

**KRİYOJENİK VE KURU KESME ŞARTLARININ  
MAGNEZYUM ALAŞIMININ DELİNMESİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**HİMMET ÇOBAN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ**

**Temmuz - 2019**



**T.C.  
KARAMANOĞLU MEHMETBEY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KRİYOJENİK VE KURU KESME ŞARTLARININ  
MAGNEZYUM ALAŞIMININ DELİNMESİNE  
ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Himmet ÇOBAN**

**Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ**

**KARAMAN 2019**

## TEZ ONAYI

Himmet ÇOBAN tarafından hazırlanan "Kriyojenik ve Kuru Kesme Şartlarının Magnezyum Alaşımının Delinmesine Etkisinin Deneysel İncelenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda **yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman:

İmza

Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ



Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Murat MAYDA



Dr. Öğr. Üyesi Gültekin BASMACI

Tez Savunma Tarihi: 18.07.2019

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Doç. Dr. Kamil ARI

Enstitü Müdürü

## TEZ BİLDİRİMİ

Yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmında bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

**Himmet ÇOBAN**

# ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

## **KRİYOJENİK VE KURU KESME ŞARTLARININ MAGNEZYUM ALAŞIMININ DELİNMESİNE ETKİSİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ**

**Himmet ÇOBAN**

**Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ**

**Temmuz, 2019, 61 sayfa**

Günümüzde magnezyum alaşımları özellikle havacılık ve otomotiv sanayiinde alüminyum, çelik ve kullanılan diğer metallere göre yoğunluğunun düşük, ağırlığının hafif olması sebebiyle yoğun olarak kullanımına başlanmıştır. Bu özellikleri yanı sıra yüksek mukavemet ve elektromanyetik etkilere karşı dayanımının yüksek olması, işlenebilirliğinin iyi olması sebebiyle de ön plana çıkmaktadır. Literatürde magnezyum alaşımlarının tornalanması ile ilgili pek çok çalışma olmasına rağmen delik delme prosesi ile ilgili çok az çalışma yapılmıştır. Bu tez çalışmasında literatürde henüz çalışılmamış olan, magnezyum alaşımının kriyojenik sıvı ile dolu kalıp içerisinde delinmesi deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. AZ31B magnezyum alaşımı yalıtkan bağlama kalıbı içerisi sıvı nitrojen dolu durumda iken delinmiştir. Bu kapsamda hem kuru kesme şartlarında hem de kriyojenik sıvı içerisinde magnezyum alaşımı delinerek sonuçlar birbiri ile kıyaslanmıştır. Deneysel çalışmada, deneyler anında itme kuvveti, sıcaklık, deneylerden sonra ise talaş, takım aşınması, yüzey topografyası, çapak ve delik içi sertlikler incelenmiş ve ölçülmüştür. Çalışmanın sonucunda, delme testlerinin kriyojenik koşullarda yapılmasıyla itme kuvvetinin arttığı görülmüştür. Hem kuru hem de kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde delik delme esnasında talaşlar tutuşma eğilimi göstermemiştir. Kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde kuru kesmeye nazaran daha kısa talaşlar oluşmuştur. Kriyojenik koşullarda yapılan deneylerde malzemenin gevrek bir yapıya sahip olduğu için çapakların koptuğu tespit edilmiştir. Kuru kesme şartları altında yapılan testlerde matkap üzerinde malzeme yapışmaları kriyojenik şartlara göre daha fazla oluşmuştur. Ayrıca, kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler: AZ31magnezyum alaşımı, Delik delme, Kriyojenik işleme**

# **ABSTRACT**

**Thesis of Master**

## **AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE EFFECT OF THE CRYOGENIC AND DRY CUTTING CONDITIONS IN DRILLING OF MAGNESIUM ALLOY**

**Himmet OBAN**

**Karamanoğlu Mehmetbey University  
The Institute of Natural and Applied Sciences  
The Department of Mechanical Engineering**

**Advisor: Assoc. Prof. Uğur KOKL**

**July, 2019, 61 pages**

In recent days, the magnesium alloys have started to use widely in the aerospace and automotive industry due to their low density and light-weight properties as compared to other metals such as aluminum, steel which are used in this industry. In addition to these properties, it stands out with properties such as high strength and high resistance to electromagnetic influences, good machinability. Although there are many studies related to turning of magnesium alloys, limited work has been done about drilling process on it. In this thesis, drilling of magnesium alloy in the fixture filled with cryogenic liquid was carried out experimentally. The AZ31B magnesium alloy was drilled in the thermally insulated fixture which is filled with liquid nitrogen. In this process, in both dry and cryogenic cutting conditions the magnesium alloy was drilled and the results compared with each other. During tests, the thrust force and temperature were recorded and after the tests, chips, tool wear, surface topography, burr and borehole hardness were measured and examined. The results showed that cryogenic condition increased thrust force. During the tests under both dry and cryogenic conditions, it was overserved that the chips did not tend to ignite. Tests were performed under cryogenic conditions resulted in shorter chips. Since the material has a brittle structure in cryogenic conditions, it was found that burrs were broken. In dry condition, material adhesion on the drill was higher than that in cryogenic conditions. In addition, smoother surfaces were obtained in the tests performed under cryogenic conditions.

**Keywords:** AZ31B magnesium alloy, drilling, cryogenic machining

## ÖNSÖZ

Yüksek Lisans tez çalışmamın planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde, oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, rehberliğinden ve sabrından dolayı danışman hocam Doç. Dr. Uğur KÖKLÜ'ye şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmam süresince tecrübelerini, öngörü ve bilgilerini her zaman aktaran Araş. Gör. Sezer MORKAVUK'a teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın başlangıcından bugüne kadar bana her zaman maddi ve manevi anlamda destek sağlayan çok değerli babam, annem ve abime teşekkür, şükranlarımı sunarım.

Son olarak, beni her zaman önemseyip hayatıma anlam katan her zaman yanımda olan çok kıymetli eşim Özlem ÇOBAN'a en içten duygularım ile teşekkür ederim.

Bu Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğünün 04-YL-17 No'lu Projesi ile desteklenmiştir.

Himmet ÇOBAN

Karaman-2019



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>ÖZET</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>iii</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>iv</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>iv</b>
<b>1.GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
<b>2.LİTERATÜR TARAMASI</b> .....	<b>6</b>
2.1. Magnezyum Alaşımları .....	14
2.1.1. Magnezyum alaşımları ve standartları.....	15
2.1.1.1. Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması.....	17
2.1.1.2.Dövme Alaşımları .....	17
2.1.1.3.Döküm alaşımları.....	18
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM</b> .....	<b>20</b>
3.1.Deneylerde Kullanılan Malzeme .....	20
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar .....	21
3.1.2.Deney Düzenegi ve Parametreleri .....	22
3.1.3.Ölçümler .....	25
<b>4. BULGULAR</b> .....	<b>30</b>
4.1. İtme Kuvveti.....	30
4.2.Sıcaklık Ölçüm Sonuçları .....	35
4.3. Talaş morfolojisi .....	39
4.4.Delik çıkışının görüntülenmesi .....	44
4.5.Takım Aşınmasının İncelemesi.....	47
4.6. Yüzey Kalitesi .....	49
4.7. Sertlik Testi .....	54
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ</b> .....	<b>56</b>

