



**SÜRDÜRÜLEBİLİR KARBON TAKVİYELİ  
AL-7075 ALAŞIMLARININ TOZ  
METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ**

**Ozan ARSUN**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR**

**SÜRDÜRÜLEBİLİR KARBON TAKVİYELİ AL-7075 ALAŞIMLARININ  
TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ**

**Ozan ARSUN**

**Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR**

**KARABÜK  
Temmuz 2021**

Ozan ARSUN tarafından hazırlanan “SÜRDÜRÜLEBİLİR KARBON TAKVİYELİ AL-7075 ALAŞIMLARININ TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR .....

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/07/2021

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Muhammet Emre TURAN (KBÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Yüksel AKINAY (YYÜ) .....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR (KBÜ) .....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ozan ARSUN

## **ÖZET**

**Yüksek Lisans Tezi**

### **SÜRDÜRÜLEBİLİR KARBON TAKVİYELİ AL-7075 ALAŞIMLARININ TOZ METALURJİSİ İLE ÜRETİMİ**

**Ozan ARSUN**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR**

**Temmuz 2021, 45 Sayfa**

Alüminyum matrisli kompozitler birçok farklı uygulama alanında kullanılmış olsa da, mekanik, tribolojik ve korozyon özelliklerinin iyileştirilmesi, uygulama alanlarının genişletilmesi için çok önemlidir. Bunu başarmak için birçok seramik esaslı ve karbon bazlı katkı maddeleri kullanılmıştır. Fakat, çevre dostu ve düşük üretim maliyetli hidrotermal karbonlar (HTC'ler) alüminyum matrisli malzemelerde henüz kullanılmamıştır. Bu çalışmada, selülozdan üretilen üç farklı miktarda HTC (ağırlıkça% 0,25, %0,50 ve % 1,00) Al 7075'te ilk kez toz metalurjisi ile takviye malzemesi olarak kullanılmıştır. Mekanik, tribolojik ve korozyon test sonuçlarına göre, Al 7075 alaşımının bahsedilen tüm özellikleri HTC'ler ile geliştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucu olarak, HTC'lerin, alüminyum matris kompozitler için uygun takviye malzemesi olarak kullanılabileceği ortaya konulmuştur.

**Anahtar Kelimeler** : Al 7075, hidrotermal karbon, takviye, toz metalurjisi.

**Bilim Kodu** : 91512

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **PRODUCTION OF SUSTAINABLE CARBON REINFORCED AL-7075 ALLOYS BY POWDER METALLURGY**

**Ozan ARSUN**

**Karabuk University  
Institute of Graduate Programs  
Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor**

**Assist. Prof. Hamza ŞİMŞİR**

**July 2021, 45 Pages**

Aluminium matrix composites have been used in many different application areas. But the enlargement of their application areas mostly depends on the improvement of their properties (mechanical, tribological and corrosion). For this purpose, many different ceramic and carbon based reinforcement materials have been used. But until now, hydrothermal carbons (HTCs) which are known as green and low production cost carbons have not been used. In this thesis, 0.25, 0.50 and 1.00 wt.% amounts of HTCs which produced by cellulose as a biomass, were used as an additive in Al 7075 alloy by powder metallurgy for the first time. According to the test results, the mechanical, corrosion and tribological properties of Al 7075 alloy were improved with the addition of HTCs as different amounts. This thesis results present that, HTCs is an appropriate reinforcement material and it can be used for aluminium matrix composites.

**Keywords** : Al 7075, hydrothermal carbon, reinforcement, powder metallurgy.  
**Science Code** : 91512



## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasından, tamamlanmasına kadar geçen süreçte bilgi ve tecrübesini esirgemeyen ve bu sayede çalışmanın yapılmasına büyük katkıları olan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Hamza ŞİMŞİR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez çalışması Karabük Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafında FOA-2020-2185 proje numarası ile desteklenmiştir. Tezime vermiş olduğu desteklerden dolayı KBÜ BAP Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarımı gerçekleştirdiğim Demir Çelik Enstitüsü personeline tezime vermiş oldukları katkıdan dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bu çalışmamda maddi ve manevi her daim yanımda oldukları için aileme tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ .....	1
1.2. ALÜMİNYUM HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	1
1.3. Al7075'in GENEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILDIĞI ENDÜSTRİYEL ALANLAR.....	7
1.4. Al7075 GELİŞTİRMEK İÇİN KULLANILAN KATKI MALZEMELERİ ..	10
1.5. Al7075'E İLAVE EDİLEN KARBON MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ .....	13
BÖLÜM 2 .....	16
2.1 HİDROTERMAL KARBONLAR .....	16
BÖLÜM 3 .....	18
3.1. TOZ METALURJİSİ(TM).....	18
BÖLÜM 4 .....	20
DENEYSEL BÖLÜM.....	20
4.1. MALZEMELERİN ÜRETİMİ.....	20
4.2. KARAKTERİZASYONU .....	22

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	24
SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....	24
5.1 HİDROTERMAN KARBONLARIN KARAKTERİZASYONU .....	24
5.2. MİKROYAPININ KARAKTERİZASYONU .....	25
5.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU .....	28
5.5. KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU .....	34
5.6. SONUÇLAR .....	38
KAYNAKLAR .....	39
ÖZGEÇMİŞ .....	45

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1.	Alüminyum ve alaşımlarının farklı endüstriyel alanlara ait kullanım örnekleri: a) Uçak, b) Tır, c) Roket, d) Tren, e) Otomobil ve f) Hava aracı. ....	7
Şekil 1.2.	Audi markasına ait şaşıde kullanılan malzemeler .....	9
Şekil 1.3.	Bazı karbon formları ve sınıflandırılması. ....	14
Şekil 2.1.	Hidrotermal karbonizasyon yöntemleri ve elde edilen ürünler.....	17
Şekil 3.1.	Toz metalurisi işlem şeması. ....	18
Şekil 4.1.	Çalışmalarda kullanılan örnek otoklav görseli.....	20
Şekil 4.2.	Sıcak pres makinesi .....	21
Şekil 5.1.	a) SEM görüntüleri ve b) Selülozdan üretilen HTC'lerin FTIR spektrumları.....	24
Şekil 5.2.	Örneklerin SEM görüntüleri a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0,25 HTC c) 7075 A -% 0,50 HTC ve d) 7075 A -% 1,00 HTC. ....	25
Şekil 5.3.	a-b) SEM hattı EDX, c-d) 7075 A -% 1.00 HTC'nin SEM Eşlemesi. ....	26
Şekil 5.4.	HTC, Al 7075 ve Al 7075-HTC kompozitlerinin XRD desenleri. ....	27
Şekil 5.5.	Örneklerin nihai basma dayanımı ve gerinim değerleri a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0.25 HTC, c) 7075 A -% 0.50 HTC ve, d) 7075 A -% 1.00 HTC.....	29
Şekil 5.6.	Örnekler için uygulanan yük eğrilerine karşı aşınma hızı değerleri. ....	31
Şekil 5.7.	a) 7075 Alaşım, b) 7075 A-% 0.25 HTC, c-d) 7075 A-% 0.50 HTC, e) 7075 A-% 1.00 HTC ve f) Bilyenin aşınmış yüzeylerinin optik ve stereo mikroskop görüntüleri. ....	32
Şekil 5.8.	Aşınma deneyi sonrası numune görüntüleri.....	33
Şekil 5.9.	a) 7075 Alaşımı ve b) 7075 A-0.50% HTC'nin SEM görüntüleri ve SEM-EDX sonuçları .....	34
Şekil 5.10.	Al 7075 ve Al 7075-HTC kompozitlerinin potansiyodinamik polarizasyon grafikleri.....	35
Şekil 5.11.	Korozyon sonrası numune görüntüleri.....	36
Şekil 5.12.	Korozyon testinden sonra numunelerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları: a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0.25 HTC, c) 7075 A -% 0.50 HTC ve d) 7075 A -% 1.00 HTC. ....	37

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri. ....	3
Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemler .....	6
Çizelge 1.3. Al7075'in mekanik özellikleri .....	8
Çizelge 4.1. Al7075'in kimyasal kompozisyonu .....	22
Çizelge 5.1. Numunelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özellikleri. ....	30
Çizelge 5.2. Hazırlanan numunelerin korozyon sonuçları. ....	36

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Mpa	: megapaskal
°C	: santigrat derece
µm	: mikrometre
mL	: mililitre
gr	: gram
mm	: milimetre
kg	: kilogram
m	: metre
s	: saniye
dk	: dakika
mg	: miligram

### KISALTMALAR

SEM	: Scanning Electron Microscopy (Taramalı Elektron Mikroskobu)
FTIR	: Fourier Transform Infrared (Fourier Dönüşümlü İnfrared)
XRD	: X-ray Diffraction (X-ışını Kırınımı)
EDS	: Energy Disperser Spectrum (Enerji Dağıtıcı Spektrum)
EDX	: Energy Dispersive X-ray (Enerji Dağılımlı X-ışını)
CFRP	: Carbon Fiber Reinforced Composite (Karbon Fiber Takviyeli Kompozit)
HTC	: Hydrothermal Carbonization (Hidrotermal Karbonizasyon)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

#### 1.1. ALÜMİNYUMUN TARİHÇESİ

Alüminyum çok kullanılan bir metal olmasına rağmen geçmişe bakıldığında özellikle son yıllarda kullanımı daha da yaygınlaşmıştır. Alüminyumun endüstriyel üretimi 1886 yılında ABD ve Fransada yapılan elektroliz çalışmalarıyla başlamıştır. 1892 yılında K.J. Bayer'in, alüminyumun üretilmesini sağlayan cevherin yani boksit'ten alüminanın elde edilmesine olanak sağlayan Bayer prosesinin keşfedilmesiyle alüminyumun endüstriyel anlamda üretimi kolay hale gelmiştir. Bulunduğu tarihten itibaren demirden sonra en fazla kullanılan metal alüminyum olarak belirlenmiştir. Dünden bugüne halen, Paul.T. Herault ve Charles Martin Hall'ın keşfettiği üretim yöntemleri kullanılmaktadır. Alüminyum matrisli malzemelerin hızlı bir şekilde yaygınlaşmasının nedenlerine gelecek olursak, demir ve bakırdan 3 kat hafif olması, ağırlık oranları dikkate alındığında bakırdan daha iletken olmasıdır. Alaşımlandırma yapıldığında korozyona karşı dirençli, yüksek dayanım mukavemeti kazandırılabilen, kolay işlenebilenebilen ve şekillendirilebilen alüminyum alaşımları geliştirilmiştir. Günümüzde alüminyum kullanım alanları, mimari olarak yapı endüstrisinde, iletken malzeme, otomotiv sanayisinde motor bloğu dökümü gibi birçok parça üretimi, uçak ve uzay araçları tasarımında, metalin boya pigmentlerinde, mutfak eşyaları gibi günlük kullanılan birçok eşya ve alanda kullanılmaktadır. Ayrıca her geçen gün yeni kullanım alanları geliştirilmekte ve bulunmaktadır [1].

#### 1.2. ALÜMİNYUM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Alüminyum, sünek, hafif ve rengi mat gümüş benzeridir. Doğada en çok bulunan üçüncü elementtir. Saf alüminyumun çekme dayanım değerine bakıldığında yaklaşık olarak 49 MPa iken alaşımlandırma ile geliştirildiğinde 700 MPa değerlerine kadar

çıkabilmektedir. Yoğunluğu, çelik ve bakır ile kıyaslandığında yaklaşık üçte biri oranındadır. Alüminyumun korozyon direnci, korozif ortamda üzerinde oluşan oksit tabakasının oluşması ve bu tabakının koruyucu özellik taşımasından kaynaklıdır. Yukarıda bahsedildiği üzere alüminyum saf haliyle çekme dayanımı düşük değerler verirken, alaşımlandırıldığında (Cu, Zn, Mg, Mn ve Si vb.) mekanik özellikleri geliştirilebilir. Dayanımının yüksek olması ve dengeli ağırlık oranlarına sahip olmasından dolayı alüminyum alaşımları uçak ve uzay araçlarının üretiminde sürekli olarak kullanılan parçalardır. Üstün özellikleri ve kolay elde edebilmesi gibi birçok sebepten dolayı günümüzde alüminyum alaşımlı malzemelerin kullanımı artmaktadır. Dünyada metaller arasında en çok kullanılan demirin başta korozyon direncinin düşük olduğu ve ağırlık değerinin alüminyuma göre fazla olduğu bilinmektedir, bunlar göz önünde bulundurulduğunda alüminyum kullanımının her geçen gün artarak önem kazanacağı görülmektedir. Alüminyumun endüstrinin birçok alanında farklı türlerde ürünün yapımında kullanılmakta olup küresel çapta üretim ve ekonomi kısmında çok önemli yere sahiptir.

Alüminyum en önemli özelliklerinden birisi hafif olmasıdır bunun yanı sıra yüksek elektrik ve ısı iletkenliğe sahiptir, korozyona direnci, kolay bulunabilmesi, üretim prosesinin kolay olması, alaşımlandırma ile yüksek çekme mukavemetine sahip olabilmesi alüminyumun önemini artırmaktadır. Isı ve ışığıda iyi yansıtma özelliği olup, manyetik değildir [1].

Kompozit malzemeler grubunda da alüminyum matris bir malzeme olarak hafifliği, korozyon direnci ve şekillendirilebilme kabiliyeti avantajları arasında yer almaktadır. Son yıllarda ve gelecek süreçte çeşitli alüminyum alaşımları kullanılarak kompozit malzemeler geliştirilmeye devam etmekte ve üretilmektedir [2].

Alüminyum ve alaşımlarının üretildikten sonra parçaların şekillendirilmesi ve işlenmesi aşamasında talaşlı imalat, kesme, kaynak gibi yöntemlerin yanı sıra sac metal kalıplarıyla şekillendirme yöntemi de oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Sac metal şekillendirme işleminin temel yöntemlerinden olan bükme metodu, basit geometrili parçalardan, araç şasesi gibi karmaşık şekilli endüstriyel parçaların üretimine kadar pek çok alanda bükme işlemi kullanılmaktadır. Alüminyum döküme



elverişli pek çok geometrik şeklin uygulanabildiği bir metal türüdür ve geniş bantta kullanıcılara yüksek yüzey kalitesi sunar. Alüminyumun bu özellikleriyle mühendislik alanında geniş yer tutması ve her geçen gün önem kazanması şaşırtıcı değildir [3,4].

