ve OS X platformlarına uygulamalar geliştirmek için oluşturulmuş, öğrenilmesi kolay, nesne yönelimli ve güçlü bir dildir. Swift, C ve Objective-C'deki en iyileri bir araya getiren iOS ve OS X sistemlerine

uygulamalar geliştirmek için tasarlanan yeni bir programlama dilidir. Xcode derleyicisi kullanarak tasarlanabilir. Swift dilinin hazırlanmasında sadece Objective-C, değil Rust, Haskell, Ruby, Python gibi birçok programlama dilinden faydalanılmıştır. Swift, kullanımı kolay ve açık kaynak kodlu bir programlama dilidir. Birçok üniversite ve eğitim kurumlarında, bilgisayar programlama derslerinde öğretiliyor olması geleceğini güçlendirmektedir. Swift, gerçek zamanlı geri bildirim olanağı sağlayan ve mevcut Objective-C koduna sorunsuz bir şekilde monte edilebilir.

*BlackBerry OS platformu için programlama dilleri:* BlackBerry işletim sistemi, 1999-2013 yılları arasında Java tabanlı BlackBerry marka akıllı telefonlar için geliştirdiği ve halen 10.2.1 sürümü olan mobil işletim sistemidir. Kanadalı şirket RIM (Research In Motion) tarafından üretilen BlackBerry geliştirme araçlarını ücretsiz sağlamaktadır. Uygulama hata ayıklama işlemi hem simülatörde hem de doğrudan cihazda yapılabilir.

*Windows Phone platformu için programlama dilleri:* Windows Phone olarak adlandırılan Microsoft'un telefonlar ve diğer akıllı ürünleri için kullandığı işletim sistemi Windows Mobile olarak Evrensel tüm platformlar için kullanılan işletim sistemine dönüşmüştür. Ortak çekirdek ve uygulama yürütme sistemi sayesinde, bir kez yazılmış olan bir UWP uygulaması Windows 10 çalıştıran tüm cihazlarda çalışacaktır.

## 2.2 Çerçeveler

Çerçevenin kullanımı, geliştirme çaba maliyetlerini azaltarak verimliliği arttırmaktır. İdeal olarak, geliştiricilere, bir uygulamayı geliştirirken gerçekten önemli olan sorunları çözme konusunda zaman kazandırmaktır. Dünyanın dört bir yanındaki 200 ülkede milyonlarca akıllı telefon insanların kullanımındadır. Bu makale ile popüler geliştiricilerden Android ve IOS platformlarına uygulamalar geliştirmek için kullanılan popüler çerçeveleri bir arada ve karşılaştırılmalı olarak ele alınmaktadır. Çerçevelerin genel özelliği Android, iOS ve Windows Universal platformları için uygulama yapılabilmesidir.

Bilgisayara kurulumu yapılabilen çerçeveler; NativeScript, Flutter, Cordova, Appcelerator, Titanium, Ionic, Alpha Anywhere, Xamarin, PhoneGap, Sencha Touch, jQueryMobile, IBM Worklight, Corona, ENYO, LUNGO, React Native, Kivy, JQTouch, Alpha Anywhere, Xojo ve RhoMobile şeklinde sıralanabilmektedir.

## 2.3 Çevrimiçi mobil uygulama oluşturma platformları

Kod kullanımını aza indiren ya da çok az kod ile mobil yazılım geliştirme ortamı sunan mobil programlama araçları, kütüphaneler, apiler kurumsal kullanıcılara ve geliştiricilere mobil yazılım sürecinde daha hızlı ve kolay bir ortam sunmaktadır. Mobil uygulama pazarına girmek için binlerce dolar ve aylarca çalışmaya gerek yoktur. Hızlı bir şekilde ve özel programlama bilgisine sahip olmadan uygun bir bütçe içinde uygulama oluşturmanıza yardımcı olacak birçok mobil platform bulunmaktadır. HTML5, Javascript, CSS3 programlama dillerinin mobil web alanında karşılaştırılması ve hibrit mobil uygulama görüşlerinin pek çok platformda farklı şekilde sunulması kafaları karıştırmaktadır. Mobil uygulama geliştirme süreci konusunda herkes tarafından farkına varılan ve kabul edilen konunun tek geçerli çözümü ise bu platformlar değildir. Her platformun veya aracın kendi çapında çeşitli avantajları ve dezavantajları vardır. Çok bilinen çevrimiçi mobil uygulama oluşturma platformları; Appery.io, Mobileroadie.com, The AppBuilder, Good Barber, ShoutEm, Appy Pie, AppMachine, GameSalad, BiznessApps, AppMakr, App Press, EachScape, iBuildApp, QuickBase, Salesforce1 ve Lightning şeklinde sıralanabilmektedir.