<b>KAYNAKLAR</b> .....	<b>58</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b> .....	<b>61</b>



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2. 1. Saf Magnezyumun fiziksel mekaniksel özellikleri.....	15
Çizelge 3. 1. AZ31'in Kimyasal Özellikleri .....	20
Çizelge 3. 2. AZ31'in mekanik özellikleri (Matweb, 2018).....	21
Çizelge 3. 3. Matkap geometrik bilgileri .....	22
Çizelge 3. 4. Deneyde kullanılan kesme parametre değerleri.....	23
Çizelge 4. 1. İtme Kuvvetleri Dataları .....	32
Çizelge 4. 2. Takım aşınması deneylerinde oluşan itme kuvvetleri .....	34
Çizelge 4. 3. İlerleme hızı ve kesme hızı değişiminin sıcaklığa etkisi .....	37
Çizelge 4. 4. Delik sayısı değişiminin sıcaklığa etkisi .....	38
Çizelge 4. 5. Farklı ilerleme ve kesme hızlarında oluşan talaşlar.....	40
Çizelge 4. 6. Delik sayısı artışının talaş oluşumuna etkisi.....	42
Çizelge 4. 7. Delik çıkış görüntüleri .....	45
Çizelge 4. 8. Takım görüntüleri .....	49
Çizelge 4. 9. Farklı ilerleme ve kesme hızlarında oluşan yüzey pürüzlülükleri.....	51
Çizelge 4. 10. Delik sayısı artışının yüzey pürüzlülüğüne etkisi.....	52
Çizelge 4. 11. Sertlik Ölçüm Sonuçları .....	55
Çizelge 4. 12. Ortalama Sertlik Değerleri.....	55

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1. 1. Otomobil üzerinde magnezyumun kullanıldığı yerler ve ağırlık değişimi.....	3
Şekil 1. 2. Araç ağırlığına göre yakıt miktarları .....	3
Şekil 1. 3. İmalatında magnezyum alaşımı kullanılan OMBF füzeler .....	4
Şekil 1. 4. Helikopter Rotor Göbeği .....	4
Şekil 1. 5. Magnezyum alaşımları kullanılan koltuk iskeleti ve direksiyon simidi .....	5
Şekil 3. 1. Deneyleerde kullanılan AZ31B Magnezyum Alaşımı .....	20
Şekil 3. 2. Deneyleerde kullanılan matkap ve kesici takım ölçüleri.....	21
Şekil 3. 3. Deneyleeri yapıldığı dik işleme merkezi.....	22
Şekil 3. 4. Deneysel düzenek .....	24
Şekil 3. 5. Sıvı nitrojen tankı .....	25
Şekil 3. 6. Kistler 9257B tipi kuvvet dinamometresi.....	25
Şekil 3. 7. Termal kamera ile sıcaklık ölçümleri .....	26
Şekil 3. 8. Dijital mikroskop ve alınan talaş görüntüsü .....	26
Şekil 3. 9. Dijital mikroskop ile delik çıkış görüntülemesi .....	27
Şekil 3. 10. Dijital mikroskop ile takım aşınması ölçümü.....	27
Şekil 3. 11. Yüzey pürüzlülüğü ve topografya ölçümü .....	28
Şekil 3. 12. Sertlik ölçüm cihazı .....	29
Şekil 4. 1. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi .....	30
Şekil 4. 2. İlerleme değişiminin itme kuvvetine etkisi .....	31
Şekil 4. 3. İlerleme miktarına ve kesme hızı değişiminin itme kuvvetine etkisi .....	33
Şekil 4. 4. Delik sayısı değişiminin itme kuvvetine etkisi.....	35
Şekil 4. 5. Delik çıkışlarında makroskopi boyutta çapak oluşumu.....	44
Şekil 4. 6. Kesme hızı ve ilerleme değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	53
Şekil 4. 7. Delik sayısı değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi .....	54

# 1.GİRİŞ

Magnezyumun tarihsel süreçte geçmişi incelendiğinde 17. Yüzyıla kadar geçmişinin dayandığı görülmektedir. Magnezyumun keşfinin yapılması 17. Yüzyıldan sonra yaklaşık olarak 1.5 asır geçmesi üzerine yapılmıştır. İlk kez 1618 yılında İngiltere'deki bir çiftçinin ineklerine kuyudan su içirmek istemesi üzerine, ineklerin suyu içmemesi ve bunun üzerine çiftçinin suyun tadına bakarak acı olduğunu fark etmesi ve yaralara iyi geldiğinin görülmesi üzerine gerçekleşmiştir. İlerleyen yıllarda bu tuzun hidratlı magnezyum sülfat (Epsom tuzu) olduğu tespit edilmiştir. (Eskier, 2017).

Tarihsel süreçteki magnezyumun keşfi şu şekildedir; (Eskier, 2017).

- Element olarak magnezyum 1755 yılında Joseph Black tarafından keşfedilmiştir.
- Thomas Henry 1789 yılında magnezyum ve silikat bileşiği olan lületaşını keşfetmiştir.
- Anton Rupprecht 1792 yılında kömürle magnezyumun ısıtılmasıyla metalik magnezyumun saf olmayanını elde etmiştir.
- Sir Humpry Davy 1808 yılında magnezyumu saf olarak elde etmiştir. Bu keşif için “magnezyum” adı kullanılmıştır.
- 1833 yılında Michael Faraday magnezyumun metal formunu erimiş susuz magnezyum kloridin elektroliz etmesiyle elde etmiştir.
- Ticari anlamda ilk magnezyum 1852 yılında Almanya Hemelingen'deki bir fabrikada kullanılmıştır.1896 yılında üretimi daha da geliştirilen magnezyum
- 1896'da daha da geliştirilen ticari magnezyum üretimi, 1916 yılına kadar sadece bu fabrikada yapıldı.

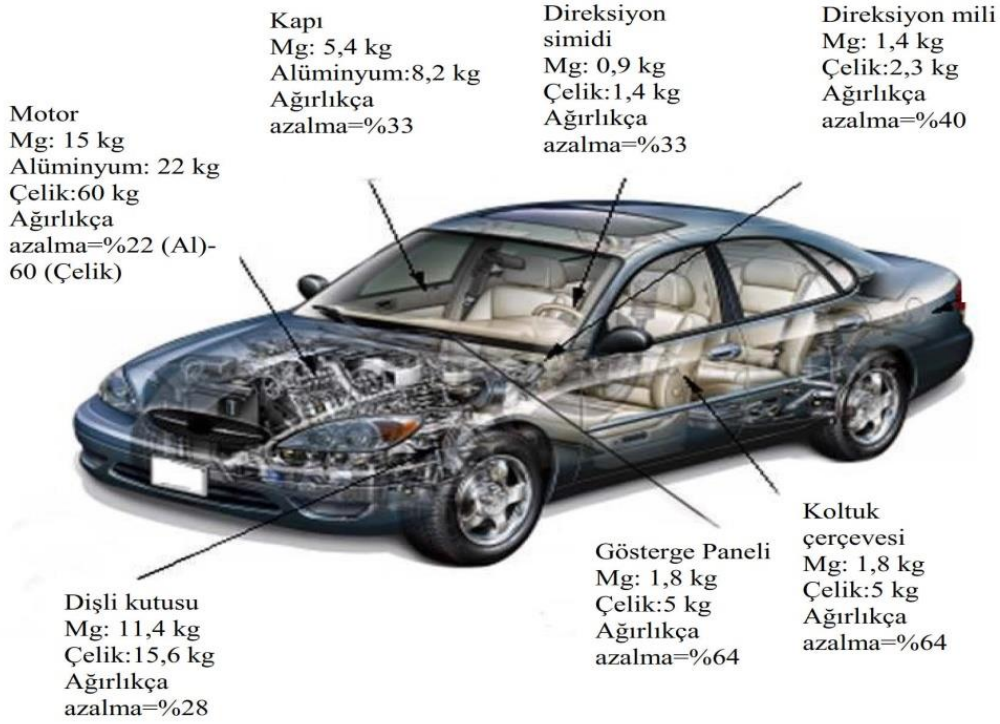
Magnezyumun adı Yunanistan'da bulunan geniş magnezyum yatakları Magnesia'dan gelmektedir.