Alüminyum fiziksel özellikleri çizelge 1.1.' de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri.

FİZİKSEL ÖZELLİK	DEĞERİ
Atom Ağırlığı	26,97 (gr/mol)
Dökme Alüminyumun Özgül Ağırlığı	2,65-2,92 (gr/cm <sup>3</sup> )
Hadde Alüminyumun Özgül Ağırlığı	2,7 (gr/cm <sup>3</sup> )
Ergime Noktası	658 (°C)
Kaynama Noktası	1800 (°C)
Isıl Geçirgenlik Katsayısı	173 (W/mK)

Alüminyum malzemelerin gösterdiği dayanım üretim yöntemi veya malzemenin iç yapısına göre değişiklik gösterir. Alüminyum havadaki oksijenle hızlı şekilde reaksiyona girerek Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oluşturur ve yüzeyde renkli bir film tabakası oluşur. Bu tabaka korozyona karşı direnç sağlar ve alüminyumun kullanım alanını genişletir. Soğuk şekillendirme ve alüminyumun saflık derecesi korozyon direncini etkiler. Diğer bir husus katılan alaşım elementleri alüminyumun mukavemetini artırır Örn; Mg, Mn, Si, Cu, Zn, baze, Pb, Ni, Ti olarak örnekler sıralanabilir [1].

Alüminyum başlıca özellikleri;

- Belirli hacimde yoğunluğu düşüktür.
- Mekanik özellikleri geniş aralıkta değiştirilebilme olanağı sunar.
- İyi akışkanlığa sahiptir, ince kesitlerde ideal dolum sağlar.
- Düşük ergime sıcaklığına sahip olmasından dolayı bir çelik veya dökme demire nazaran dökümü ve ergitmesi kolaydır.
- Alüminyum kalıba ısı transferi hızlıdır.
- Atmosfer ve nem ortamında korozyon direnci sağlar.

- Düzgün ve parlak yüzey kalitesi vardır.
- Zehirlenme özelliği yoktur ve bu özelliğinden dolayı gıda endüstrisinde kullanılabilir.
- İletken ve hafif olmasından dolayı elektrik gerilim hatlarında kullanılabilir.

Ekonomik açıdan alüminyum dökme demir, çelik gibi malzemelere nazaran pahalı olmasından dolayı tercih edilmeme durumu ortaya çıkmaktadır. Ancak birim ağırlık açısından alınan malzeme olarak kıyaslırsak alüminyum daha ucuzdur. Mühendislik olarak tercih edilmeme sebeplerini sıralayacak olursak;

- Sürtünme ve aşınmaya dirençsizdir.
- Paslanmaz çelik, nikel esaslı alaşımlara nazaran korozyon direnci düşüktür.
- Bazı mekanik özellikleri düşüktür (kopma, tokluk, sertlik) ancak bunlar alaşımlandırma ile yükseltilebilir.

Alüminyum; işlem ve döküm alaşımı olarak iki ana gruba ayrılır ve alaşımlar dört rakam ile ifade edilir.

İşlem alaşımlarında aşağıda verildiği gibi ilk rakam bileşikteki ana elementi belirtir.

- 1xxx Al oranı %99.0 veya daha fazla
- 2xxx Ana alaşım elementi Cu
- 3xxx Ana alaşım elementi Mn
- 4xxx Ana alaşım elementi Si ve Cu ve /veya Mg
- 5xxx Ana alaşım elementi Mg
- 6xxx Ana alaşım elementi Mg, Si
- 7xxx Ana alaşım elementi Zn
- 8xxx farklı alaşım elementleri
- 9xxx yaygın olarak kullanılmayan seriler

Döküm alaşımlarının kodlanmasında da 4 rakam mevcuttur. Fark olarak üçüncü rakamdan sonra bir nokta konulmuştur. Bu rakam döküm parçasını veya dökümhanede kullanılacak ingotu ifade eder. İlk rakam alaşım grubunu belirler.

- 1xx.x %99.00 minimum alüminyum
- 2xx.x Cu ana alaşım elementi
- 3xx.x Si, Cu ilaveli ve/veya Mg
- 4xx.x Si ana alaşım elementi
- 5xx.x Mg ana alaşım elementi
- 7xx.x Zn ana alaşım elementi
- 8xx.x Sn ana alaşım elementi
- 9xx.x diğer elementler
- 6xx.x yaygın kullanılmayan alaşımlar

Sonraki iki rakam alüminyumun saflığını, nokta ile ayrılan son rakam ise ürünün şeklini (döküm parçası veya ingot) belirtir. 0:Döküm, 1:İngot, 2:Modifiye edilmiş ingot.

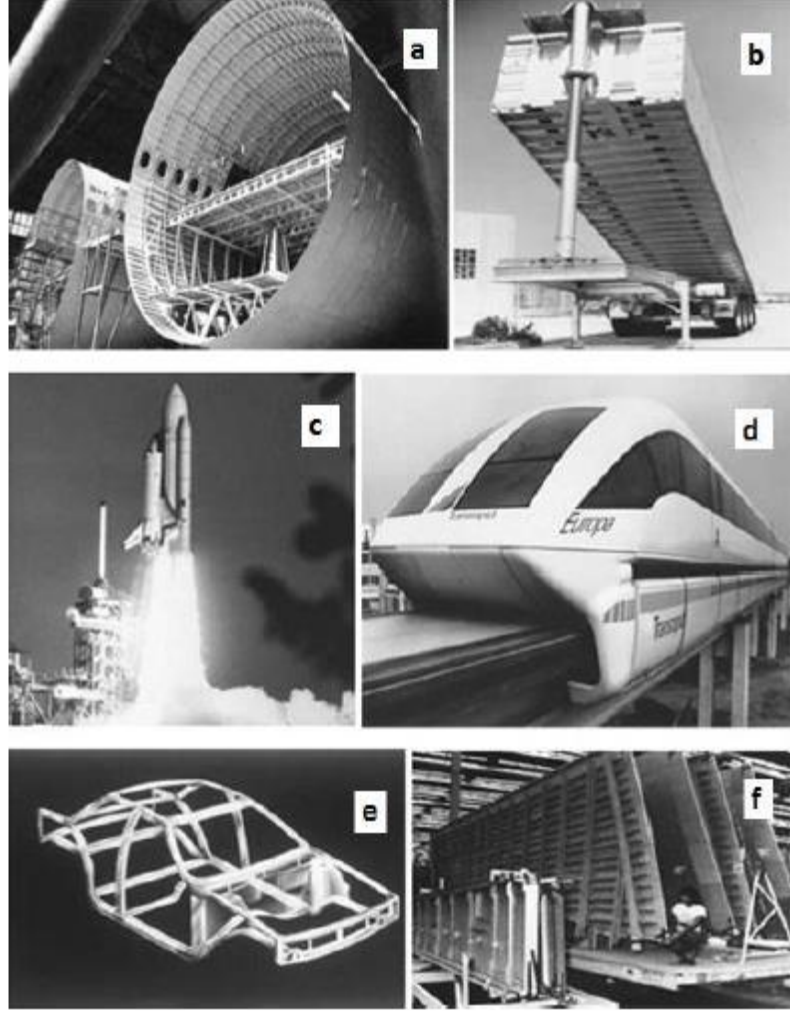
Alüminyum ve Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler çizelge 1.2.'de verilmiştir [5].

Çizelge 1.2. Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlem türleri.

<b>Kod</b>	<b>Uygulanan Isıl İşlem</b>
<b>F</b>	Üretildiği gibi
<b>O</b>	Tavlanmış
<b>H</b>	Soğuk şekillendirilmiş
<b>T</b>	Yaşlandırma yapılmış
<b>T1</b>	Üretim sıcaklığında soğutulmuş ve doğal yaşlandırma yapılmış
<b>T2</b>	Üretim sıcaklığında soğutulmuş, soğuk şekil verilmiş ve doğal yaşlandırılmış
<b>T3</b>	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış
<b>T4</b>	Çözeltiye alınmış ve doğal yaşlandırılmış
<b>T5</b>	Üretim sıcaklığında soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış
<b>T6</b>	Çözeltiye alınmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T7</b>	Çözeltiye alınmış ve aşırı yaşlandırılmış
<b>T8</b>	Çözeltiye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış
<b>T9</b>	Çözeltiye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş
<b>T10</b>	Üretim sıcaklığında soğutulmuş, soğuk şekil verilmiş ve yapay yaşlandırılmış

Alüminyum ve alaşımlarının; elektrik iletkenliği, korozyon direnci, ağırlık/dayanım oranı gibi özelliklerinden dolayı birçok alanda tercih sebebi olmaktadır. Son yıllarda özellikle kompozit malzeme kullanımının artmasıyla da alüminyum esaslı kompozit malzemelerin gelişmesi ve kullanımı artmıştır. Alüminyum ve alaşımlarına alaşım elementi takviyesi ile kullanım alanına ve amacına uygun daha iyi özelliklerde malzemeler elde edebilmek mümkündür [5].

Alüminyum ve alaşımlarının endüstrideki kullanım alanlarına, Şekil 1.1.'de bazı örnekler verilmiştir.



Şekil 1.1. Alüminyum ve alaşımlarının farklı endüstriyel alanlara ait kullanım örnekleri: a) Uçak, b) Tır, c) Roket, d) Tren, e) Otomobil ve f) Hava aracı [5].

### 1.3. Al7075'in GENEL ÖZELLİKLERİ VE KULLANILDIĞI ENDÜSTRİYEL ALANLAR

Al7075 serisi alüminyum alaşımları yüksek çekme dayanımı ve sunduğu diğer özellikler sebebiyle birçok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Al7075 serisi alaşımları ısıtılabilir bir türdür ve bu sayede yüksek dayanım özelliği kazanır, 7xxx serisi içerisinde çinko %1-8 arasındaki miktarı ile temel alaşım

elementidir [6]. Ortalama olarak %5 civarında yapıya ihtiva edilir ve yüksek çekme dayanımı kazandırır. Çinkonun, magnezyumla birlikte kullanılması malzemenin ısıl işleme sertleştirilmesini sağlayan özellik kazandırır [7].

Daha az yüzde oranlarında olan magnezyum elementi yapıdaki ikinci sıradaki elementtir. Bu iki alaşım elementi ısıya dayanıklı ve çok yüksek dayanım mukavemetine sahip malzemeler üretilmesine olanak sağlar. Genellikle bakır ve krom gibi element türleri daha az miktarlarda bulunmaktadır [6].

Alaşımındaki elemanların dağılım oranlarına bakıldığında %5,6-6,1 Zn, %2,1-2,5 Mg, %1,2-1,6 Cu, %0,5' den daha az Si, Fe, Ti içerebilir.

Al7075 serisinin ana alaşımı çinkodur diğer elementler ise magnezyum ve bakırdır. Al7075 alaşımlarının mukavemeti yüksektir. Korozyona karşı dayanımı diğer alaşımlarla kıyaslandığında düşüktür [8], [9].

Aşağıdaki çizelge 1.3.'de Al7075 serisine ait örnek mekanik özellik tablosu verilmiştir.

Çizelge 1.3. Al7075'in mekanik özellikleri [9].

<b>Akma Mukavemeti (Mpa)</b>	<b>Çekme Mukavemeti (Mpa)</b>	<b>Uzama (%50)</b>	<b>Sertlik (brinell)</b>
105	225	17	60

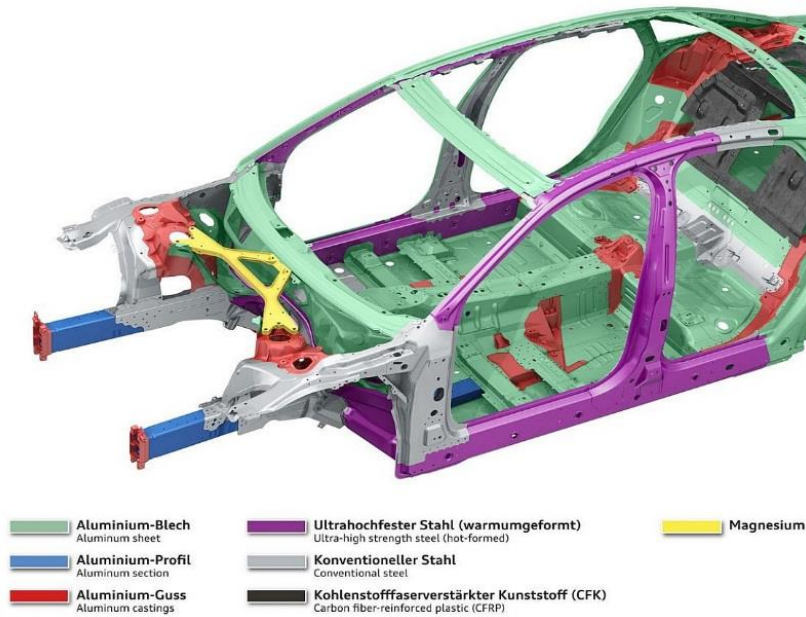
Bu malzemenin temel olarak üretimi II. Dünya Savaşına dayanmaktadır, hava kuvvetlerinde kullanılmak üzere geliştirilmişlerdir ve yüksek mukavemet özelliği taşıması sayesinde uçak gövdelerinde kullanılmıştır. Al-Zn-Mg alaşımları orta derece mukavemeti olan çökellemeyle sertleşebilen üretime dayalı her çeşit yapı malzemesidir. Korozyon dayanımları Al-Cu-Mg alaşımlarına göre daha yüksek iken, Al-Mg ve Al-Mg-Si alaşımlarına kıyasla daha düşüktür [7].

Bu alaşım t¼r¼ ergitme kaynağı esnasında katılaşma çatlağına karşı hassasiyet g¼sterir. Diğer bir husus kaynak sırasında alaşımdaki çinkonun buharlaşması veya oksidasyonla porozite meydana gelir ve yetersiz ergime oluşturur [10].

Kullanım alanları olarak; y¼ksek mukavamet istenen makine parçaları, askeri ve uçak malzemeleri, kauçuk ve plastik kalıplar, otomotiv sanayi, n¼kleer uygulamalar sayılabilir [9].