## 2.4 Mobil oyun geliştirme çerçeveleri

Ücretsiz veya düşük maliyeti, oyun hizmetlerinin ve reklam hizmetlerinin uygun bağlantısı, geliştirme kolaylığı (Görsel stüdyo veya kendi geliştirme ortamının olması), kullanılan programlama dili Mobil cihazlar için oyun geliştirme ortamlarının çeşitliliğini artırmıştır. Mobil oyun geliştirme çerçeveleri; Unity, Unreal Engine, Corona SDK – The 2D Game Engines, SpriteKit – 2D sprite-based games, Marmalade SDK, Buildbox, AppGameKit, Construct 2, Fusion, GameMaker Studio, CocoonJS, MonoGame, Amazon Lumberyard, Cocos2D-x ve Haxe olarak sıralanabilir.

## 2.5 Örnek bir uygulama

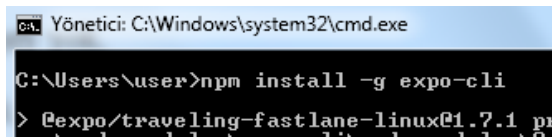
Örnek bir çerçevenin kurulum ve geliştirme süreci;

React native Facebook firması tarafından 2015 yılında geliştirilmiş hem Android hemde IOS'a hizmet verebilen yerel bir mobil platformudur. Aynı zamanda bir JavaScript kütüphanesidir. Geliştiricilerin işlemleri daha kolay ve hızlı yapmaları amaçlanmıştır. React native kurulumu aşağıdaki gibi gerçekleştirilebilir.

1. Npm kullanarak komut satırına şu kod yazılır: npm install -g expo-cli

2. Ardından "AwesomeProject" adlı yeni bir React Native projesi oluşturmak için sıra ile aşağıdaki komutları çalıştırılır (Şekil 5);

```
expo init AwesomeProject
cd AwesomeProject
npm start #you can also use: expo start
```



Şekil 5. Komut tabanlı ara yüz kullanımı

Uygulamayı çalıştırması için Expo istemci uygulamasını iOS veya Android telefona yüklenmesi ve bilgisayarla aynı kablosuz ağa bağlanması gerekir. Android'de, projeyi açmak için terminaldeki QR kodunu taramak için Expo uygulaması kullanılır. IOS'ta ise bağlantı almak için ekrandaki talimatlar izlenir:

Örnek kodlama aşağıda verilmiştir.

```
import React from 'react';
import { StyleSheet, Text, View } from 'react-native';
export default class App extends React.Component {
  render() {
    return (
      <View style={styles.container}>
        <Text>Merhaba Dünya</Text>
      </View>
    );
  }
}
const styles = StyleSheet.create({
  container: {
    flex: 1,
    backgroundColor: '#fff',
    alignItems: 'center',
    justifyContent: 'center',
  }
});
```

Uygulama başarıyla çalıştırıldıktan sonra değişiklikler yapılabilir. Tercih edilen metin editöründe App.js dosyasını açılır ve düzenlenir. Değişiklikleri kaydettikten sonra uygulama otomatik olarak yeniden yüklenmelidir. Kodda değişiklik yapıp kaydedildiğinde anında cep telefondaki uygulama da güncellenen sürüm gösterilmektedir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu makalede Android, IOS ve diğer platformlara ait uygulama geliştirmek için kullanılan popüler çerçeveler, diller ve veri tabanları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 3’de çevrimiçi ve çevrimdışı çerçevelerin karşılaştırılması sunulmaktadır. Çizelge incelendiğinde hızlı ve tek bir uygulama geliştirilmesi gerektiğinde çevrimiçi mobil çerçevelerin daha uygun olduğu fakat bu işi profesyonelce gerçekleştirmek ve geniş kapsamlı uygulamalar hazırlamak için çevrim dışı çerçevelerin ve programlama dillerinin öğrenilmesi gerektiği görülmektedir.