Magnezyum periyodik tabloda IIA grubunda bulunan gümüş beyazı rengindeki alkali toprak metallere aittir. Doğada en fazla bulunan sekizinci element magnezyumdur. Magnezyum atom numarası 12, erime noktası 651 °C, kaynama noktası 1107 °C olan kimyasal elementtir. Alüminyuma göre 3 kat daha yoğun, yapı malzemesi olarak kullanılan metallerin en hafifidir.

Magnezyum sanayide başlıca iki yöntemle elde edilir. Birinci yöntemde magnezyum cevherleri karbon, silisyum gibi kuvvetli indirgeyicilerle doğrudan işlenir. İkinci yöntemde ise magnezyum klorürün elektroliz yoluyla indirgenmesidir. Bu yöntemde magnezyum klorür kaynağı olarak deniz suyundan yararlanılır.

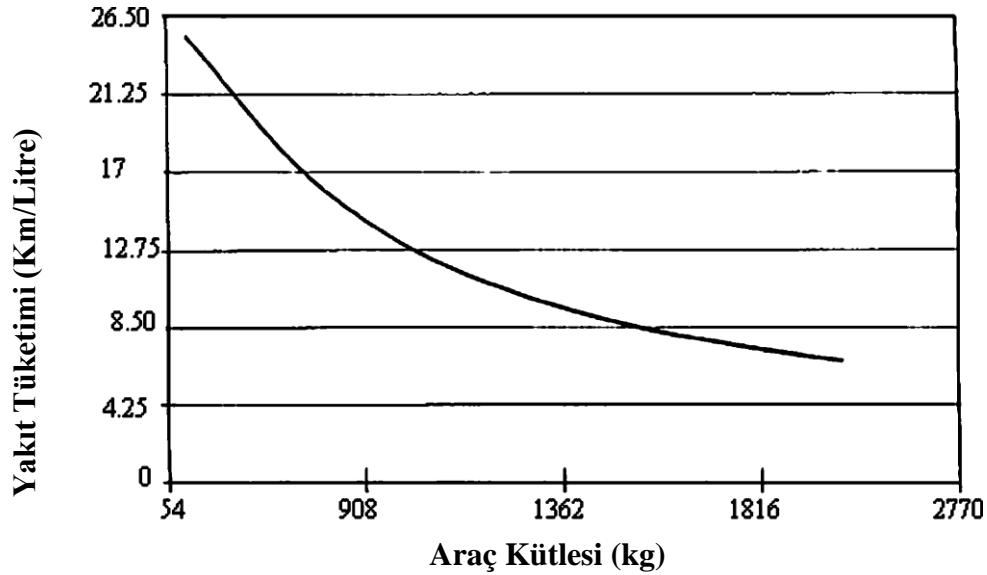
Magnezyum, günümüzde tıp sektöründen endüstri sektörüne kadar birçok alanda kullanılan önemi büyük olan bir elementtir. Hafif olması nedeniyle sanayide birçok alanda tercih edilmektedir. Genellikle alaşım maddesi olarak başka metallerle birlikte kullanılır. Magnezyum-alüminyum alaşımları hafif olması sebebiyle uçak, füze ve roket gövdelerinde kullanılmaktadır.

Titanyum, zirkonyum, uranyum ve berilyum gibi metallerin üretiminde indirgeyici olarak kullanımı yaygındır. Otomotiv sektöründe de kullanılan önemli metallere bir tanesidir. Emisyon ile ilgili yasal düzenlemeler ve yakıt ekonomisi sebebiyle pek çok otomotiv parçasının üretiminde magnezyum alaşımları kullanılmaktadır. Bu malzemelerin kullanımları ile birlikte araçların ağırlığında kayda değer bir düşüş olmakta böylece daha az yakıt tüketen daha çevreci araçların üretimi mümkün olmaktadır. Geçmişte bazı plastikler tercih edilirken günümüzde bu mühendislik malzemelerinin yerini magnezyum almaktadır ve kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 1.1'de bir otomobil üzerinde magnezyum alaşımlarının hangi parçalarda kullanıldığı görülmektedir. Bu parçaların mg alaşımlarından yapılması durumunda % 22 - % 70 arasında ağırlıkta azalma sağlanabileceği görülmektedir (Külekcı, 2008).



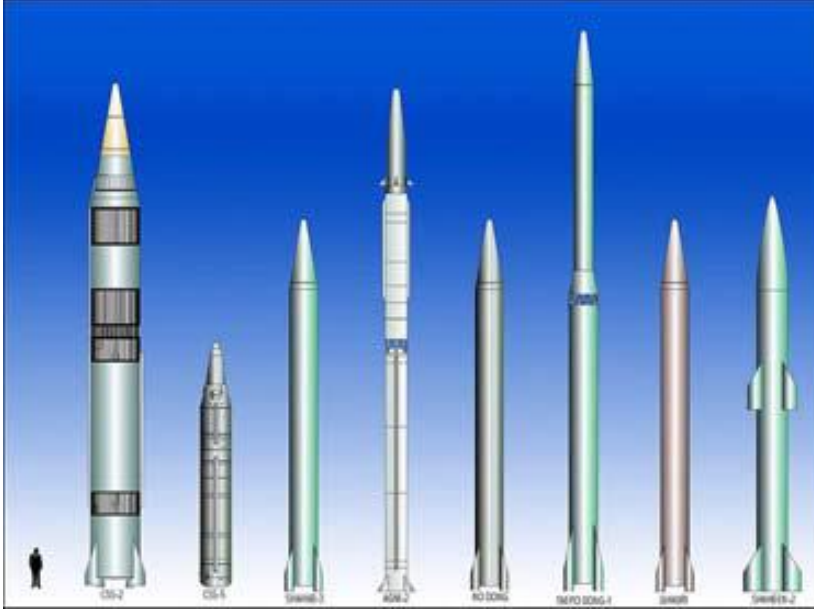
Şekil 1. 1. Otomobil üzerinde magnezyumun kullanıldığı yerler ve ağırlık değişimi (Külekçi, 2008)

Ağırlıktaki bu azalma ile yakıt tüketiminde de kayda değer azalmalar olmaktadır. Şekil 1.2’de araç kütlesine göre yakıt miktarının değişimi gösterilmektedir. Grafiğe göre araç ağırlığı arttıkça yakıt tüketimi de artmaktadır (Külekçi, 2008).