¼rneđin; otomotiv sanayisinde g¼n¼m¼z motor ¼reticilerinin, motor hacmini k¼¼lt¼rerek performans artırma, yakıt sarfiyatını d¼ř¼rme, egzoz emisyon değerlerini azaltma gibi stratejileri geliştirmek istemeleri t¼m ¼reticilerin hedefleri arasındadır. Bu yapılmak istenen olay d¼nyada ‘‘Engine Downsizing’’ olarak bilinmektedir. Ağırlık azaltma çalışmalarının başında hafif, ekonomik, mukavametli parça ¼retimine ihtiyaç duyulmasından kaynaklı Al7075’in y¼ksek mukavemetli, y¼ksek elastik mod¼l ve ayrıca diğer hafif metallere kıyasla ekonomik olması kullanımını artırmaktadır [11].

Aşağıda g¼sterilen g¼rselde Audi markasına ait bir şase’de hangi t¼r malzemelerin kullanıldığı farklı renklerle belirtilmiştir. Bunlardan yeşil, mavi ve kırmızı ile g¼sterilen kapotaya ait kısımlar alüminyum ve alaşımlarından ¼retilmiřtir [12].



şekil 1.2. Audi markasına ait şasede kullanılan malzemeler.

Al7075 alaşımı günümüzde sıklıkla endüstride tercih edilen mukavemetli, hafif, ulaşılabilir alaşım olması nedeniyle otomotiv, havacılık gibi sektörlerde tercih sebebi olmaktadır [10].

#### **1.4. Al7075 GELİŞTİRMEK İÇİN KULLANILAN KATKI MALZEMELERİ**

Alüminyum takviye elemanlar kullanılarak veya ısıl işlem sonucu malzeme özellikleri değiştirilebilmektedir. Bunun en basit rneği saf alüminyumun çekme dayanımı yaklaşık 49 MPa ölçülürken alaşım elementi takviyesiyle 700 MPa değerleri görülebilir. Al7075 alaşımına ısıl işlem uygulanabilir bu malzemenin ana alaşımı çinkodur. Al7075 alaşımının mukavemeti yüksektir fakat korozyon direnci diğer alaşımlara göre düşük kalır [8,13].

7xxx serisinin en önemli alaşım elementi çinkodur. Buna ek olarak çinko ve magnezyum alüminyum içerisindeki çözünme oranı yüksek olduğundan çökelti mukavemetinin artırılmasını sağlanmaktadır. Bu elementlere ek olarak ilave edilen bakır ise dayanımın artırılmasına olanak sağlamaktadır. 7XXX serisi, Al-Zn-Mg alaşımları (Al7005) Al-Zn-Mg-Cu alaşımları (Al7075 ve Al7178) olmak üzere iki ayrı gruba ayrılmaktadır [14].

Üretilen alaşım malzemelerinin bünyeye ilave edilen alaşım elementine bağlı olarak farklı mekanik özellikler ortaya çıktığı belirlenmiştir [2].

Örneğin; yapılan bir çalışmada Al7075 alaşımına %4 Ti ve sırasıyla %3, %6 ve %9 B<sub>4</sub>C ilavesi yapılarak hibrid kompozit malzemeler üretmişlerdir. Yazarların yapılan tespitlerde vardıkları sonuçlar; B<sub>4</sub>C miktarının yükselmesiyle yoğunlukta düşüşün yaşandığı, sertlik ve ağırlıkta artışın meydana geldiği şeklinde özetlenmiştir [15].

Diğer bir çalışmada ise Al matrisli, B<sub>4</sub>C takviyeli otomotiv sanayinde kullanılmak amaçlı kompozit malzeme üretilmiştir. Yazarlar; %10 B<sub>4</sub>C takviyesinin yüksek aşınma direncine sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca çalışması yapılan kompozit malzeme içersine Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ilavesi yapılarak aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. Otomotiv ve savunma sanayinde kullanılmak üzere aşınma direnci yüksek malzeme



üretimi bu çalışmanın amaçlarından olmuştur. Sonuç olarak yazarlar aşınma direnci yüksek, hafif, korozyon dayanımı yüksek malzeme üretimi yapmışlardır [16].

Alüminyum alaşımları günümüzde popüler metal matrisli alaşımlardır. Bu Alüminyum kompozitlerinin üretilmesinde seramik esaslı  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $TiB_2$  ve  $TiC$  gibi takviyeler olabilir veya karbon malzeme türevlerini içeren farklı takviye elemanlarında tercih edilmektedir. Metal matrisli kompozitlerin çeşitli üretim yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan toz metalurjisi tercih edilen ve hızlı gelişen yöntem olmuştur. Toz metalurjisi birbirine karışması sağlanmış metal tozlarının, oda sıcaklığı yada daha yüksek bir sıcaklıkta üretilecek parçanın kalıp malzemesi içersine preslenerek şekil verilmesi ve ardından da sinterleme işlemiyle sonlandırılan üretim yöntemidir [17].

Yapılan çalışmalara bakıldığında metal matrisli malzemelerde, takviye elemanlarının kompozit yapıya nasıl etki yaptığı hususunda; dağılımı, mikroyapısı, gözeneklilik, aşınma davranışı, kopma dayanımı, sertlik ve kimyasal özelliklere etkisi gibi konularda araştırmalara konu olmuştur [17].

Alüminyum, sıvı formda birçok metalle kolay karışabilen yapıya sahiptir. Metaller arası meydana gelen intermetalik bileşikler alaşımın özelliklerine ve yapısına büyük oranda etki eder. Alaşım elementleri ilavesi ortalama %15'i geçmemelidir. Alaşım elementlerinin ilavesiyle çökelme sertleşmesi oluşturduklarının yanı sıra katı çözeltili sertleşmesi, yüksek işlenebilirlik ve korozyon dayanımının da iyi yönde etkiler.

Alüminyum içerisine %12'den az orana sahip bakır mukavemeti arttırırken, %12'den fazla bakır içermesi yapıda kırılma yaratır. Yüksek sıcaklık özelliklerini ve işlenebilirlik kabiliyetini geliştirir.

Al-Cu alaşımları Si, Mn, Fe, Mg, Zn, Cr gibi alaşım elementlerinin de bünyesinde az miktarda içerebilir. Örneğin; %4,5 Cu içeren bir alaşıma %1,5 Mg eklendiğinde, mukavemeti artırıcı etki yapar.

Silisyum; korozyon direncini ve akışkanlığı arttırırken, sıcak çatlak eğilimini azaltıcı etki yapar. %3 oranından daha fazla silisyum içeren alaşımların işlenebilirliği azalır.

İçerisinde magnezyum bulunan alüminyumun döküm işlemi zorlaşır. Bünyede %6'dan fazla olması durumunda çökelme sertleşmesine neden olur. Yaşlandırmaya uygun bir yapı oluşturur.

Mangan; büzülme etkisini azaltır, alaşımlara takviye edilerek süneklik ve tokluğu artırır. Demir ile birlikte kullanılarak dökülebilirliği arttırır.

Çinko oranı %10'dan yüksek olan alaşımlarda gerilim yenimi çatlama oluşurken, %3'ten daha düşük çinko ihtiva alüminyum alaşımlarında çinkonun önemli bir etkisi bulunmamıştır, bunlara ek olarak dökülebilirliği azaltıcı etki yapar, çatlak eğilimini artırır ve soğuk çekme meydana getirir.

Demir; alüminyum cevheri içinde kendiliğinden yani doğal olarak bulunur, alaşım içerisinde düşük oranlarda bulunması bazı alaşımların sertliğini ve mukavemetini artırıcı rol oynar. Dökümlerin sıcak çatlama olasılığını düşürmekte etkilidir.

Nikel, bakır ile birlikte kullanımı dökülebilirliği azaltıcı etki yapar, çatlak eğilimini artırır ve soğuk çekme meydana getirir, yüksek sıcaklıklarda sertliği ve mukavemeti artırır. Ayrıca termal genişleme katsayısını düşürür.

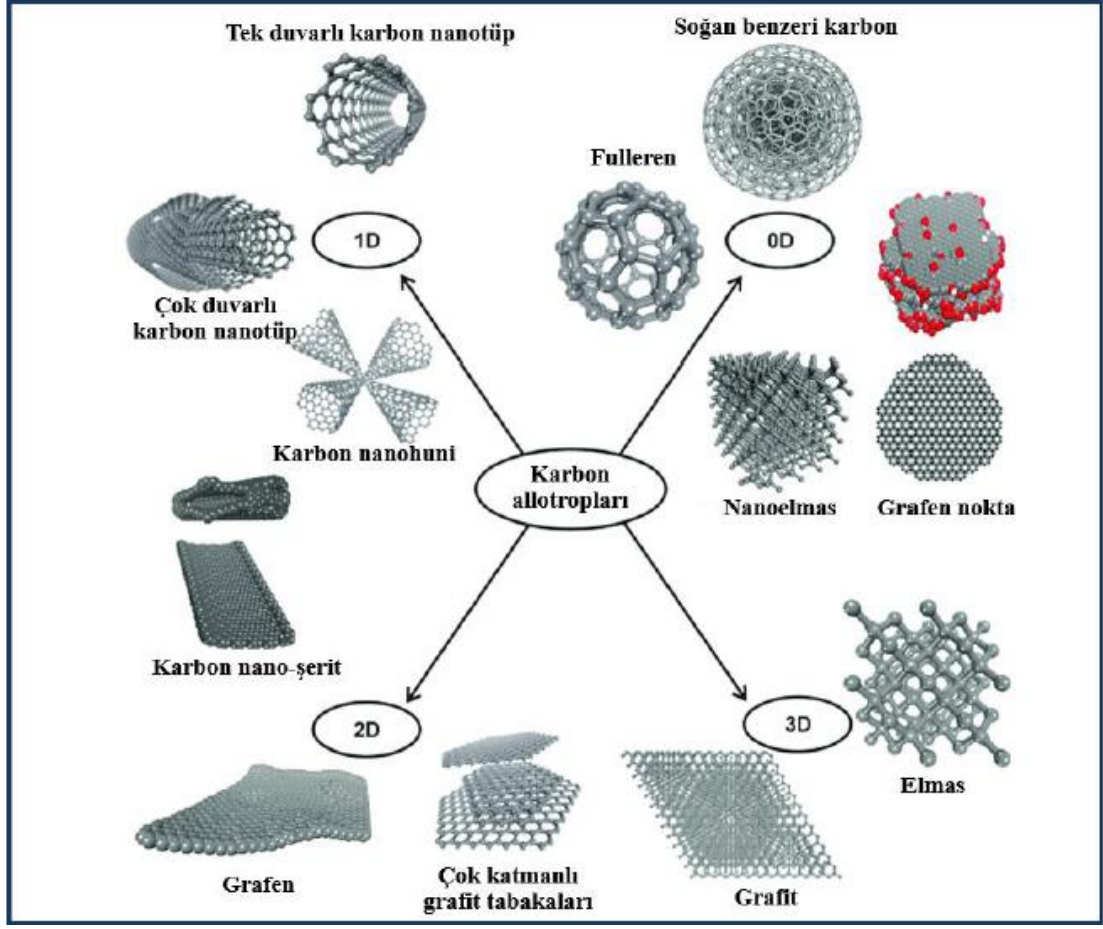
Geçiş metalleri; alüminyumda mevcut olan geçiş metallerinin krom, zirkonyum, titan gibi metalleri içerir. Geçiş metalleri katı eriyikteki esas alaşım elementlerinin çözünürlüğünü azaltır. Geçiş metalleri eriyiğin mukavemetini yükseltici etki yapmalıdır, diğer taraftan bir deneyde alüminyumdaki çinko ve magnezyumunun katı eriyiğinin geçiş metalleri ile alaşımlandığında mukavemetinin azaldığını göstermektedir [18].

## 1.5. Al7075'E İLAVE EDİLEN KARBON MALZEMELERİN MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİ

Kompozit malzemelerin araştırılması ve kullanım alanları gün geçtikçe artış göstermektedir. Bu artışın sebepleri özellikle havacılık, uzay, uydu ve otomotiv endüstrisinde kullanılan ve çok önemli bir yere sahip malzeme olmasıdır. Özellikle karbon fiber takviyeli kompozit (CFRP) malzemeler yüksek dayanım, uzun kullanım ömrü ve ağırlıktan kazanç gibi özellikleriyle günümüz endüstrisinde yaygın olarak kullanılmakta ve geliştirilmektedir. Geleneksel malzeme grupları kompozit malzemelerin kullanıcıya sunduğu özelliklerin gerisinde kalmışlardır. Karbon fiber kompozit malzemeler yoğunluğunun düşük olması sayesinde hafifler ve bunun yanında yüksek dayanım ve rijitlik gibi özelliklerinede sahiptir. Bu özellikler sayesinde kompozit malzemeler ihtiyaçları verimli şekilde karşılamaktadır. Kompozit malzemelerin alüminyumun yerini almasıyla %20-50 oranında ağırlıktan kazanç elde etmek mümkün olmuştur. Karbon fiber takviyeli polimerler malzemenin tek başına kullanımından ziyade alüminyum gibi metallerle kullanılmalarıyla daha verimli, iyi özelliklere sahip malzemeler elde edilebilmek mümkündür [19,20].

Karbonun doğada çeşitli bileşikler ve türleri vardır. Bunun nedeni karbon atomları diğer elementlerle bileşik oluşturabildiği gibi kendi bünyesindeki karbon atomlarıyla da bileşik oluşturabilmesinden kaynaklı çeşitlilik artmaktadır. Bu çeşitlilik sonucunda karbon atomlarının farklı formlarda olan; grafenler, karbon nanotüpler, fullerenler ve grafitler gibi çeşitli yapılar oluşmaktadır. Karbon yapıların sınıflandırılması ise boyutlarına göre yapılabilmektedir [21].

Fullerenler sıfır boyutlu, karbon nanotüpler ise tek boyutlu yapıdadırlar. Grafen ve nanoribonlar iki boyutlu iken, grafitler üç boyutlu yapılar olarak sınıflandırılır. Çeşitli karbon formları ve sınıflandırmaları Şekil 1.3.'de verilmiştir [21].



Şekil 1.3. Bazı karbon formları ve sınıflandırılması [21].