**Çizelge 3.** Çevrimiçi ve çevrimdışı çerçevelerin karşılaştırılması

	<b>Bilgisayara yüklenen Çerçeveler</b>	<b>Çevrim içi çerçeveler</b>
Ücret	Birçoğu açık kaynak kodlu ve ücretsiz	Hemen hemen tamamı ücretli
Kurulum	Karmaşık yükleme işlemleri var.	Yükleme gerektirmiyor.
Eğitim	Çerçeveyi kullanabilmek için bir süre alışmak ve kod öğrenmek gerekiyor.	Sürükle-bırak çalışma prensibi var.
Platform desteği	Tüm mobil işletim sistemlerine uygun uygulama geliştirilebilir.	Ağırlıklı olarak Android ve iOS işletim sistemleri üzerinde durulmuş.
Topluluk	Çoğunda büyük topluluk desteği mevcuttur.	Topluluk desteği mevcut değil.
Programlama Dili	HTML, CSS ve JavaScript öğrenmek gereklidir.	Herhangi bir dil öğrenmek gerekli değildir.
Neden seçilmeli	Çoğu ücretsiz Tasarım özgünlüğü Süreklilik Topluluk Java Script Büyük firmaların desteği	Hızlı prototipleme Kurulum yok Dil öğrenme çabası yok Kolay Sürükle bırak

#### 3.1 Mobil Geliştirme Platformları için Dikkat Edilecek Noktalar

1. Programlama dili: Çok fazla IDE vardır. Mobil geliştirme platformları genellikle bir programlama diline özgüdür. Nihai ürün alıcıları genellikle mobil uygulamalarını oluştururken kullanmayı düşündükleri dile bağlıdır. Çok dilli destek sunan birçok platformlar olmasına rağmen, amaçlanan kodlama dilini bilmek platform seçeneklerinizi etkili bir şekilde kullanmayı sağlar. Doğru dil ve platform seçimi çok önemlidir.

2. Arka uç ve ön uç (Back-end - front-end): Bir geliştirici role bağlı olarak, ön uç ya da arka uç geliştirmeye özgü bir platform düşünülebilir. Amaç ya kullanıcı ara yüzüne hâkim olmak ya da veri erişim katmanları oluşturmaksa, arama odaklı platformlar veya muhtemelen hizmet (MBaaS) ürünü olarak mobil bir arka uç oluşturmak için daralır. Ön uç ve arka uç entegrasyon özelliklerine sahip bir platform arıyorsanız, arama daha da daralacaktır.

3. Platformlar arası (Cross-platform): Uygulamanın dağıtım yöntemi, bir mobil geliştirme platformu seçilmesinde kilit bir faktördür. Birçok ürün, özellikle iOS veya Android gibi yerel bir işletim sisteminde çalışır. Diğer ürünler, uygulamaların çeşitli cihazlarda çalışmasına izin veren platformlar arası dağıtım özelliklerine sahiptir. Ürünün sonunda belirli bir işletim sisteminde mi

yoksa birden fazla işletim sisteminde mi çalışacağını bilmek, sizi bir mobil geliştirme platformu seçmeye daha da yaklaştırmalıdır.

4. Ölçeklenebilirlik: Arka uca özel veya tümleşik platformlara bakıyorsanız, ölçeklenebilirlik daha ağır basabilir. Geliştiriciler genellikle uygulamalarını bir platformda derler ve sonunda ölçeklenebilir bir platforma aktarırlar. Ancak bazı platformlar, cihazlar arasında ve bulut depolamada yerel özellikler olarak işlev görmesi için ölçeklenebilirlik olanakları sunar. Yerel bir geliştirme kiti seçerseniz, geliştiricilerin uygulamalarını benimsemeyi umdukları her cihaz için yeniden yazmaları gerekir. Ancak bazı geliştiriciler yalnızca tek aygıt işlevselliğini arzu edebilir. Her iki durumda da, ölçeklenebilirlik gereksinimlerinizi bilmek, Mobil Geliştirme Platformu Aramanızı daraltmanıza yardımcı olacaktır.

5. Emülatör kullanılabilirliği: Emülatörler, uygulamanın işlevselliğini test etmede kilit bir bileşendir. Birçok mobil geliştirme platformu, pek çoğu olmasa da, mobil testler için yerleşik emülatörler sunar. Geliştirme platformunda emülatör sunmayanların bazıları, uygulamaları test etmek için üçüncü taraf emülatör araçlarını gerektirir. Simülatörler uygulamanın davranışını çoğaltmaya çalışır, emülatörler ise bir uygulamanın iç işlevlerini ve genel davranışını çoğaltır. Emülatörler sıklıkla tercih edilir, çünkü yeniden oluşturma tam olarak uygulamanın çalışacağı gibi davranır. Simülatörler uygulamanın fonksiyonlarını taklit eder.

6. Hız önemlidir ve giriş animasyonlarını kısa tutmak, gereksiz kodlamayı ve kullanılmayan öğeleri çıkartmak hızı artırmayı sağlar.