Şekil 1. 2. Araç ağırlığına göre yakıt miktarları (Külekçi, 2008)

Magnezyumun endüstride kullanıldığı bazı sektör ve ürünler şekildedir; otomobil koltukları, eczacılık, kâğıt, iniş takımları, motor parçaları, laptoplar, kameralar, elektrikli ev aletleri, mürekkep, gübreler, fotoğraf flaşları, havai fişekler, boyalar, beysbol sopası, kibrit, laptoplar, kameralar, hayvan yemleri, fotoğraf makineleri gibi Şekil 1.3, 1.4 ve 1.5'te görülmektedir.



Şekil 1. 3. İmalatında magnezyum alaşımı kullanılan OMBF füzeler (Demirci, 2015)



Şekil 1. 4. Helikopter Rotor Göbeği (Demirci, 2015)





**Şekil 1. 5.** Magnezyum alaşımları kullanılan koltuk iskeleti ve direksiyon simidi (EKER, 2008)

Magnezyum alaşımlarının kullanıldığı en önemli sektör olan otomotiv endüstrisinde parçaları genellikle yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilmektedir. Bu yöntem ile üretilen parçalar genellikle net şekle yakın olmakla birlikte talaş kaldırma işlemi minimuma indirmektedir. Ancak delme operasyonu montaj işlemi için vazgeçilmez bir prosestir. Bu çalışma özellikle son yıllarda önem kazanan işleme metotlarından biri olan ve literatürde pek çok fayda sağlamış olduğu belirtilmiş olan kriyojenik işleme metodunun AZ31 magnezyum alaşımının işlenebilirliği üzerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneyler ayrıca kuru işleme şartlarında da yapılmış kriyojenik işleme ile karşılaştırılmıştır.

## 2.LİTERATÜR TARAMASI

Literatürde magnezyum alaşımının işlenebilirliği ile ilgili olan çalışmalar incelendiğinde, bu çalışmaların genellikle tornalama üzerine yoğunlaştığı görülmüştür. Özellikle kriyojenik şartlarda delme ile ilgili yeteri kadar çalışmaya rastlanmamıştır. Bu başlık altında ilgili çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

A. H. Kheireddine ve ark. (Kheireddine, 2015) AZ31B Magnezyum alaşımının işlenmesi esnasında kriyojenik soğutmanın delinmiş deliklerin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisinin deneysel ve sayısal analizler üzerine çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada kriyojenik ortamda soğutma yapılarak gerçekleştirilen testlerde itme kuvveti ve tork ölçülmüştür. Yüzey mikro sertliği değerleri ve delinmiş yüzeylerdeki tane yapıları ölçülüp, kriyojenik olarak soğutulmuş alaşım delme işleminin simülasyonu için sonlu elemanlar analizi (FEM) ve modeli geliştirilmiştir. Gerilim, gerilme hızı ve sıcaklık durum değişkenlerinin sayısal çıktısı, yüzey sertliği değerleri Hall-Petch benzeri bir ilişki ile hesaplanarak kriyojenik soğutmanın, yüzey sertliğini arttırmada belirgin bir etkisi olduğu bulunmuştur. Kriyojenik soğutmanın işlem içi uygulaması, kuru halde delinen deliklere kıyasla yüzey sertliğinin artmasına neden olmuştur.

A. H. Kheireddine ve ark. (Kheireddine, 2013) AZ31B Magnezyum alaşımının kriyojenik ortam şartlarında delinmesinin yüzey sertliğine etkisini inceleyip deneysel doğrulama yapmışlardır. Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımının kriyojenik olarak soğutulmasının yüzey kalitesini nasıl artırabileceği üzerine yapılmıştır. AZ31B magnezyum alaşımının deliklerin yüzey bütünlüğü üzerine kriyojenik soğutmanın etkisi incelenmiştir. Yeni işlenmiş delik yüzeylerinde mikro-sertlik (HV) ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca, işlem FEM'de delme işlemi eklenmiş uygun bir konvektif soğutma yaklaşımı ile modellenmiştir. Sonuçlar, gerilme hızları ve sıcaklıklar gibi sayısal modelin çıktıları, deliklerin yüzeyindeki tane büyüklüğünü ve sonuç olarak sertliği tahmin etmek için kullanılmıştır. Kuru delinmiş delikler için farklı ilerleme hızlarına sahip sertlik değerleri (hem deneylerden hem de FEM analizlerinden tespit edilmiştir), kriyojenik olarak soğutulmuş deliklerin soğutulmamış olanlara kıyasla daha yüksek sertlik değerlerine sahip olduğu belirtilmiştir.

B. Ratna Sunil ve ark. (Sunil, 2015) AZ31 ve AZ91 magnezyum alaşımının içeriğindeki alüminyumun delme sonuçlarına etkisini incelemişlerdir. Magnezyum (Mg) alaşımları, alüminyum (Al) alaşımları gibi diğerk hafif metallerle karşılaştırıldığında düşük yoğunluklu ve yüksek özgül dayanımlarından dolayı çeşitli yapısal uygulamalarda yoğun olarak tercih edilmektedir. Tüm Mg alaşımları arasında, alüminyum ve çinko serisi Mg alaşımları çeşitli yapısal uygulamalar için en yaygın kullanılan alaşımlardır. Ancak, magnezyum ve alaşımlarının işlenmesi, kırılğan olmaları ve diğerk demir dışı metallerin aksine uyumsuzluk riski nedeniyle bazı sorunları içerir. Özellikle, önemli miktarda ikincil faza sahip alaşımlar metal kesme işlemlerinde farklı işleme özellikleri gösterebilir. Farklı işlem parametrelerinde delme işlemi gerçekleştirilmiş ve kesme kuvvetleri de elde edilmiştir. Delme sırasında üretilen talaşlar analiz edilmiştir. Sonuçlardan, ikincil fazın (Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>) varlığının kesme kuvvetleri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Kesme hızındaki artış, tüm durumlarda gerekli kesme kuvvetini ve yük dalgalanmalarını azaltmıştır.

D. Biermann ve Y. Liu (Biermann, 2014) AZ31 dövme alaşımlı magnezyumun hafiflik potansiyelini artırmak için AZ31 üzerinde talaşsız delik açma işlemini araştırmıştır. İncelenen ince magnezyum profillerinde yenilikçi delme işlemi uygulanabilirliği ve delme sırasında itme kuvvetleri ile tork analiz edilmiştir. Delme işlemi için iki farklı kalınlıktaki alaşım ile çalışılmıştır. İşlem sırasındaki sıcaklıklar, termal görüntüleme kamerası kullanılarak belirlenmiş diş açma şekilleri incelenmiştir.