Alüminyum kompozitlerde katkı elemanı olarak karbonu incelediğimizde karbon malzeme olan grafen, basit işlem aşamalarıyla yapıyı daha hafif yapmasının yanında, kompoziti çok fonksiyonlu kullanımlar için daha mukavemetli hale getirir. Grafenin yapıya sağladığı özelliklerin sağlıklı şekilde olabilmesi için ancak grafenin matriste homojen dağılımıyla mümkündür. Fakat bu dağılımın matriste zor gerçekleşmesi, homojen dağılımın sağlanamaması gibi durumlar, prosesteki zorlukları ve tabii maliyetlerin artmasına sebebiyet vermesinden dolayı bu işlemin dezavantajlarından [22].

Wang vd., yaptıkları çalışmada toz metalurjisi ile ağırlık oranı olarak %0,3 miktarında grafen nanotabaka yapıya ilave ederek alüminyum kompozit üretmişler ve yazarlar takviyesiz Al matrise göre kompozit malzemenin çekme dayanımında %62 artış olduğunu tespit etmişlerdir [23]. Kumar vd. yaptıkları çalışmada ise; toz metalurjisi ile grafen takviyeli alüminyum matrisli kompozit malzeme üretmişlerdir. Çekme testi

sonuçlarına göre grafen takviyesi sayesinde çekme dayanımı yaklaşık %50 oranında artmıştır [24]. Turan'ın yaptığı çalışmada ise; saf alüminyumun içerisine ağırlıkça %0.25 oranında karbon nanotüp, grafen ve fulleren takviye etmiştir. Bu karbon takviyelerinin ilavesi ile saf alüminyumun sertlik değerlerini sırasıyla %17, 22 ve 26 oranında arttığı belirlenmiştir [25]. Ujah vd. yaptıkları çalışmada ise; karbon nanotüp takviyeli alüminyum kompozitin; NaCl solüsyonundaki korozyon dayanımının %46 arttığını ortaya koymuşlardır [26].

## BÖLÜM 2

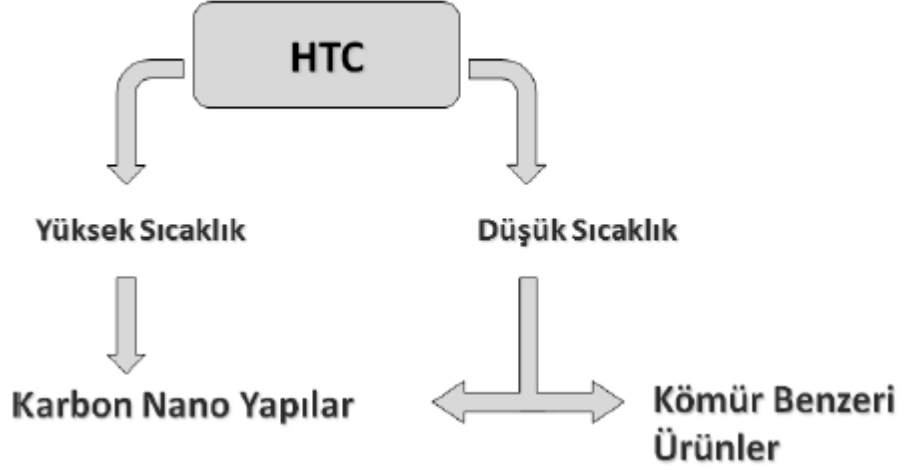
### HİDROTERMAL KARBONLAR

Biyokütlenin doğal yöntemlerle kendi kendine kömüre dönüşmesi için çok uzun zamanlar sürdüğü bilinmektedir. Dönüşüm mekanizması belirleyebilmek ve bu süreci hızlandırmak için araştırmacılar tarafından çalışmalar yürütülmüş ve bir süre sonra biyokütleden kömür benzeri yapıların, kabul edilebilir süreler içinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Biyokütlenin doğal şartlarda kömürleşmesinin dışında genel ve tatmin edici bir yapay yöntem ile kömürleştirilmesine kullanılabilecek yöntemlerden bir tanesi de hidrotermal karbonizasyondur [27].

Hidrotermal karbonizasyon; biyokütlenin su içerisinde, kapalı bir sistemde (otoklav), kendiliğinden oluşan basınçlı altında ve ılıman sıcaklıklarda (180 – 250 °C) değerli karbon malzemelerin elde edilmesini sağlayan sentezleme yöntemidir. Bu karbonizasyon işlemi sonunda, kullanılan biyokütle türüne göre değişkenlik gösterse de yaklaşık ağırlıkça %65'den daha fazla karbon içeren ve genellikle küresel formda karbon malzemeler elde edilmektedir. Bu karbonların ana iskeleti ise aromatik yapılı karbon bağlarından oluşmaktadır. Bu karbonlar hidroçar (HC) ya da hidrotermal karbon (HTC) olarak isimlendirilebilmektedir [28].

Bu sentezleme işleminde reaksiyon sıcaklığına göre iki farklı metod tanımlanabilir (Şekil 2.1). Birinci olarak yüksek sıcaklıkta gerçekleştirilen Hidrotermal karbonizasyon işlemi ile karbon nanotüp, grafit, aktif karbon malzemeler yüksek sıcaklık ve basınca maruz kalarak sentezlenebilir. 250 °C'ye kadar yapılan ve ikinci yöntem olan düşük sıcaklıkta Hidrotermal karbonizasyon yöntemi ile de kömür benzeri karbon malzemeler sentezlenebilmektedir.

Hidrotermal karbonizasyon işleminde reaksiyonun sulu ortamda yapılması, ekstra güçlü çözücülere ihtiyaç olmaması, hammadde ve işletme maliyetinin düşüklüğü avantajları arasındadır [29].



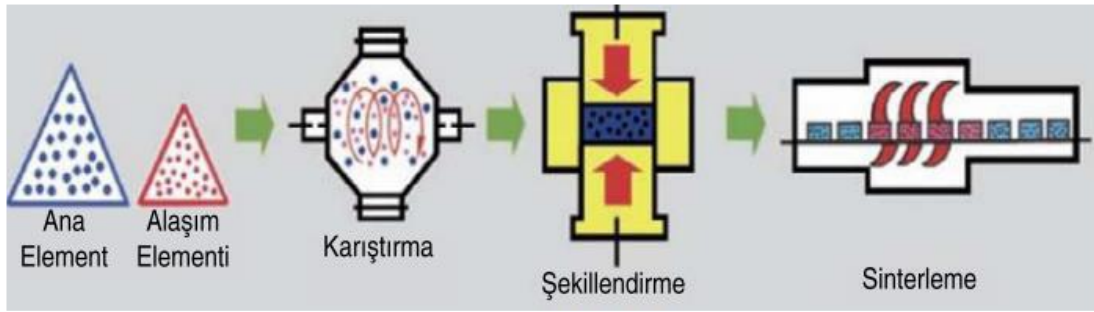
Şekil 2.1. Hidrotermal karbonizasyon yöntemleri ve elde edilen ürünler [26].

Yüksek ve düşük sıcaklık hidrotermal karbonizasyon yöntemleriyle üretilen karbon malzemler; katalitik ve fotokatalitik reaksiyonlar, suların temizlenmesi, CO<sub>2</sub> tutulması, ilaç taşınımı, biyogörüntüleme, lityum iyon piller, süperkapasitörler ve yakıt hücreleri sıvı veya gaz maddelerde adsorbentler gibi birçok alanda kullanılabilirler [27,29].

## BÖLÜM 3

### TOZ METALURJİSİ (TM)

Toz metalurjisi işlemi belirli oranlarda karıştırılmış alaşım veya saf metal tozlarının istenilen şeklin kalıbına basınç ile şekillendirilmesi ve uygun atmosfer ortamında ısıtılması esasına dayanır. Toz metalurjisi işlemi toz hale getirme, karıştırma, sıkıştırma ve sinterleme olmak üzere dört aşamada meydana gelmektedir. Şekil 3.1.'de toz metalurjisi yönteminin işlem şeması görülmektedir [30].



Şekil 3.1. Toz metalurjisi işlem şeması [30].

19. yüzyıldan bu yana toz metalurjisi kullanılmakta ve gelişmektedir. Yine 20. yüzyılda elektrik kontakları, gözenekli rulmanlar, sement karpürler toz metalurji yöntemiyle üretilmiştir [30].

Kullanılan sarf malzemelerin düşük maliyetli olması, seri üretime elverişli olması ve elde edilen nihai ürünle fazla işlem gerektirmeden malzemenin elde edilmesi toz metalurjisinin tercih sebepleridir [31].

Toz metalurjisi ile üretilen malzemelerde genellikle gözenekli yapı elde edilmektedir. Bu gözenekli yapı malzemenin iç yapısındaki yüzey alanı artırmakta, bunun sonucunda ise korozyonun ve oksitlenmenin etkisini artırabileceğine değinilmelidir.



Sinterleme işlemi, tozların birbirlerine difüze olmasına ve üretilen malzemenin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerine artırıcı etki yapmaktadır [31].

Toz metalurjisi yöntemi ile kompozit malzeme üretiminde mekanik alaşımlama bilyeli değirmene konulmuş toz karışımının bilyelerden yüksek enerjili çarpma etkisiyle yapılan öğütme işlemidir (tozları harmanlama ve karıştırma) yapılan işlem tozların homojen olarak dağılımı ve tane boyutunun inceltilmesi açısından önemlidir [30,32].

Sıkıştırma işlemi toz metalurjisindeki 3. adımdır ve temel amacı, bir sonraki aşama için yeterli dayanıma sahip, dirençli preslenmiş bir parça üretmektir. Sinterleme ise parçanın büyük oranda gevşek yapısını katı parça haline gelmesi için yeterli sıcaklık ve basınç altında kaldığı bir ısıl işlem aşamasıdır [32].

Bir çalışmada, Al7075/Grafit kompozitinin aşınma ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Matris malzemesi olarak alüminyum Al7075 kullanılmış ve takviye materyali olarak 20 µm ile 26 µm arasında değişen boyutlarda grafit parçacıkları kullanılmıştır. Takviye materyalleri içerik ağırlık oranları % olarak 5, 10, 15 ve 20 olarak seçilmiştir. Şekil değiştirme dayanımının artan grafit ile azaldığı ve bu etkinin ağırlıkça %5'lik ilavede daha az olduğu saptanmıştır. Grafit içeriği arttıkça aşınma oranında azalma gözlemlenmiştir, fakat grafitte uygulanan yük arttıkça aşınma oranı artmıştır bunun nedeni grafitin matris malzemesinde kayma mesafesinin artmasından kaynaklanmıştır. Al7075/Grafit kompozitlerin aşınma oranı artan kayma hızı ile azalır ve kayma mesafesi arttıkça artar [33].

## BÖLÜM 4

### DENEYSEL BÖLÜM

#### 4.1. MALZEMELERİN ÜRETİMİ

Hidrotermal karbonların üretimi için; 1.50 gr selüloz (Sigma-Aldrich) 15 ml saf suda karıştırılmış ve Teflon içerisine konulmuştur. Bu Teflon kap ise paslanmaz çelikten üretilmiş otoklavın içerisine alınmış ağzı sıkıca kapatılmıştır. Otoklav ise 225 °C sıcaklığa getirilmiş fırında 40 saat süreyle bekletilmiştir. Bu süre sonunda soğuyan otoklavın kapağı açılmış ve katı karbon malzeme bir filtre kağıdından süzülmüştür. Elde edilen bu kömürümsü katı yaklaşık 300 ml saf su ile yıkanmıştır ve 105 °C'de 2 saat boyunca kurumaya bırakılmıştır. Karbon malzemelerin üretiminde kullanılan Teflon ve otoklav Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışmalarda kullanılan Teflon içlikli otoklav.

Al7075-HTC kompozitlerini üretmek için farklı miktarlarda HTC (ağırlıkça % 0.25, 0.50 ve 1.00) ve Al 7075 tozları üç eksenli bir Turbula mikserinde 2 saat karıştırılmıştır. Al 7075 tozlarının saflığı (>% 99.5) ve gözenek boyutu (mesh boyutu <325) sahiptir ve Nanografi'den (Türkiye) satın alınmıştır. Al7075'in temel bileşimi çizelge 7.1'de görülmektedir. Turbula mikserden alınan HTC-Al7075 karışımları argon atmosferinde, 40 MPa yük altında, 550°C sıcaklıkta ve 1 saat boyunca sıcak pres makinesinde preslenmiş ve sinterlenmiştir. Kullanılan kalıp ise 15 mm yükseliğe ve çapa sahip silindirik bir grafit kalıptır. Kompozit malzemelerin üretildiği sıcak pres cihazı Şekil 4.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sıcak pres makinesi.

Tüm numuneler sıra ile 240, 400, 600, 800, 1200, 2500 zıpara kağıtları kullanılarak ile zımparalanmış ve 1 um'lik bir elmas süspansiyon ile parlatılmıştır. Mikroyapı analizinden önce, tüm örnekler Keller reaktifi ile dağlanmışır.

Çizelge 4.1. Al7075'in kimyasal kompozisyonu.