7. Kullanılan grafikler yazılım ile uyumlu olmalıdır.

8. Uyumu korumak, son kullanıcı testlerini iyi yapmak lazımdır.

9. Cihazların güvenliğine dikkat etmelidir. Gereksiz kod parçaları, gereksiz zamana bu da ısınmaya sebep olabileceği için kaldırılmalıdır.

10. Reklam kullanımına dikkat edilmelidir.

### 3.2 Mobil Geliştirme Platformları için Dikkat Edilecek Noktalar

Mobil Geliştirme Platformları ile şunlar yapılabilir;

- Mobil uygulamalar yazılır, yönetilir ve dağıtımı yapılır,
- Geliştirme sürecini hızlandırmak için API'ler, çerçeveler ve araçlar kullanılır
- UI / UX gelişimi için tasarım araçlarını kullanılır,
- Emülatörler ve simülatörler aracılığıyla mobil uygulamalar her cihazda test edilir,
- Arka uç (Back-end) yetenekleri yönetilir ve kontrol edilir
- Veri saklama ve şifreleme olanakları,
- Mobil uygulamaları platformlar ve cihazlar arasında ölçeklendirme,
- Depolama, test etme, hata ayıklama ve diğer görevler için üçüncü taraf araçlarla entegre

edebilme imkanları vardır.

Çizelge 4'de mobil işletim sistemlerine göre geliştirme platformları ve programlama dilleri karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Hem Android hem de iOS mobil işletim sistemleri için çok sayıda geliştirme platformu ve programla bulunmaktadır ve Android yazılımlar hemen hemen her cihazda çalışma kabiliyetine sahipken iOS uygulamalar sadece Apple firmasının ürünlerinde çalışabilmektedir.



Çizelge 4. Mobil işletim sistemleri kıyaslaması

	Android	iOS	Kaios	Windows Mobile	Diğer
<b>Hedef Kitle *</b>	%74.85	%22.94	0.81%	% 0.28	1.12
<b>Geliştirme Platformları</b>	Android studio, E-Clipse, çerçeveler, online çerçeveler	Xcode, çerçeveler, online çerçeveler	Phyton	.NET Studio	Çerçeveler
<b>Geliştirme dilleri</b>	Kotlin, Java, CSS,	Objective-C, Swift, CSS, Java	CSS,JavaScript, php, phyton, ruby	C#	JavaScript, HTML, CSS
<b>Topluluk</b>	Çerçevelerin topluluk desteği mevcut.	Çerçevelerin topluluk desteği mevcut.			
<b>Destek</b>	Google firması	Apple firması	Google firması	Microsoft firması	Çerçeve ve açık kaynak
<b>Kullanıcı sadakati **</b>	%70	% 92	-	-	-
<b>Uygulama Geliri ***</b>	\$ 20.1 B	\$ 38.5B			
<b>Geliştirme karmaşıklığı</b>	Hemen hemen her marka ürüne yüklenebiliyor	Sadece Apple firması ürünleri	Alcatel, Nokia, WizPhone	Microsoft	




\*<http://gs.statcounter.com/os-market-share/mobile/worldwide> Erişim tarihi: 16/05/2019

\*\*Morgan Stanley Medya raporları.

\*\*\* 2017 Dünya geneli mağaza uygulama mağazası gelirleri.

Çizelge 5'te Ionic, Cordova ve PhoneGap geliştirme ortamlarının karşılaştırması verilmiştir. Ücretsiz olarak kullanılabilen bu üç platformun birbirlerine göre üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Bu üç geliştirme platformunun ortak noktaları HTML, CSS ve JavaScript ile geliştirilmesine olanak tanınmaktadır.