Z. Pu ve ark. (Pu, 2012) AZ31B alaşımının kriyojenik işleme ile işlenmiş bileşenleri gelişmiş fonksiyonel performansı ve yüzey bütünlüğüne yönelik olarak yaptığı çalışmada nasıl bir etki olduğunu incelemişlerdir. Magnezyum alaşımları ulaştırma endüstrisinde kullanılan hafif malzemelerdir ve biyolojik olarak parçalanabilen tıbbi implantlar için potansiyel bir materyal olarak da ortaya çıkmaktadır. Tane büyüklüğü, kristalografik oryantasyon ve artık gerilme gibi yüzey bütünlüğü faktörlerinin, korozyon / aşınma direnci ve yorulma ömrü de dahil olmak üzere magnezyum alaşımlarının işlevsel performansını önemli ölçüde arttırdığı kanıtlanmıştır. Bu çalışmada, yüzey bütünlüğü üzerindeki farklı kesici kenar yarıçapı kullanılarak kuru ve kriyojenik işleme (işleme sırasında işlenmiş yüzeye sıvı azot püskürtülmüştür) incelenmiştir. İşlem görmemiş malzeme ile karşılaştırıldığında, kriyojenik işleme sonrasında gelişmiş yüzey kalitesi, niteliksiz yüzey katmanında 12

$\mu\text{m}$ 'den 31  $\mu\text{m}$ 'ye kadar taneciklerinin oluşumu, işlenmiş yüzey üzerinde büyük bazal düzlem yoğunluğu, kalıntı gerilme yöntemlerinde 10 kat daha büyük sıkıştırma alanları olduğu görülmüştür. Bu değişiklikler, işlenmiş AZ31B Mg alaşımının işlevsel performansını arttırmaktadır. Takım ömrü ile ilgili sıkça bildirilen faydalara ek olarak, bu çalışma kriyojenik işlemenin iş parçasının yüzey bütünlüğünü artırabileceğini ve işlenmiş bileşenlerin performansını iyileştirebileceğini görülmüştür.

Z. Pu ve ark. (Pu, 2014) AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik işlemede mikro yapısal değişimi sonlu elemanlar modellemesini incelemiştir. Tatminkâr olmayan korozyon direnci, geniş uygulamalarını engelleyen magnezyum alaşımlarının en büyük dezavantajlarından biridir. Magnezyum alaşımlarının korozyon direncini mikro yapısal değişimleri ve tane büyüklükleri önemli ölçüde etkilemektedir. Kriyojenik işlemenin, Mg alaşımlarında tanecik bakımından incelmelerini indüklediği ve korozyon direncini artırma potansiyeline sahip olduğu belirtilmiştir. Bu değişikliklerin modellenerek Mg alaşımlarının korozyon oranını arttırmak için uygun işleme koşulları bulunması için yapılan ön çalışmada, AZ31B Mg alaşımının kuru ve kriyojenik işleme sırasında sonlu eleman (FE) yöntemi ve Mg alaşımlarının dinamik yeniden kristalizasyon mekanizmasına dayanan bir kullanıcı alt yordamı kullanılarak yapısal değişikliklerinin modellenmesi için yapılmıştır. Deneysel ve öngörülen sonuçlar arasında tane büyüklüğü ve etkilenen katman kalınlığı açısından bir uyum olduğu tespit edildi. Kriyojenik işleme sonrası talaş açısının mikro yapısal değişiklikler üzerindeki etkisini araştırmak için bu model kullanılarak sayısal bir çalışma yapılmıştır.

J.C. Outeiro ve ark. (Outeiroa, 2013) AZ31B-O magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik işleme ile oluşan proses mekaniği ve yüzey bütünlüğünü incelemiştir. Magnezyum alaşımlarının korozyon direnci esas olarak yüzey bütünlüğüne bağlıdır. Önceki deneysel çalışmalar, işlemenin, magnezyum alaşımının korozyon direncini önemli ölçüde artıran küçük (nano ölçekli) tane büyüklüğü, kompresif artık gerilmeler ve bazal düzlem kristalografik yapıya neden olabileceğini göstermiştir. Bu çalışmalar kriyojenik soğutmanın ve takım kenar yarıçapının olumlu etkilerine odaklanmıştır. Bu çalışmada, AZ31B-O magnezyumun işlenmesi sırasında üretilen kesme mekaniği ve yüzey bütünlüğüne etki eden çok çeşitli kesme işlemi parametrelerinin (kesme hızı, ilerleme hızı, takım kesme açısı, takım kenarı yarıçapı ve soğutma koşulları dahil) etkisi üzerine deneysel ve sayısal olarak çalışılmıştır.

Z. Pu ve ark. (Pu, 2014) AZ31B Magnezyum alaşımının kriyojenik işlenmesinde artık gerilmelerin sonlu elemanlar simülasyonunu incelemişlerdir. Magnezyum alaşımları öncelikle ulaştırma endüstrisinde kullanılan hafif malzemelerdir ve ayrıca biyolojik olarak parçalanabilen fiksasyon implantları için potansiyel bir materyal olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, tatmin edici olmayan korozyon direnci bu malzemelerin uygulanmasını büyük ölçüde sınırlar. Kalıntı gerilmelerin Mg alaşımlarının korozyon direncine önemli bir etkisi olduğu bildirilmiştir. Bu çalışmada, AZ31B Mg alaşımının kriyojenik işlemesinde kalıntı gerilmeleri simüle etmek için sonlu elemanlar modeli geliştirilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak kalibrasyondan sonra, kesme kenar yarıçapı ve soğutma yönteminin (kuru ve kriyojenik) kalıntı gerilmeler üzerindeki etkisini incelemek için sayısal simülasyonlar yapılmıştır. Model magnezyum alaşımlarının korozyon direncini arttırmak için kompresif artık gerilmelere neden olan uygun kesme koşullarını sağlamak için kullanılabilir.

Yong Liu ve ark. (Liu, 2012) kriyojenik işleme MG-Zn-Gd alaşımlarının aşınma direncinin artırılması üzerine çalışma yapmışlardır. Mg-1.5Zn-0.15Gd alaşımlarının kriyojenik işlem (CT) öncesi ve sonrasında aşınma davranışı, kuru kayma aşınma testi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Deneysel sonuç, alaşımların aşınma direncinin CT sonrası önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Sürtünme katsayısı ve aşınma oranı, ikincil faz partiküllerinin hacim fraksiyonunun artmasına ve CT nedeniyle inceltilmesine bağlı olan BT süresinin artmasıyla azalır. Ayrıca, kriyojenik işlemeden sonra alaşım çok daha pürüzsüz aşınmış bir yüzey sergiler. BT öncesi ve sonrası alaşımların aşınma mekanizması tartışılmıştır. Z. Pu ve ark. (Pu, 2011) AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik işlemede değişken kenarlı takımların yüzey bütünlüğüne etkisini incelemişlerdir. İşlenmiş malzemelerin yüzey bütünlüğü, fonksiyonel performansları üzerinde kritik bir etkiye sahiptir. Magnezyum alaşımları ulaştırma endüstrisi için hafif malzemelerdir ve ayrıca geçici biyomedikal implantlar için potansiyel bir materyal olarak ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, tatmin edici olmayan korozyon direnci, uygulamalarını büyük ölçüde sınırlar. Tane büyüklüğü, kristalografik uyum ve artık gerilmeler gibi yüzey bütünlüğü faktörlerinin, AZ31 magnezyum alaşımlarının korozyon direnci üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu vurgulanmıştır. Yapılan çalışmada, AZ31B Mg diskleri hem kuru hem de kriyojenik koşullar altında iki kenar yarıçaplı kesici aletler kullanılarak ortogonal olarak

işlenmiştir. Kesme kenarı yarıçapı ve soğutma yönteminin yüzey bütünlüğü üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Büyük kenar yarıçapı takım kullanılarak yapılan kriyojenik işleme, daha kalın bir tane inceltme tabakasına, daha büyük sıkıştırıcı artık gerilmelere ve magnezyum alaşımlarının korozyon performansını önemli ölçüde artırabilen bazal doku yoğunluğuna yol açmıştır.