Kompozisyon	Zn	Mg	Cu	Cr	Fe	Si	Al
Ağırlık(%)	5.6	2.3	1.7	0.22	0.21	0.07	Denge

## 4.2. KARAKTERİZASYONU

Numunelerin mikroyapı görüntüleri, aşınmış yüzeylerin mikro yapıları ve korozyon sonrası mikroyapı görüntüleri, enerji dağıtıcı spektrum (EDS) (Bruker X Flash 6/10) ile donatılmış bir Zeiss Ultra Plus Taramalı Elektron Mikroskobu ile incelenmiştir. Numunelerin XRD desenleri, Rigaku Ultima IV Difraktometre, Cu K $\alpha$  radyasyonu ( $\lambda = 1.5406 \text{ \AA}$ ) ile analiz edilmiştir. Yoğunluk ölçümü, Radwag analitik terazisi (0.1 mg doğruluk) kullanılarak Archimedes yöntemine göre yapılmıştır. Basma testi, Zwick Roell 600kN Test Cihazı ile 0.01mm/dak sıkıştırma oranında her numune için üç kez uygulanmıştır. Vickers sertlik testi, QNESS Q10A + makinesi tarafından 1kg yük altında 10 saniyelik bekleme süresi boyunca her numune için beş kez uygulanmıştır. Aşınma testleri, AISI 52100 çelik bilya kullanılarak 250 m aşınma mesafesi, 100mm/s aşınma hızı ve 5 mm aşınma uzunluğu için 5, 10 ve 20 N yükler altında UTS Tribometre ile yapılmıştır. Aşınma oranı, Archard'ın katsayı formülü (Denklem 7.1) ile hesaplanmıştır.

$$\text{Aşınma Oranı} = W_v/l \quad (7.1)$$

Burada  $W_v$  aşınmış yüzeyin hacim ve  $l$  ise aşınma mesafesidir. Aşınmış hacim, ISO 4287-1997 standardı 27'ye göre Mitutoyo SJ-410 cihazı ile hesaplandı [34]. Numunelerin aşınmış yüzeyleri, Nikon MA200 Optik Mikroskobu ile incelendi. Korozyon testi, üç elektrotla donatılmış bir Parstat 400 Potentiostat ile ağırlıkça %3.5 NaCl (Merck) çözeltisinde 1m V/s tarama hızında uygulandı. Bir grafit elektrot, bir Ag/AgCl (3.5 mol KCl içinde) referans elektrot ve çalışma elektrotu olarak hazırlanmış numunelerin korozyon oranlarının hesaplanması için ASTM G102 89 kullanılmıştır (Denklem 7.2).

$$\text{Korozyon Oranı} = K \times i_{corr} \times EW/\text{Yoğunluk} \quad (7.2)$$

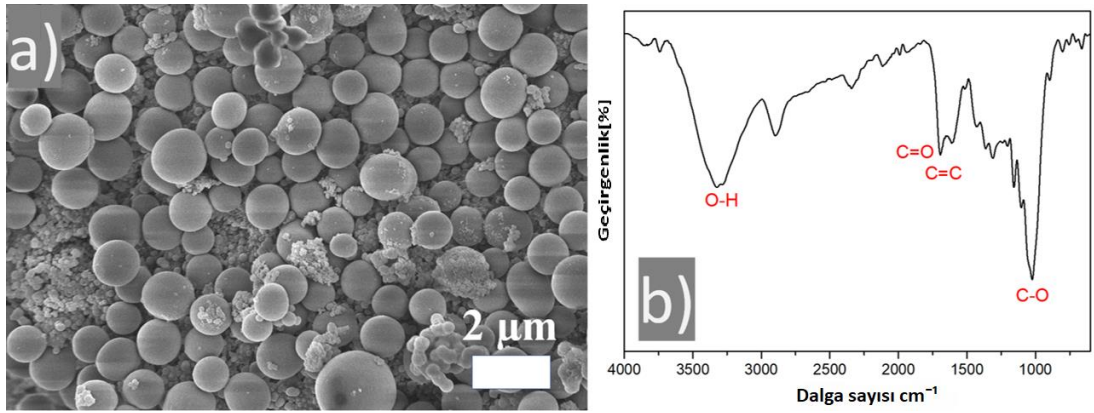
burada K bir metrik dönüştürme faktörüdür,  $3.27 \times 10^{-3}$  (mm gr) / ( $\mu\text{A cm yıl}$ ),  $I_{\text{corr}}$  korozyon akımı yoğunluğu, EW eşdeğer ağırlıktır (8.994 g) ve Yoğunluk = 2.81 g /  $\text{cm}^3$ 'tür.

## BÖLÜM 5

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

#### 5.1 HİDROTERMAL KARBONLARIN KARAKTERİZASYONU

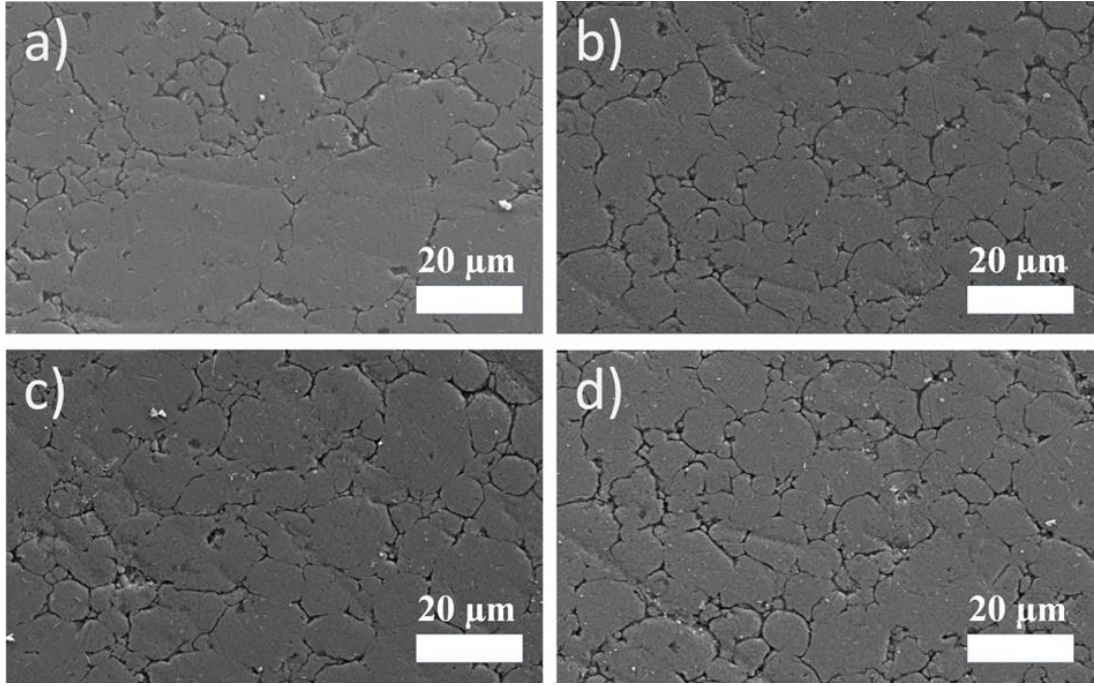
HTC'lerin'nin SEM görüntüleri ve FTIR spektrumları Şekil 5.1'de gösterilmektedir. HTC'in morfolojisi  $1.86 \pm 1.12 \mu\text{m}$  yarıçaplarındaki kürelerden oluşmaktadır. FTIR spektrumlarına bakıldığında ise HTC'lere ait spesifik pikler olan yaklaşık 1700 ve 1610  $\text{cm}^{-1}$  dalga sayısında görülen C=O ve C=C piklerinin olduğu görülmektedir. Hem SEM görüntüleri, hem de FTIR pikleri daha önce yapılan çalışmalardaki sonuçlar ile benzerdir [28].



Şekil 5.1. a) SEM görüntüleri ve b) Selülozdan üretilen HTC'lerin FTIR spektrumları.

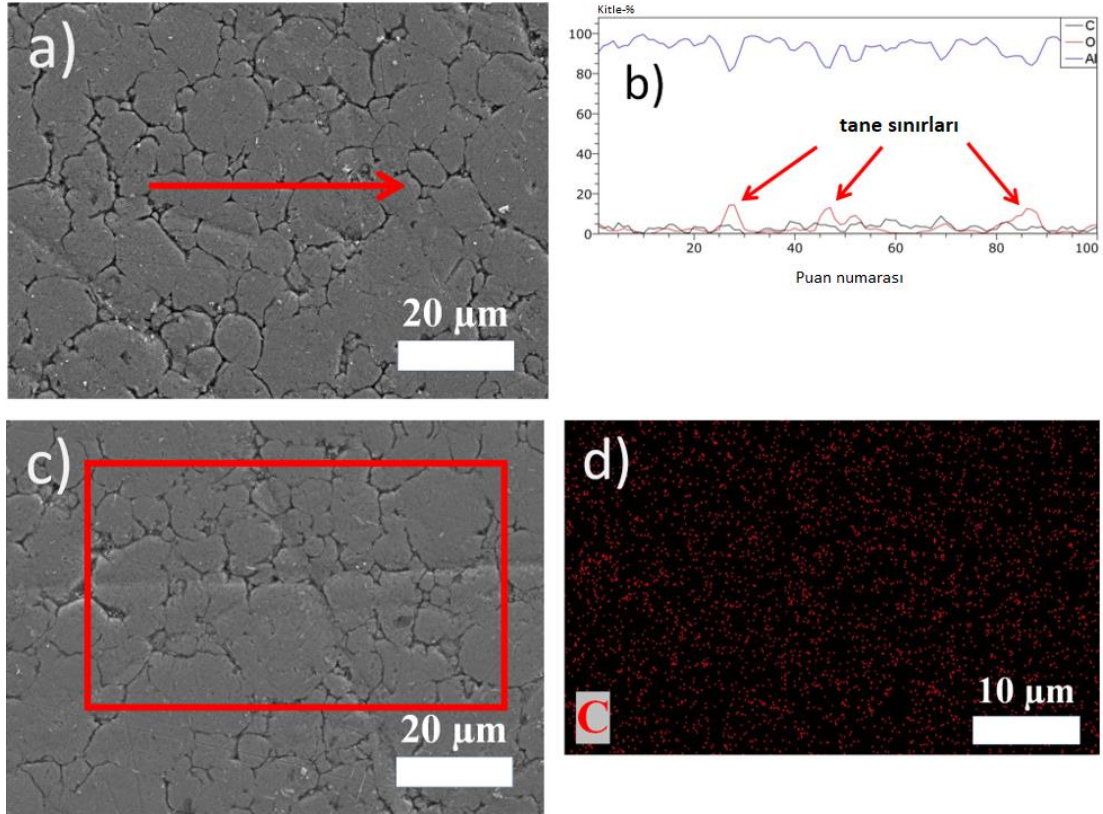
## 5.2. MİKROYAPININ KARAKTERİZASYONU

Şekil 5.2’de saf Al7075 alaşımının ve Al7075–HTC kompozitlerinin mikro yapıları gösterilmiştir. HTC'nin eklenmesiyle nispeten daha küçük tane boyutlarının gözlemlendiği söylenebilir. Dong vd. yapmış oldukları çalışmada da Al7075/GNP kompoziti için benzer bir gözlem bilmişlerdir. Grafenin, yeterli çekirdeklenme alanları sağlaması nedeniyle çekirdeklenme işleminde yüzey enerjisini düşürdüğü ve böylece grafenin matris içerisine girmesiyle daha küçük tane boyutlarının oluştuğu bildirmiştir [35]. HTC'nin de Al7075'in mikro yapısında, grafen ile benzer bir etkiye sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 5.2. Örneklerin SEM görüntüleri a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0,25 HTC c) 7075 A -% 0,50 HTC ve d) 7075 A -% 1,00 HTC.

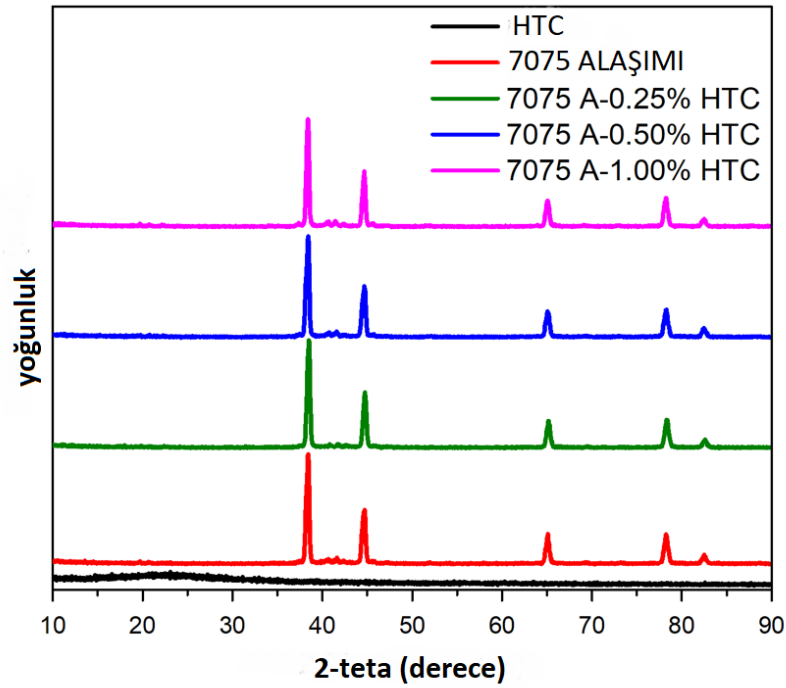
7075 A -% 1.00 HTC'nin yapısı SEM-EDX çizgi ve SEM-EDX haritalama analizleri Şekil 5.3.'de gösterilmiştir. SEM haritalama analizine göre, HTC'ler genel olarak matriste homojen olarak dağılmıştır (Şekil 5.3c-d). SEM-EDX çizgi analizi ile tane sınırlarında daha yüksek karbon miktarı tespit edilmiştir (şekil 5.3a-b). Çizgi analizine göre tane sınırları üzerinde kısmen aglomerasyonların olduğu söylenebilir.



Şekil 5.3. a-b) SEM hattı EDX, c-d) 7075 A -% 1.00 HTC'nin SEM Eşlemesi.



Şekil 5.4.'de HTC, Al7075 ve Al7075–HTC kompozitlerinin XRD modellerini gösterilmiştir. Amorf karbon yapıları HTC fazının 23°de geniş bir pike sahiptir [36]. Fakat bu pik diğer kompozit numunelerde tespit edilmemiştir. Bunun sebebi düşük miktarlarda eklenen HTC'den kaynaklanmaktadır. Farklı karbon malzemelerin metal matrisli malzemelere takviyesi ile elde edilen kompozitler için de benzer sonuçları yayınlanmıştır [37,38,39]. Al7075 ve kompozitleride,  $\alpha$ -Al'a ait spesifik pikler  $2\theta = 38.33^\circ, 44.58^\circ$  ve  $64.91^\circ$ lerinde belirgin bir şekilde görülmektedir [40]. Diğer yandan kompozitlerin mukavemetinin azalmasına neden olabilecek  $Al_4C_3$  veya diğer metalik karbürlerin karakteristik pikleri tespit edilmemiştir [41,42].