Çizelge 5. Ionic, Cordova ve PhoneGap ortamlarının karşılaştırılması

	 Ionic	 Apache Cordova	 PhoneGap
<b>Nedir?</b>	Açık kaynak kodlu ve ücretsiz, yüksek düzeyde etkileşimli uygulamalar oluşturmak için mobil olarak optimize edilmiş HTML, CSS ve JS'ten oluşan bir kütüphane sunar.	Cordova, mobil uygulamaya bir tarayıcı yerleştirerek farklı platformlarda mobil uygulamalar geliştirmenize izin veren bir platformdur.	PhoneGap web tabanlı mobil uygulamalar hazırlamayı sağlayan bir uygulama geliştirme frameworküdür.
<b>Ortak Nokta</b>	HTML, CSS ve JavaScript ile geliştirilmesine olanak tanır.		
<b>Neden seçilmeli?</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hızlı prototipleme</li> <li>Ücretsiz</li> <li>Tasarım</li> <li>Süreklilik</li> <li>Java Script</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eklenti çokluğu</li> <li>Topluluk</li> <li>Kolay erişim</li> <li>Ücretsiz</li> <li>Java Script</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Adobe tarafından desteklenmesi</li> <li>Ücretsiz</li> <li>Kolay</li> <li>Java Script</li> </ul>
<b>Eksiler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Yüksek performanslı veya kullanıcı ara yüzü yoğun uygulamalar için uygun değil</li> <li>Oyun geliştirme amaçlı değil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bir yerel uygulama kadar hızlı değil</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bir yerel uygulama kadar iyi değil</li> </ul>
<b>Alternatifleri</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><b>React Native</b>– React ile yerel (native) uygulama oluşturula bilinir.</li> <li><b>Xamarin</b> - C# ile iOS, Android ve Mac uygulamaları oluşturula bilinir.</li> <li><b>NativeScript</b>- JavaScript ile gerçek yerel uygulamalar oluşturula bilinir.</li> <li><b>Expo</b>-yerel uygulamalar oluşturula bilinir.</li> </ul>		

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada mobil cihazlar için kullanılan 9 işletim sistemi ve sistemlere programlama yapabilen 13 programlama dili 7 IDE ve editör, 18 çerçeve, 15 çevrim içi çerçeve, 9 kütüphane ve 5 veri tabanı incelenerek kurulumları, öğrenme olanakları ve süreleri, avantajları ve dezavantajlarına karşılaştırılmalı olarak yer verilmiştir.

Bu çalışma, günümüz toplumlarının yaşam, haberleşme ve hatta eğlence alışkanlıklarının değişiminde büyük paya sahip olan mobil cihazlara uygulama geliştirme sürecini öğrenmek isteyen kişilerin nereden başlayacaklarını detaylı olarak incelemektedir. Araştırmada akıllı telefonların, tabletlerin, diğer taşınabilir aygıtların ve dolayısıyla tüm mobil uygulamaların nasıl hazırlanacağı konusunda ki eğilimlerin belirlenmesi ve en uygun seçeneğin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Ortaya konan bu çalışma, mobil uygulama hazırlama yaklaşımlarının değerlendirilmesi ve seçilmesi açısından önem arz etmektedir. Bu bağlamda, mobil uygulama hazırlamayı düşünenler öncelikle hedef kitlenin beklentisini doğru analiz etmelidir. Bunun neticesinde mobil uygulama geliştiricileri uygun platformu ve dili seçmelidir. Mobil uygulamanın güvenilirliği, doğru çalışması, hızlı yayılımı için öncelikle dilin, çerçevenin ve hedef kitlenin doğru tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Özetle, genç nüfusa sahip bir ülke olarak Türkiye mobil uygulama geliştirme pazarında başarılı olması için yazılımcıların tüm taşınabilir cihazları, özellikleri, mobil işletim sistemlerini, uygulama geliştirme için kullanılan dilleri ve platformları iyi tanınması gerekmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

- Bilici, H., Mobil Cihazlara Uygulama Geliştirmek için Kullanılan Platformların ve Dillerin Karşılaştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (Basılmış), 2019.
- Charland A., LeRoux B., Mobile application development: web vs. native, Communications of the ACM Magazine, 54 (5), 49-53, 2011.
- Demir K., Akpınar E., Mobil Öğrenmeye Yönelik Tutum Ölçeği Geliştirme Çalışması, Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 6 (1), 59-79, 2016.
- Gezgin D.M., Bağmen E., Mobil Öğrenme Uygulamalarının Geliştirilmesinde Yöntemler ve Platformlar, 2nd International Instructional Technologies & Teacher Education Symposium, 20-22 Mayıs 2014, Afyonkarahisar.
- İnt. Ky. 1. <https://www.btk.gov.tr/uploads/pages/slug/2017-q3-5a5f1e2baba7b.pdf> (Erişim Tarihi: 02/05/2019).
- İnt. Ky. 2. <https://wearesocial.com/blog/2018/01/global-digital-report-2018> (Erişim Tarihi:12/12/2018).
- İnt. Ky. 3. <http://www.adobe.com/inspire/2012/02/mobile-websites-vs-mobile-apps.html>. Erişim tarihi: 20.05.2019.
- Keskin, N.Ö., Kılınç, A.G.H., Mobil öğrenme uygulamalarına yönelik geliştirme platformlarının karşılaştırılması ve örnek uygulamalar, Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 1(3), 68-90, 2015.