Mohamed N.A. Nasr ve J.C. Outerio (Nası, 2015) AZ31B-O magnezyum alaşımının işlenmesinde kriyojenik soğutmanın duyarlılık analizini yapmışlardır. Magnezyum alaşımlarının korozyon direncinin artırılması, son yıllarda özel bir odak noktası kazanmıştır ve kriyojenik işleme, başarıyla kullanılan tekniklerden biri olmuştur. Bu çalışma, AZ31B-O magnezyum alaşımı kesilirken proses mekaniği üzerindeki kriyojenik soğutma etkilerinin duyarlılık analizini sunmaktadır. AZ31B-O'nun kuru ve kriyojenik koşullar altında dik kesiti simüle etmek için sonlu elemanlar modellemesi kullanılıp burada farklı parametreler (kesme kuvvetleri, sıcaklıklar, kesme açısı, talaş sıkıştırma oranı ve plastik deformasyon) araştırılmıştır. Ayrıca, CNC torna tezgahında, kuru ve kriyojenik koşullar altında dik kesme testleri yapılmış ve burada kriyojenik soğutma LN<sub>2</sub> jeti kullanılarak boşluk tarafına uygulanmıştır. M. Akgün ve ark. (Akgün,2014) döküm yöntemi ile üretilmiş olan AZ91 magnezyum alaşımının işlenebilirliğinin yüzey pürüzlülüğünün değerlendirilmesi için çalışma yapmışlardır. Çalışmada geleneksel döküm yöntemi ile üretilen AZ91 magnezyum alaşımının üretimi ile işlenebilirliği incelenmiştir. AZ91 Mg (Al %9, Zn %1) Mg esaslı alaşım, rezistanslı ergitme ocağında eritilip metal olan kalıplara dökülüp üretilmiştir. Kalıplardan çıkartılan malzemelerin işlenebilirliği, dört farklı kesme hızında tormalanarak (250, 350, 450 ve 550 m/dak), beş farklı ilerleme hızında (0,025 0,05 0,1 0,15 ve 0,2 mm/dev) ve dört farklı (0,5 1, 1,5 ve 2 mm ) kesme derinliğinde kuru ortamda yapılmıştır. İlerleme hızı azaldıkça yüzey pürüzlülüğü değerinin azaldığı gözlenmiştir. Kesme hızının artışı ile yüzey pürüzlülük değerinin bir noktaya kadar arttığı görülmüştür. Ancak kesme hızının daha fazla artması sonucunda pürüzlülük değerinde azalma görülmüştür.

Kamran Adki ve ark. (Amini, 2014) AZ91 magnezyum alaşımının kriyojenik ortamda ısıtma işlemi uygulanıp su vermenin aşınma üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada AZ91 magnezyum alaşımına derin kriyojenik işlem uygulanıp farklı soğutma işlemleri yapılp optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak sertlik ve aşınma testleri ile birlikte incelenmiştir. 24 saat boyunca

numuneler üzerine 420 °C’ de ısıl işlem uygulanıp farklı su, hava ve azot ortamlarında soğutma işlemi yapılmıştır. Bu işlemden sonra numuneler sıvı azot içerisine bekletilerek gözlenmiştir. Sonuç olarak malzemeye uygulanan kriyojenik ısıl işlem sertliği ve aşınma direncini arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca soğutma ortamının ve soğutma hızı artırılmasının sertliği ve aşınma direncini arttırdığı belirtilmiştir.

Stefania Bruschi ve ark. (Bruschi, 2018) AZ31 magnezyum alaşımlarının insan vücudundaki korozyon direncini artırmak için işleme sırasındaki yüzey değişikliklerini incelemiştir. Magnezyum alaşımlarının insan vücudunda, yapısından dolayı gün geçtikçe kullanımı artmaktadır. Bunun yanı sıra vücut sıvılarına karşı korozyon dirençleri uygulanabilirliklerini oldukça sınırlamaktadır. Bu çalışmada malzemeyi işlemeye bağlı yüzeyde meydana gelen değişimler incelenmiştir. İnsan vücudu üzerinde magnezyumun yüzey özellikleri (artık gerilmeler, mikro yapılar vs.) analiz edilip korozyon direnci ile ilişkilendirilmiştir. Sonuç olarak düşük hızdaki kriyojenik işlemin korozyonun en fazla azaltan durum olduğu tespiti yapılmıştır.

Hongji Zhang ve ark. (Zhang, 2017) Magnezyum alaşımını yüksek hızda işleme esnasındaki talaş yapısını ve yanma olaylarını incelemiştir. Magnezyum alaşımının düşük tutuşma noktası ve yüksek kimyasal aktivitesi nedeniyle talaşlar düşük sıcaklıkta yanar, dolayısı ile bir güvenlik sorunu ortaya çıkar. Bu çalışmada magnezyum alaşımının yapısı ve yanma durumundaki değişimler yüksek hızdaki frezelemeyle analiz edilmiştir. AM50A ve AZ91D magnezyum alaşımlarının yüksek hızda frezelenmesi üzerine yapılan deneylerde magnezyum alaşımlarındaki AL-MN ve  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> fazlarındaki değişiklikler karşılaştırılıp analiz edilmiş, talaş yanmasına neden olan alaşım fazları tespit edilmiş ve talaş yanma nedeninin magnezyum alaşımlarının bileşimlerinden kaynaklandığı açıklanmıştır. AZ91D magnezyum alaşımının aynı koşullar altındaki AM50A magnezyum alaşımına göre daha kolay yanması ve tutuşması nedenleri açıklanmıştır.

Mohd Shahfizal Ruslan ve ark. (Ruslan, 2015) yüksek hızda AZ91D magnezyum alaşımının yüzeyinin frezelenmesini incelemiştir. Magnezyum alaşımının yüksek hızda işlenmesi 900-1400 m/dk ve bitirme esnasında ilerleme hızı 0.03-0.09 mm/dk aralığında incelenmiştir. Bu parametreler aralığında oluşan yüzey pürüzlülüğü 0.061-0.133  $\mu$ m arasında olup manuel parlatma ile elde edilebilecek 0.5

um'den az olduğu tespiti yapılmıştır. Yapılan çalışmada AZ91D magnezyum alaşımının yüksek hızda frezelenmesi sonucunda ayna benzeri bir yapı elde etmek için parlatma işleminin ortadan kaldırılmasının mümkün olduğu belirtilmiştir.