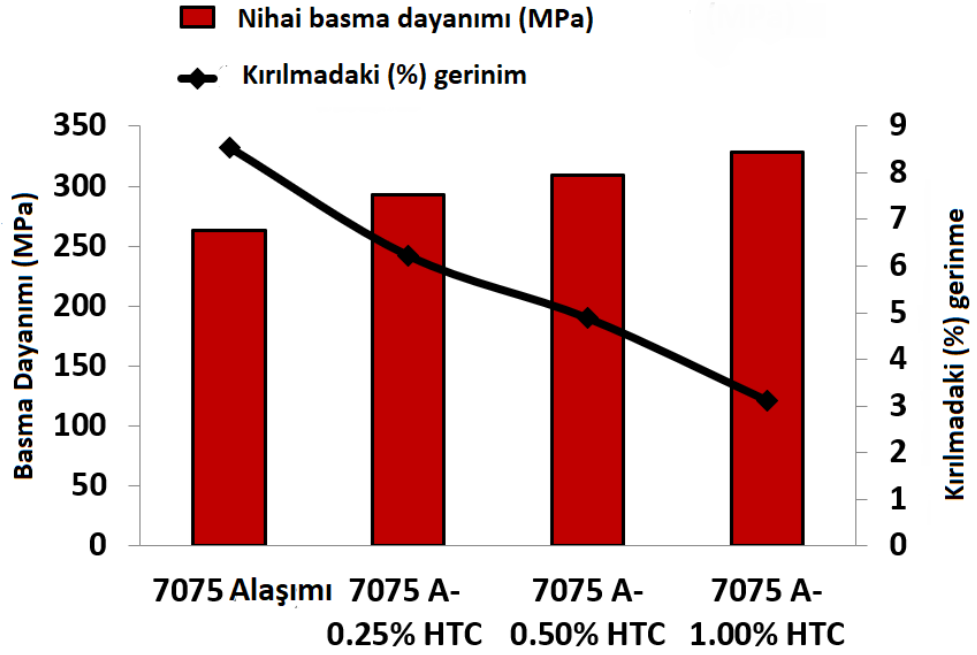
Şekil 5.4. HTC, Al7075 ve Al7075-HTC kompozitlerinin XRD desenleri

Üretilen kompozitlerin yoğunlukları ve porozite miktarları Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir. Toz metalurjisi ile kompozit üretiminde presleme ve sinterleme işlemi sırasında yapıda gözeneklerin oluştuğu bilinmektedir [43]. Bu nedenle tüm numuneler teorik yoğunluklarından biraz daha düşük yoğunluklara sahiptir. Bununla birlikte, gözeneklilik yüzdesi HTC miktarı ile orantılı olarak artmıştır. Bunun sebebinin, HTC'nin tane oluşumunu sınırlandırması ve böylece yapısal kusurların oluşması olduğu düşünülmektedir [44].

### 5.3. MEKANİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU

Örneklere ait nihai basma dayanımı ve numunenin dağılmaya başladığı andaki % gerinim değerleri Şekil 5.5'te gösterilmiştir. HTC ilavesi ile oluşan kompozitlerin daha gevrek davranış göstermeleri nedeniyle daha düşük gerinim (%) değerlerine sahip oldukları görülmektedir. Ayrıca, kompozit içerisindeki HTC miktarındaki artış ile Al7075'in nihai basma dayanımının da arttığı belirlenmiştir. Numunelerin sertlik değerleri incelendiğinde ise nihai basma dayanımı ile benzer bir eğilimin olduğu görülmektedir (Çizelge 5.1). Hem basma hem de sertlik değerlerindeki artışı sağlayan etkenleri şu şekilde açıklayabilmek mümkündür.

HTC takviyesi ile tane boyutları küçülmüştür. Hall-Petch mekanizmasına göre, daha küçük tane boyutları dislokasyon hareketine daha fazla engel oluşturur. Bu nedenle numunelerin mekanik dayanımları artar [45]. İkinci olarak, HTC dislokasyon hareketini engelleyebilir. Böylece, Orowan güçlendirme mekanizması olarak bilenen; takviye ile matris arasında Orowan döngülerinin oluşumu artar [46]. Al7075-HTC kompozitlerdeki yumuşak faz olan çoğunlukla alüminyum içeren matris ve sert faz olan HTC'nin elastik modülleri arasında bir fark vardır. Bu farktan dolayı, matris ve takviye arasındaki modül uyumsuzluğu Taylor güçlendirmesi olarak bilinmektedir. Bu da kompozitlerin mekanik özelliklerinin artmasında başka bir faktördür [47].



Şekil 5.5. Örneklere ait nihai basma dayanımı ve gerinim değerleri a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0.25 HTC, c) 7075 A -% 0.50 HTC ve, d) 7075 A -% 1.00 HTC.

HTC'nin eklenmesiyle, Al7075 alaşımının sertliği ve nihai basma dayanımları sırasıyla  $62.7 \pm 1.3$  Hv'den  $75.3 \pm 2.1$  Hv'e ve  $263.40 \pm 28.1$  MPa'dan  $328.23 \pm 30.6$  MPa'a yükselmiştir. Toz metalurjisi ile üretilen karbon takviyeli alüminyum matris kompozitler ile ilgili daha önceki çalışmalarda, saf alüminyumun sertlik ve basma dayanımının ağırlıkça %1 grafen nanopartikül ilavesi ile yaklaşık %13 ve %9 arttığı yayınlanmıştır [48]. Başka bir çalışmada ise, ağırlıkça %0.15 grafen nanopartikül ve ağırlıkça %1 karbon nanotüpün alüminyum matris kompozitlerin sertliğinde sırasıyla yaklaşık %43 ve %33 iyileşmeye neden olduğu görülmüştür [49,50]. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, HTC'lerin alüminyum matris kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde grafen nanopartikül ve karbon nanotübe kıyasla daha iyi etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Çizelge 5.1. Numunelerin fiziksel, mekanik ve tribolojik özellikleri.

Örnek	Teorik Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Yoğunluk (gr/cm <sup>3</sup> )	Porozite (%)	Sertlik (Hv)	UCS <sup>a</sup> (MPa)	WR <sup>b</sup> (mm <sup>3</sup> /m)
<b>7075 Alaşımı</b>	2.800	2.723	2.75	62.7 ±1.3	263.40±28.1	7.64
<b>7075 A-0.25% HTC</b>	2.798	2.698	3.54	71.2 ±1.8	292.69±27.9	5.91
<b>7075 A-0.50% HTC</b>	2.797	2.680	4.17	73.8 ±1.4	309.01±32.5	5.53
<b>7075 A-1.00% HTC</b>	2.795	2.685	3.92	75.3 ±2.1	328.23±30.6	5.24

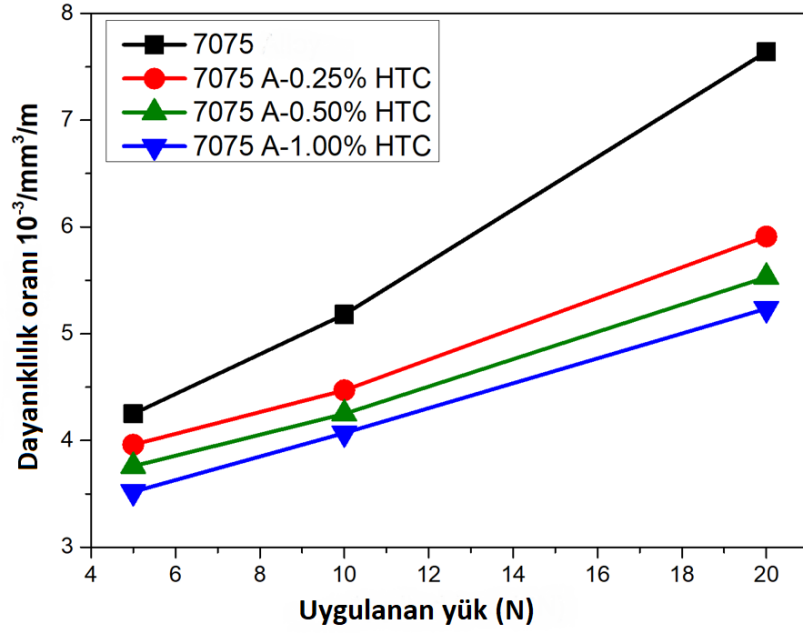
<sup>a</sup> Nihai Basma Dayanımı

<sup>b</sup> 20N yük altındaki Aşınma Hızı

#### 5.4. TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİN KARAKTERİZASYONU

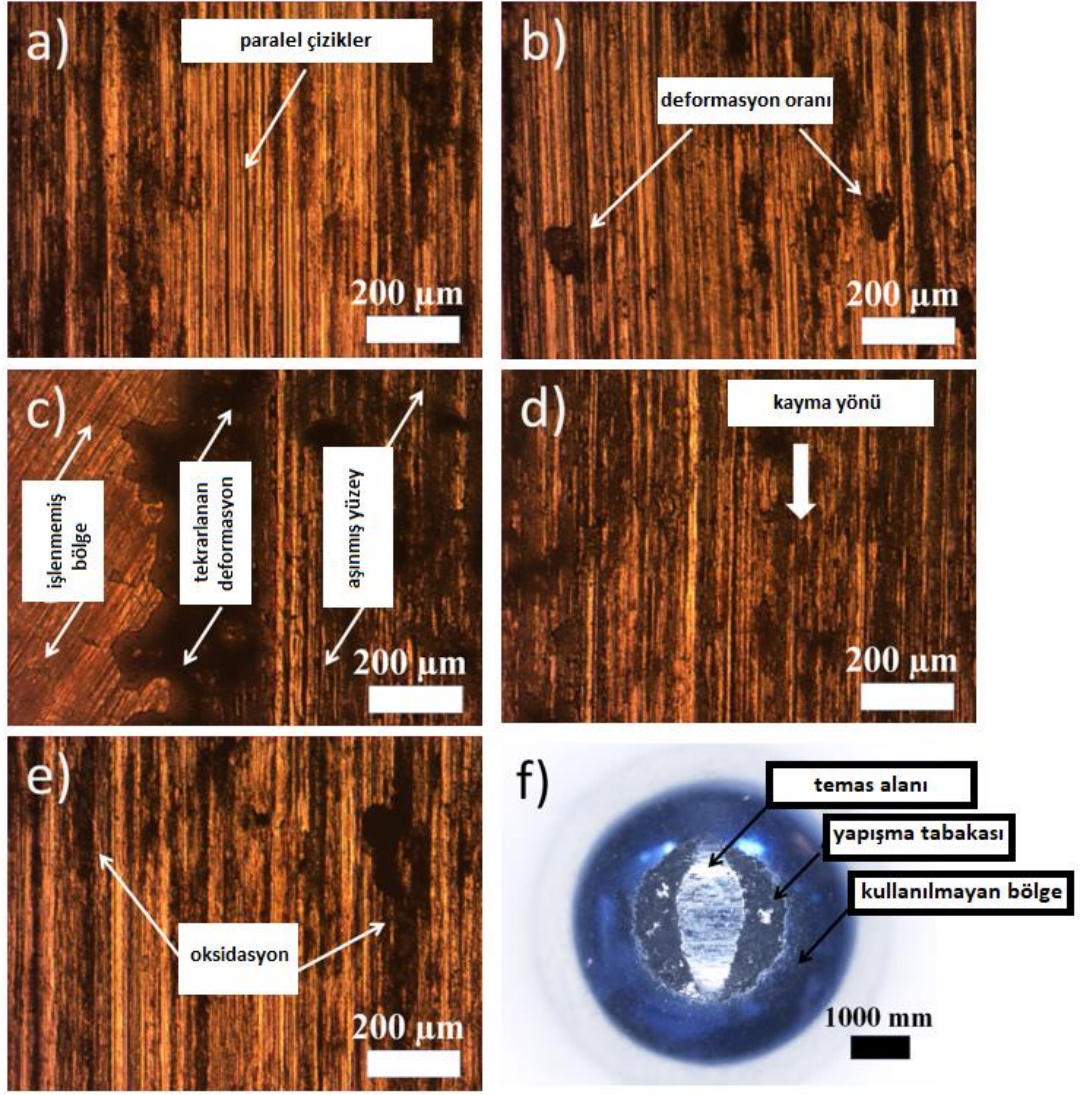
Şekil 5.6.'da uygulanan yüklere karşılık gelen numunelerin aşınma hızları göstermektedir. Tüm Al7075-HTC kompozitleri, saf Al 7075'ten daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Aşınma direncindeki artışın nedenleri aşağıdaki nedenlere bağlanabilir; İlk olarak, yapılan çalışmalarda karbon malzeme takviyelerin (grafen [51], karbon nanotüp [52], fuleren [53] ve grafit [33]) yağlayıcı etkisi nedeniyle metal matrisli kompozitlerin aşınma direncinde artışa yol açtığı bilinmektedir. HTC'nin de benzer etkiye sahip olduğu düşünülmektedir. Diğer bir neden ise, kompozitlerin sertliğinin HTC takviyesi ile artmasıdır. Archard kanuna göre, aşınma hızı numunelerin sertliğiyle ters orantılıdır [53].

H. Xia vd. [54] yaptıkları çalışmada, ağırlıkça %0.3 grafen nanotabakaları (GNP) ile güçlendirilmiş 7075 alüminyum alaşımının saf Al7075'ten yaklaşık %25 daha düşük aşınma hızı gösterdiğini yayınlamışlardır. Bu çalışmada ise, 7075 A-%1.00 HTC, 7075 alaşımına kıyasla yaklaşık %31 daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Ayrıca, uygulanan yükün artmasıyla numunelerin aşınma hızının da arttığını belirtmekte fayda vardır ki, bu bulgu önceki çalışmalarla da uyumludur [55,56].



Şekil 5.6. Örnekler için uygulanan yük eğrilerine karşı aşınma hızı değerleri.

Örneklerin aşınmış yüzeylerinin ve bilya yüzeyinin optik görüntüleri Şekil 5.7.'de gösterilmiştir. Aşınma yönüne paralel olarak oluşan bu izler abrasif aşınma mekanizmasının meydana geldiğinin önemli işaretlerinden biridir [57]. Ayrıca, aşınan yüzeylerde aşınma kalıntılarının (debriz) da bulunduğu görülmektedir. Numuneden kopan bu kalıntıların yüzeyde görülmesi de abresif aşınma mekanizmasının baskın olduğunu doğrulamıştır [57]. Adezif aşınma mekanizmasının ise, HTC'lerin yağlayıcı etkisinden dolayı oldukça düşük oranda olduğu belirlenmiştir [58]. Şekil 5.7.f'de aşınma testinde kullanılan bilyede aşınma kalıntıları görülmüştür ve bunlar bilyanın yüzeyine yapışmıştır. Aşınma deneyi sonrası numunelere ait görüntüler Şekil 5.8.'de gösterilmiştir.