S. Dinesh ve ark. (Dinesh, 2016) mikro gözenekli aletler kullanarak biyo bozunur ZK60 magnezyum alaşımının kriyojenik işlenmesi üzerine deneysel çalışmalar yapmışlardır. Kesici takım parçası ile talaş arasındaki temas alanını azaltmak takım ömrünü uzatır ve malzemenin işleme performansı artar. Magnezyum alaşımlar işleme sırasında sürekli talaş oluşturan sünek hafif malzemelerdir. Bu araştırmada ZK60 magnezyum alaşımının hem kuru hem de sıvı azot (LN<sub>2</sub>) ile soğutma koşulları altında kesici uçlarla olan çalışmayı analiz edilmektedir. Tungsten karbür kesici uçlarla Nd-YAG lazer kullanılarak talaş akış yönüne paralel ve dik olan doğrusal oluklar oluşturulmuştur. LN<sub>2</sub> soğutma uygulaması ile birlikte tekstüre işleminin etkisi işleme sıcaklığı ve kuvvetleri, mikro sertlik, yüzey pürüzlülüğü ve takım aşınması değerlendirilerek incelenmiştir. Gözenekli malzemeler, talaşsız takımlarla karşılaştırıldığında talaş düzlemi ile talaşın bağlantı alanını önemli ölçüde asgariye indirir ve bu da makinede işlene bilirlikte olumlu etkiler oluşturmuştur. Kriyojenik işleme durumunda, Gözenekli malzemeler, mikro havuz yağlamanın birleşik etkisi ve takım-talaş/takım-iş parçası ara yüzleri arasında ince film yağlama oluşumu ile sürtünmeyi asgariye indirmiştir. Kriyojenik soğutmaya yardımcı olan paralel Gözenekli malzemeler, mevcut araştırmada kullanılan farklı tipte aletler arasında işleme sırasında üstün performans göstermiştir.

Sandeep Desai ve ark. (Desai, 2017) kriyojenik ortamda yüksek hızda Mg-Ca1.0 biyo bozunur alaşımın işlenmesini incelemişlerdir. Bu çalışmada işleme parametrelerinin CVD kullanılarak yüzeyin frezelenmesinde pürüzlülük, mikro yapı, mikro sertlik, talaş yapısı ve bozunma oranı açısından biyo bozunur magnezyum kalsiyum alaşımlı implant performansı üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Karbon kaplamalı karbür kesici uçlarla yapılan deneyler sonucunda frezeleme hızının yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli faktör olduğu tespiti yapılmıştır. Dövme numunenin korozyon direncinin dökme numuneninkinden daha yüksek olduğunu tespit edilmiştir. Bozulmanın esas olarak oyulma şeklinde korozyon sebebiyle olduğu görülmüştür. İşleme sırasında mikro sertlik, işleme parametrelerinin etkisiyle 66 HV'den 84 HV'ye yükselmiştir.



R. Bertolini ve ark. (Bertolini, 2016) biyomedikal uygulamalarda AZ31 magnezyum alaşımının aşınma durumunu işleme hızları ve soğutma stratejilerine göre incelemişlerdir. Yapılan çalışmada fizyolojik ortamda korozyon oranı optimize edilip proses şartları ile oran iyileştirilmiştir. Sonuç olarak AZ31 magnezyum alaşımının zayıf korozyon yapısının güçlendirilmesi için proses şartlarının etkisinin büyük olduğu tespiti yapılmıştır.



## 2.1. Magnezyum Alaşımları

Magnezyum, alüminyum ve titanyum benzeri malzemelerin alaşımları düşük yoğunluk, yüksek çekme-basma dayanımı, işlenebilirlikleri daha kolay, dökümleri kolay ve hafif malzemelerdir. Geri dönüşümleri 'de yapılabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı endüstride yoğun olarak kullanılmaktadır (Gözüaçık, 2012).

Magnezyum yapısından dolayı özellikle hafif olması sebebi ile otomotiv ve havacılık sanayinde kullanılmaktadır. Otomotiv endüstrisinde, aracın ağırlığının daha az olması daha az yakıt tüketmesi yönünden avantaj sağlamakta ve egzozdan çıkan zararlı gazlarda da azalma olmaktadır (Gözüaçık, 2012).

Magnezyum dünyadaki metallerin içinde en fazla olan altıncı metaldir. 1.74 g/cm<sup>3</sup> olan yoğunluğu sayesinde ağırlığı en az olan metallerden biridir. Bu durumundan dolayı kullanılan alanlar çok fazladır. Bunun yanı sıra magnezyum alaşımına kolay şekil verilebilir ve yüksek ısılara dayanabilir.

Alaşımsız yapıda olan magnezyum düşük mukavemet ve tokluk değerine sahiptir. Bu sebeple genellikle alaşımlandırılarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri sayesinde magnezyum birçok sektörde yoğun olarak kullanılmaktadır (Öztürk, 2012).

Ağırlık olarak kıyas yapıldığında magnezyum, alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri, bakır ve nikelin ise beşte biri düzeyindedir. Magnezyumun dayanımı artırabilmek için alaşımlandırılmaktadır. (Öztürk, 2012).

Magnezyumun saf olarak baz alınmış durumdaki fiziksel ve mekaniksel özellikleri çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2. 1. Saf Magnezyumun fiziksel mekaniksel özellikleri**

<b>Atom No</b>	12
<b>Atom Ağırlığı</b>	24.3 g/mol
<b>Özgül Ağırlık (20°C’de)</b>	1.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Erime Sıcaklığı</b>	651°C
<b>Kaynama Sıcaklığı</b>	1110 °C
<b>Kaynama Gizli Isısı</b>	46.5 cal/°C
<b>Isıl İletkenliği (20°C’de)</b>	0.038 cal/cm.s.°C
<b>Lineer Genleşme Katsayısı (25°C’de)</b>	26x10 <sup>-6</sup>
<b>Elektrik İletkenliği (Cu=100)</b>	36.5 ohm.cm
<b>Elastisite Modülü</b>	4570 kgf/mm <sup>2</sup>
<b>Kristal Yapısı</b>	Hekzagonal Sıkı Paket (hsp)

### **2.1.1. Magnezyum alaşımları ve standartları**

Magnezyumun genel özellikleri sayesinde tekrar dönüştürülebilmesinin mümkün olması, maliyet uygunluğu gibi durumlarından dolayı endüstride birçok alanda kullanılmaktadır (11. Otomotiv Sempozyumu, 2009).

Magnezyum alaşımları özel uygulamalarda tercih edilmeleri üstün özellikleri ve avantajlarından dolayıdır. Yüksek çekme-basma özelliklerine sahip olmalarından dolayı havacılık gibi ağırlığın önemli olduğu uygulamalarda kullanımı daha fazladır. Dolayısı ile magnezyum alaşımları ilerleyen zamanlarda çok daha fazla sanayide kullanılacağı öngörülmektedir. Bunun yanı sıra magnezyum alaşımlarının endüstride kullanım alanının az olmasının nedeni korozyon direncinin düşük olmasındandır. (Gözüaçık, 2012).

Magnezyum alaşımlarının korozyon direnci olarak kıyas yapılacak olur ise alüminyum ile orta karbonlu çelik arasında bir korozyon direnci vardır. Genellikle de alüminyumdan iyidir (11. Otomotiv Sempozyumu, 2009).

Magnezyum alaşımlandırıldığı elementlerden alüminyum dayanımı, çinko tokluğu, manganez ise korozyona karşı direnci artırabilmektedir. Ama çinko miktarının artırılması kırılgan bir yapının oluşmasına sebebiyet vermektedir. (Öztürk, 2012).