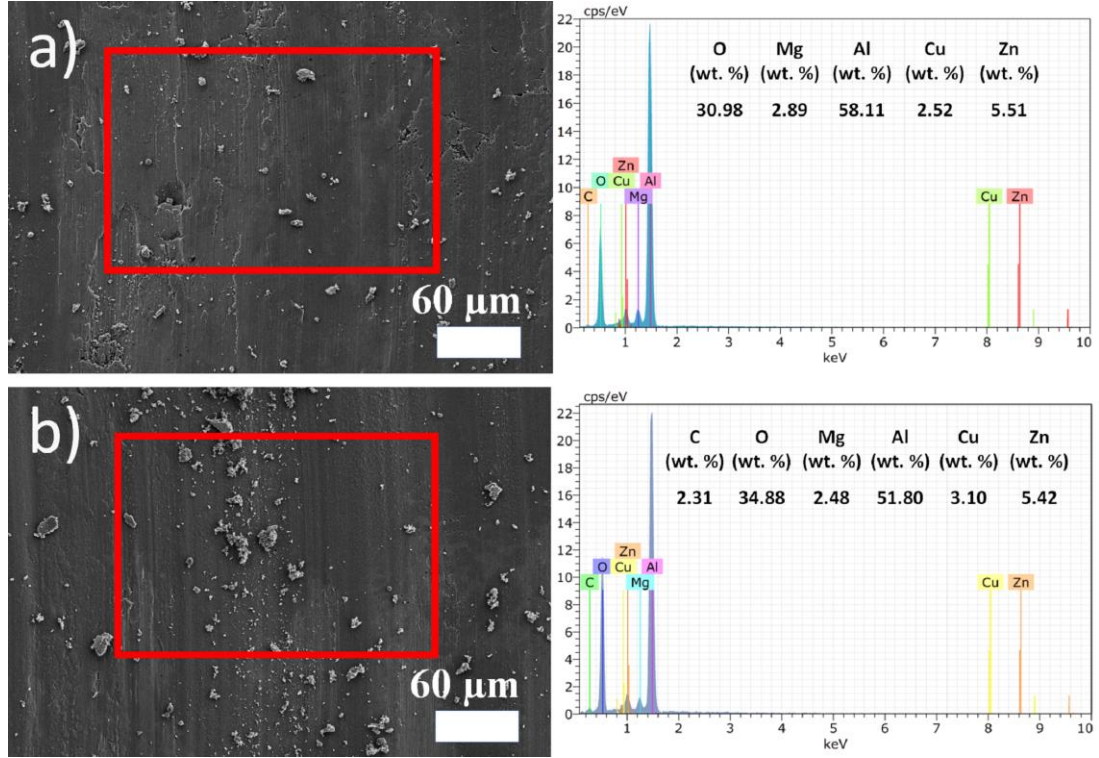


Şekil 5.7. a) 7075 Alaşım, b) 7075 A-% 0.25 HTC, c-d) 7075 A-% 0.50 HTC, e) 7075 A-% 1.00 HTC ve f) Bilyenin aşınmış yüzeylerinin optik ve stereo mikroskop görüntüleri.



Şekil 5.8. Aşınma deneyi sonrası numunelerin görüntüleri.

Öte yandan, bazı oksitlenmiş parçacıklar ve çizgiler gözlemlendi, bu da oksidatif aşınma mekanizmasının da meydana geldiğini gösterebilir [52]. Oksitlenmiş partiküllerin ve aşınma artıklarının SEM görüntüleri ve SEM-EDX sonuçları destekleyici bilgiler vermiştir (Şekil 5.9).



Şekil 5.9. a) 7075 Alaşımı ve b) 7075 A-0.50% HTC'nin SEM görüntüleri ve SEM-EDX sonuçları.

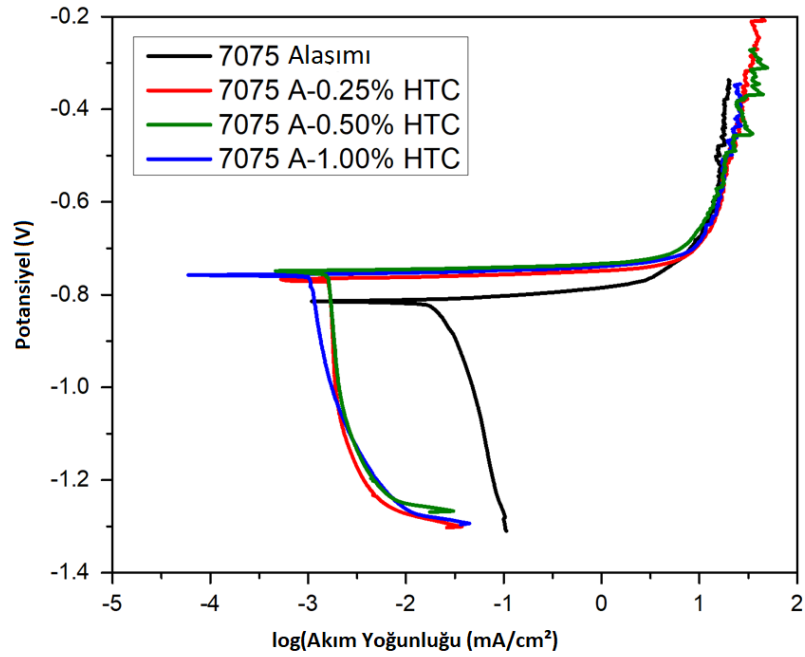
## 5.5. KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN KARAKTERİZASYONU

Al7075 ve Al7075-HTC kompozitlerinin tafel eğimlerinin ekstrapolasyonu ile hesaplanan potansiyodinamik polarizasyon eğrileri Şekil 5.10'da verilmiştir. Numunelerin korozyon potansiyeli ( $E_{corr}$ ), akım yoğunluğu ( $I_{corr}$ ) ve korozyon hızı ( $Cr$ ) Çizelge 5.2.'de verilmiştir. Bu sonuçlar incelendiğinde,  $I_{corr}$ ,  $E_{corr}$  ve  $Cr$  değerlerinin, Al7075 alaşımındaki HTC miktarındaki artış ile giderek azaldığı görülmektedir. Önceki çalışmalardan bilindiği üzere, daha büyük  $I_{corr}$  ve daha düşük  $E_{corr}$  değerleri, daha yüksek korozyon direnci eğilimi anlamına gelir [58]. Sonuçlara göre HTC, Al7075'in korozyon davranışını olumlu yönde katkı sağlamıştır. Benzer çalışmalar incelendiğinde, karbon esaslı malzemelerin korozyon davranışı üzerinde bazen olumlu, bazen de olumsuz etkileri olduğunu belirten iki farklı görüşte çalışmalar yayınlanmıştır.

Thirumaran vd. Al 7075 alaşımına farklı oranlarda (ağırlıkça% 0,50, 1,00, 1,50 ve %2,00) çok duvarlı karbon nanotüp ilave etmişlerdir. Artan karbon nanotüp miktarının



galvanik etkiye sebep olduğu, bundan dolayı da korozyon hızının kademeli olarak arttığını bildirmiştir [59] Ujah vd. ise alüminyuma çok duvarlı karbon nanotüp (ağırlıkça% 1.00, 4.00 ve %8.00) ilave etmişlerdir. Korozyon direnci en yüksek olan kompozitin ağırlıkça %4.00 karbon nanotüp içeren kompozitin olduğu belirlenmiştir. Bunun sebebinin ise partikül takviyesinin tane sınırlarında birikmesi ile matriks ve takviye malzeme arasında kuvvetli bir bağın meydana geldiğini, bunun da yüksek korozyon direncine sahip bir tabaka oluşturduğunu öne sürmüşlerdir. Bu nedenle de, takviye partiküllerin matriks içerisinde homojen dağılımın çok önemli olduğuna vurgu yapılmıştır [60]. Bu çalışmada elde edilen malzemelerin yukarıdaki bölümde açıklanan SEM görüntülerinde ve SEM haritalama sonuçlarında HTC'nin homojen dağılımı belirlenmiştir. Bunun da kompozitlerin korozyon direncine olumlu yönde etki ettiği düşünülmektedir.



Şekil 5.10. Al 7075 ve Al 7075-HTC kompozitlerinin potansiyodinamik polarizasyon grafikleri.

Çizelge 5.2. Hazırlanan numunelerin korozyon sonuçları.

Örnek	$E_{corr}$ (V)	$I_{corr}$ ( $\mu A/cm^2$ )	Korozyon Hızı (mm/yıl)
7075 Alaşımı	-0.815	56.658	0.589
7075 A-0.25% HTC	-0.767	3.801	0.039
7075 A-0.50% HTC	-0.764	3.214	0.033
7075 A-1.00% HTC	-0.762	2.142	0.022

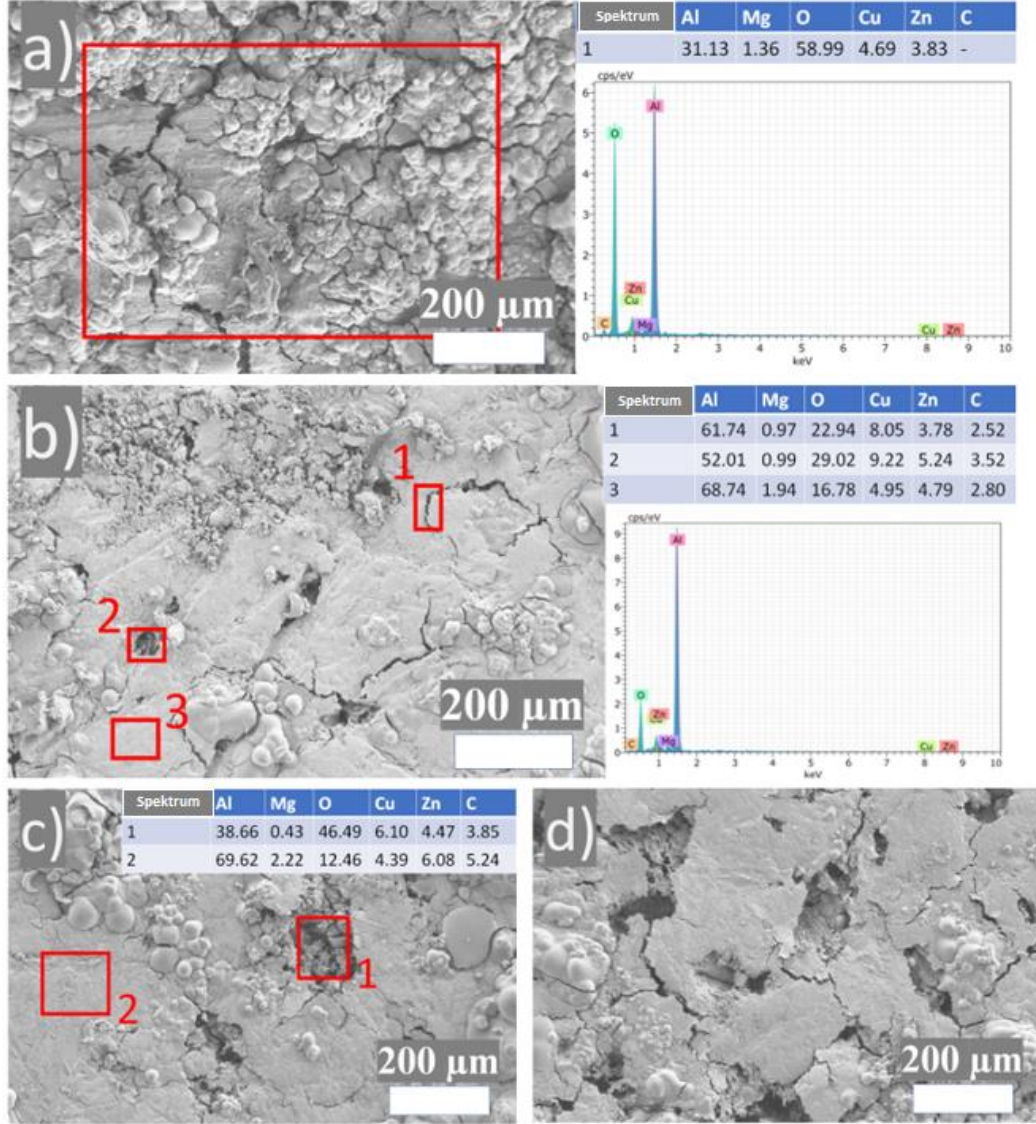
Korozyon testinden sonra numunelerin yüzeyleri Şekil 5.11.'de gösterilmiştir. Korozyon testi sırasında tüm numunelerde oksidasyon meydana gelmiştir.



Şekil 5.11. Korozyon sonrası numune görüntüleri.

Al7075'in yüzeyi incelendiğinde, çatlakların olarak tane sınırlarından kompozitin içine doğru ilerlediği şekil 8.12.'de görülmektedir. HTC ilavesi ile tane sınırlarında oluşan bu çatlaklara ek olarak takviye malzemelerinin galvanik etkisinin beklenen sonucu olarak bazı çukurlar oluşmuştur [61,59]. HTC'ler Al7075'e homojen olarak dağıldığından, çukurlar örneklerin farklı bölgelerinde oluşmuş ve tane sınırı çatlaklarından daha küçüktür. Ayrıca tane sınırlarındaki çatlaklar daha kısadır (Şekil 5.12.b – 5.12.d). Oluşan bu küçük çukurlar sayesinde korozyonun yüzeye yayıldığı ve

tane sınırlarındaki çatlakların kompozitin içerisine doğru ilerlemesini engellediği düşünülmektedir. Çatlaklardan korozyonun bu şekilde ilerlemesi, korozyonun hızlı gerçekleşmesinin nedenlerinden biridir [43]. Artan HTC miktarının bu ilerlemeyi yavaşlattığı ve böylece de korozyon direncinin arttığı belirlenmiştir.



Şekil 5.12. Korozyon testinden sonra numunelerin SEM görüntüleri ve EDX sonuçları: a) 7075 Alaşım, b) 7075 A -% 0.25 HTC, c) 7075 A -% 0.50 HTC ve d) 7075 A -% 1.00 HTC.

## 5.6. SONUÇLAR

Bu çalışma ile, farklı miktarlarda HTC (ağırlıkça % 0.25, 0.50 ve % 1.00) takviyeli Al7075 matris kompozitlerin toz metalurjisi yöntemi ile üretilmiştir. Literatürde farklı karbon malzemelerin kullanıldığı çalışmalar olsa da HTC'nin kullanıldığı ilk çalışmadır. Üretilen kompozitlerin mikroyapı, mekanik, tribolojik ve korozyon özelliklerinin analizleri yapılmıştır. Mikroyapı analizine göre, HTC'lerle güçlendirilmiş kompozitlerde daha küçük tane boyutları gözlenmiş ve HTC'ler matris içinde homojen olarak dağılmıştır. HTC'nin eklenmesiyle saf Al7075'in nihai basma dayanımı ve sertliği sırasıyla yaklaşık %25 ve %20 oranında artmıştır. Ayrıca, tüm kompozitler, HTC'lerin yağlayıcı etkisinden dolayı daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Mekanik ve tribolojik özelliklere ek olarak, HTC'lerin homojen dağılımı sayesinde korozyon davranışlarında iyileşme gözlemlenmiştir. Bunun çalışmanın sonuçlarını özetlemek gerekirse, HTC'nin diğer karbon bazlı takviyelere bir alternatif olabileceği sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. Yakut, H., “AL-7075 alüminyumun matkaplarla delinmesinde kesme parametreleri ile sıcaklık arasındaki ilişkinin deneysel incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
2. Karakoç, H., “Toz Metal Al7075/B4C/ Si3N4 Kompozit Malzemelerin Üretimi ve Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi“, *Politeknik Dergisi*, 23(4): 1141-1151, (2020).
3. Demirel, M. Y., “Alüminyum saç malzemelerde sıcaklığın geri esnemeye etkisinin deneysel araştırılması“, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2018).
4. Seymen, Y., “Alüminyum(Al-7075) elmas benzeri karbon(DLC) kaplanmış parmak freze ile işlenmesinin deneysel incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2009).
5. Sert, A., “Sürtünme karıştırma prosesi ile yüzeyine Sic partikül takviye edilmiş Al 7075-T651 alüminyum alaşımının mikro yapı ve aşınma özelliklerinin incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, (2010).
6. Özcan, M. E., “Mikro ark oksidasyon yöntemi ile kaplanmış alüminyum alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2014).
7. Kadayıfçı, Z. A., “ Benzer ve farklı türden alüminyum alaşımlarının sürtünme karıştırma kaynağının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, (2013).
8. Akbaş, K., “Havacılık sanayinde kullanılan ekstrüzyon ürünlerinin kademelendirme yöntemiyle şekillendirilmesi(Joggle Forming) işleminin deneysel ve sayısal olarak incelenmesi“, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2017)
9. İnternet: <https://www.seykoc.com.tr/icerik/7075?dil=tr> (Seykoç Alüminyum)
10. Torun, O., Çelikyürek, İ. ve Baksan, B., “17-4 PH Paslanmaz Çelik ve Al 7075 Alaşımının Sürtünme Kaynağı“, *El-Cezerî Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4 (2): 201-208 (2017).
11. Onurlubaşgil, T. Y., Şimşir, M., Arslan, Z., Karaca, B. ve Aydın, M., “Vortex Döküm Yöntemi İle Sic Takviyeli Al-7075 Alaşım Matrisli Kompozit Kam Üretimi“, *Uluslararası Katılımlı III. Ege Kompozit Malzemeler Sempozyumu*, Kuşadası, (2015).

12. İnternet:<https://malzemebilimi.net/otomobil-sasilerinin-tarihsel-gelisimi.html>
13. Vıswakarm, P., Sonı, S. And Mıshraan, P. M., “Effect Of Reinforcement And Heat Treatment On AA7075 Metal Matrix Composite – A Review”, *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 8 (6): 275-288 (2018).
14. Demirel, M. Y., “Alüminyum saç malzemelerde sıcaklığın geri esnemeye etkisinin deneysel araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2018).
15. Yıldırım, M., & Özyürek, D., “An Investigation of Wear Behaviors of AA7075 Al Hybrid Composites“, *High Temperature Materials and Processes*, 37(7): 619-624,(2018).
16. Hasırcı, H., & Gül, F., “ B4C/Al kompozitlerin takviye hacim oranına bağlı olarak abrasif aşınma davranışlarının incelenmesi“, *SDU International Technologic Science*, 2(1): 15-21, (2010).
17. Pul, M., “Alüminyum 7075 Matrisli Kompozitlerde SiC, B4C Ve TiB2 Takviye Elemanlarının Mekanik Özelliklere Etkilerinin Karşılaştırılması”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 7 (2019): 180-193, (2018).
18. Öztürk, E., “Mg/Al bimetale kompozitlerin döküm ve ekstrüzyon yöntemleriyle üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, (2020).
19. Aydın, E. ve Nalbant, M., “CFRP/Al-7075 İstifli Delmede Matkap Uç Açılarının Delinebilirlik Üzerine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35:2 (2020) 917-931, (2019).
20. Özçatalbaş, Y. and Kıymaz, T., “The Effect of B4C Reinforcement Ratio and Secondary Sintering Processes on Properties of Al6061 Matrix MMCP Materials”, *Gazi University Journal of Science*, 8 (3): 601-615, (2020).
21. Değirmenci, Ü., “Karbon tabanlı yeni hibrit nano-yapıların modellenmesi ve analizi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2019).
22. Şenel, M. C., Gürbüz M. ve Koç E., “*Grafen takviyeli alüminyum matrisli yeni nesil kompozitler*”, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, 56 (669): 36-47 (2015).
23. Öztop B. ve Gürbüz M., “Atık alüminyumdan elde edilen matrisle grafen takviyesiyle üretilen kompozitlerin özelliklerinin incelenmesi”, *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 1 (1): 4-8, (2017).

24. Kumar SN, Keshavamurthy R, Haseebuddin MR, et al. Mechanical properties of aluminium-graphene composite synthesized by powder metallurgy and hot extrusion. *Transactions of the Indian Institute of Metals* 2017; 70: 605–613.
25. Turan ME. Investigation of mechanical properties of carbonaceous (MWCNT, GNPs and C60) reinforced hot-extruded aluminum matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds* 2019; 788: 352–360.
26. Ujah CO, Popoola API, Popoola OM, et al. Influence of CNTs addition on the mechanical, microstructural, and corrosion properties of Al alloy using spark plasma sintering technique. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2020; 106: 2961–2969.
27. Şimşir, H., “Sürdürülebilir karbon malzemelerin hidrotermal sentezi, karakterizasyonu ve uygulaması”, Doktora Tezi, **Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Karabük, (2018).
28. Simsir, H., Eltugral, N., and Karagoz, S., "Hydrothermal carbonization for the preparation of hydrochars from glucose, cellulose, chitin, chitosan and wood chips via low-temperature and their characterization", *Bioresource Technology*, 246 (Supplement C): 82–87 (2017)
29. Aydınçak K., “Hidrotermal karbonizasyon yöntemiyle gerçek ve model biyokütlelerden karbon nanoküre sentezi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2012).
30. Korucu S. ve Soy G., “Alüminyum Matrisli Kompozitlerde Tungsten Karbür ve Grafen Takviyelerinin Mekanik Özelliklere Etkileri Üzerine Bir Araştırma” **Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi**, 7 (2019) 1466-1487, (2019).
31. Bilgili, E. Z., Salamcı, E., Asan, A., Ünal, R. ve Valov R., “Elmas Nano Parçaçık Takviyeli Krom Kaplanmış Gözenekli Toz Metal Parçaların Korozyon Davranışlarının Araştırılması” **Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi**, 31:3 (2016) 579-587, (2016).
32. Eısay, A. M. S., “Alüminyum/biyokütle kaynaklı aktif karbon kompozitlerinin üretimi ve karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, **Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, KASTAMONU, (2019).
33. Baradeswaran A., Perumal E. A., “Study mechanical and wear properties of Al 7075/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Graphite hybrid composites”, *Composites Part B: Engineering* 2014; 56: 464-471.
34. Polat S, Sun Y, Çevik E, et al. Investigation of wear and corrosion behavior of graphene nanoplatelet-coated B4C reinforced Al–Si matrix semi-ceramic hybrid composites. *Journal of Composite Materials* 2019; 53: 3549–3565.
35. Dong Y, Ren B, Wang K, et al. Effects of graphene addition on the microstructure of 7075Al. *Materials Research Express* 2020; 7: 026510.

36. Haibo O, Cuiyan L, JianFeng H, et al. Synthesis of carbon/carbon composites by hydrothermal carbonization using starch as carbon source. *RSC Advances* 2014; 4: 12586–12589.
37. Rashad M, Pan F, Tang A, et al. Synergetic effect of graphene nanoplatelets (GNPs) and multi-walled carbon nanotube (MW-CNTs) on mechanical properties of pure magnesium. *Journal of Alloys and Compounds* 2014; 603: 111–118.
38. Turan ME, Sun Y, Akgul Y, et al. The effect of GNPs on wear and corrosion behaviors of pure magnesium. *Journal of Alloys and Compounds* 2017; 724: 14–23.
39. Rashad M, Pan F, Tang A, et al. Effect of graphene nanoplatelets (GNPs) addition on strength and ductility of magnesium-titanium alloys. *Journal of Magnesium and Alloys* 2013; 1: 242–248.
40. Oskouei RH, Barati MR, Ibrahim RN. Surface characterizations of fretting fatigue damage in aluminum alloy 7075-T6 clamped joints: the beneficial role of Ni–P coatings. *Materials* 2016; 9: 141
41. Du XM, Zheng KF, Zhao T, et al. Fabrication and characterization of al 7075 hybrid composite reinforced with graphene and sic nanoparticles by powder metallurgy. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures* 2018; 13: 1133–1140.
42. Bahrami A, Pech-Canul MI, Soltani N, et al. Tailoring microstructure and properties of bilayer-graded Al/B<sub>4</sub>C/MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> composites by single-stage pressureless infiltration. *Journal of Alloys and Compounds* 2017; 694: 408–418.
43. Simsir H, Akgul Y, Erden MA. Hydrothermal carbon effect on iron matrix composites produced by powder metallurgy. *Materials Chemistry and Physics* 2020; 242: 122557.
44. Kim I-Y, Lee J-H, Lee G-S, et al. Friction and wear characteristics of the carbon nanotube–aluminum composites with different manufacturing conditions. *Wear* 2009; 267: 593–598.
45. Ma K, Wen H, Hu T, et al. Mechanical behavior and strengthening mechanisms in ultrafine grain precipitation-strengthened aluminum alloy. *Acta Materialia* 2014; 62: 141–155.
46. Xie MS, Wang Z, Zhang GQ, et al. Microstructure and mechanical property of bimodal-size metallic glass particle-reinforced Al alloy matrix composites. *Journal of Alloys and Compounds* 2020; 814: 152317.
47. Moghadam AD, Omrani E, Menezes PL, et al. Mechanical and tribological properties of self-lubricating metal matrix nanocomposites reinforced by carbon nanotubes (CNTs) and graphene—a review. *Composites Part B: Engineering* 2015; 77: 402–420.



48. Latief FH, Sherif E-SM. Effects of sintering temperature and graphite addition on the mechanical properties of aluminum. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 2012; 18: 2129–2134.
49. Zhang HB, Wang B, Zhang YT, et al. Influence of aging treatment on the microstructure and mechanical properties of CNTs/7075 Al composites. *Journal of Alloys and Compounds* 2020; 814: 152357.
50. Liu J, Khan U, Coleman J, et al. Graphene oxide and graphene nanosheet reinforced aluminium matrix composites: powder synthesis and prepared composite characteristics. *Materials & design* 2016; 94: 87–94.
51. Şenel MC, Gürbüz M, Koç E. Mechanical and tribological behaviours of aluminium matrix composites reinforced by graphene nanoplatelets. *Materials Science and Technology* 2018; 34: 1980–1989.
52. Turan ME, Sun Y, Aydın F, et al. Influence of multi-wall carbon nanotube content on dry and corrosive wear performances of pure magnesium. *Journal of Composite Materials* 2018; 52: 3127–3135.
53. Turan ME, Sun Y, Akgul Y. Improved wear properties of magnesium matrix composite with the addition of fullerene using semi powder metallurgy. *Fullerenes, Nanotubes and Carbon Nanostructures* 2018; 26: 130–136.
54. Xia H, Zhang L, Zhu Y, et al. Mechanical properties of graphene nanoplatelets reinforced 7075 aluminum alloy composite fabricated by spark plasma sintering. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 2020; 27: 1295–1300.
55. Sharma SC, Anand B, Krishna M. Evaluation of sliding wear behaviour of feldspar particle-reinforced magnesium alloy composites. *Wear* 2000; 241: 33–40.
56. Turan ME, Sun Y, Akgul Y. Mechanical, tribological and corrosion properties of fullerene reinforced magnesium matrix composites fabricated by semi powder metallurgy. *Journal of Alloys and Compounds* 2018; 740: 1149–1158.
57. García-Rodríguez S, Torres B, Maroto A, et al. Dry sliding wear behavior of globular AZ91 magnesium alloy and AZ91/SiCp composites. *Wear* 2017; 390: 1–10.
58. Aatthisugan I, Rose AR, Jebadurai DS. Mechanical and wear behaviour of AZ91D magnesium matrix hybrid composite reinforced with boron carbide and graphite. *Journal of magnesium and alloys* 2017; 5: 20–25.
59. Thirumaran B., Natarajan S., Kumaresh SP., Corrosion behavior of CNT reinforced AA 7075 nanocomposites, *Advances in Metaterials* 2013; 2: 1-5.

60. Ujah CO, Popoola API, Popoola OM, et al. Influence of CNTs addition on the mechanical, microstructural, and corrosion properties of Al alloy using spark plasma sintering technique. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 2020; 106: 2961–2969.
61. Karunanithi R, Bera S, Ghosh KS. Electrochemical behaviour of TiO<sub>2</sub> reinforced Al 7075 composite. *Materials Science and Engineering: B* 2014; 190: 133–143.

## ÖZGEÇMİŞ

Ozan Arsun ilk, orta ve lise öğrenimini Karabük'te tamamladı. 2012 yılında Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde öğrenimine başlayıp 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans öğrenimine başladı ve tez çalışmasını Karabük Üniversitesinde devam ettirmektedir. 2019 yılından itibaren haddeleme prosesi yapan tesislerde özel sektörde çalışmaktadır. Şuan Yücel Grup şirketlerinden Çelsantaş firmasında Üretim Mühendisi olarak görev almaktadır.