Magnezyum alaşımları genel olarak iki büyük harf ve devamında iki, üç numara ile belirtilir. Harfler alaşımdaki kullanılan elementleri simge etmektedir. İlk sıradaki harf en fazla miktarda bulunan elementi, devamındaki harf ise ikinci en yüksek miktardaki elementi simge etmektedir. Harflerin devamında bulunan ilk sayı, ilk harf elementinin yüzde olarak ağırlığını, ikinci sayı ikinci sıradaki harf elementinin yüzde olarak ağırlığını simge etmektedir. (Eker, 2008).

Örnek olarak: AZ91D alaşımı, ana elementleri % 9 (ortalama değer) alüminyum, % 1 (ortalama değer) çinkoyu simge etmektedir. Son ekte istisna olarak kullanılan X harfi, alfabetik sırada ilerledikçe katışıklığın alt limite olduğunu belli etmektedir. Aşağıda örnek olarak magnezyum alaşımları gösterilmektedir.

#### **Magnezyum Alaşımları;** (Eker, 2008)

- AE Serisi: Magnezyum, alüminyum ve nadir toprak alaşımları - Örn:AE42
- AJ Serisi: Magnezyum, alüminyum ve stronsiyum alaşımları - Örn:AJ52 HP-(Yüksek Basınç)
- AM Serisi: Magnezyum, alüminyum ve mangan alaşımları - Örn:AM60B
- AS Serisi : Magnezyum , alüminyum ve silisyum alaşımları - Örn:AS31
- AZ Serisi : Magnezyum , alüminyum ve çinko alaşımları - Örn:AZ91D
- EQ Serisi : Magnezyum , nadir toprak gümüş ve bakır alaşımları - Örn:EQ21
- EZ Serisi : Magnezyum , nadir toprak ve çinko alaşımları - Örn:EZ33A
- HM Serisi : Magnezyum , toryum ve mangan alaşımları - Örn:HM21A
- HZ Serisi : Magnezyum , toryum ve zirkonyum alaşımları - Örn:HZ32A
- QE Serisi : Magnezyum , gümüş ve nadir toprak alaşımları - Örn:QE22A
- QH Serisi : Magnezyum , gümüş ve toryum alaşımları - Örn:QH21
- WE Serisi : Magnezyum , itriyum ve nadir toprak alaşımları- Örn:WE43
- ZC Serisi : Magnezyum , çinko ve bakır alaşımları - Örn:ZC71
- ZK Serisi : Magnezyum , çinko ve zirkonyum alaşımları - Örn:ZK11
- ZT Serisi : Magnezyum , çinko ve toryum alaşımları - Örn:ZT32

### **2.1.1.1. Magnezyum Alaşımlarının Sınıflandırılması**

Magnezyum alaşımları imal tiplerine göre döküm ve dövme alaşımları olarak iki gruba ayrılabilir. Alaşımların kullanımı ise imalat yöntemlerine göre değişiklikler göstermektedir. Genel olarak döküm yöntemi ile üretilen magnezyum alaşımları otomotiv parçaları, uzay endüstrisi ve elektronik sanayiinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Dövme yöntemi ile üretilen magnezyum alaşımları genellikle yapısal uygulamalar için üretilir. (Boru,levha,folyo vs.) Dövme yöntemi ile üretilen magnezyum alaşımlarının mekanik özellikleri döküme göre daha iyidir (Gözüaçık, 2012).

Genel olarak üretim yöntemleri kıyaslandığında büyük oranda (% 85-90) döküm yöntemi ile alaşımlar elde edilmektedir. Dövme alaşımlarına göre döküm alaşımlarının kullanım alanları daha geniştir.

Magnezyum alaşımlarının döküm yöntemleri incelendiğinde ise en fazla basınçlı döküm yöntemi kullanılmakta olup ağır parçalar için ise kum kalıba dökülerek elde edilmektedir. Dövme alaşım yöntemleri gelişmekte olup, piyasada bu tür alaşımla döküm yöntemlerine göre daha az miktarda kullanılmaktadır. Fakat son yıllarda otomotiv sanayisinde dövme alaşımlarının kullanımının arttığı görülmektedir. Özel parçalar için kendine has yöntemler geliştirilmektedir. (ztrk, 2012).

### **2.1.1.2.Dövme Alaşımları**

Dökümü yapılan magnezyum alaşımları "magnezyum – alüminyum" ve "magnezyum – alüminyum - çinko" olacak Şekilde ayrılabilir.

Magnezyum içerisine alüminyum en fazla % 7-11 oranında ilave edilebilir. Dövme alaşımı ile elde edilmiş malzemelerin mekanik özellikleri kum kalıba döküm yöntemi ile yapıldığında, çekme dayanımı 16-17 kg/mm<sup>2</sup> ve uzaması % 4–5'tir. Bu zellikler, tel Şeklinde ekilme durumunda çekme dayanımı 27-29 kg/mm<sup>2</sup> ve uzaması % 15-18'e yükselir. Bu tür alaşımlar kullanım esnasında homojenleştirilerek kullanılır.

İçerisinde inko bulunan alaşımlar Almanya'da üretilmektedir. Endüstride de kullanımı fazla değildir. Bu tür alaşımlar uçak yapımında kullanılmaktadır. Bileşimlerinde % 3-9 alüminyum, % 1-3 çinko bulunmaktadır.

İçerisinde bakır ve alüminyum bulunan magnezyum alaşımlarının ısı iletimleri yüksektir. Isı iletkenliklerinin yüksek olmasının sebebi ile kullanımları fazladır. İki şekilde bu alaşımlar hazırlanır:

- Alaşım içerisinde alüminyum ve bakırın her ikisinin toplam oranı % 6'nın altında olanlar: Bu alaşımlar alüminyum alaşımları ile benzer yapıdadır. Fakat korozyona karşı dirençleri azdır.
- Bakır ve alüminyumun toplam oranı % 8-12 olan alaşımlar: Isıl iletkenlikleri yüksektir. Isı iletkenliklerinin fazla olmasından dolayı motor ekipmanlarında yoğun olarak kullanılmaktadır.

### **2.1.1.3.Döküm alaşımları**

Magnezyum alaşımlarının dökümü Mg-Al, Mg-Al-Zn alaşımları olarak iki grupta toplanabilir. Magnezyum içerisine alüminyum en fazla % 7-11 oranlarında ilave edilir. Kum kalıba döküm yönteminde, çekme dayanımı 16-17 kg/mm<sup>2</sup> ve uzama % 4 – 5'tir. Bu özellikler, tel çekme yöntemi ile yapılır ise çekme dayanımı 27-29 kg/mm<sup>2</sup> ve uzaması % 15 -18'e yükselir. Bu alaşımlar kullanım esnasında homojenleştirme işlemi yapılarak kullanılır (Tanrıverdi, 2005).

Günümüzde döküm yapılarak üretilen magnezyum alaşımları genellikle basınçlı kalıba döküm ile yapılmaktadır. Ardından kum kalıba döküm, hassas döküm, sürekli döküm gibi yöntemlerle de üretilmektedir. Son dönemlerde basınçlı kalıba döküm yöntemiyle yapılanlar da artış gözlenmektedir. (Tanrıverdi, 2005).

Magnezyumun döküm yapılması sırasında genelde ısı verilerek çelik malzeme bir potada eritme ile yapılır. Bu işlem yaygın olarak kullanılmaktadır. Sebebi ise magnezyumun normal döküm sıcaklıklarında çelik ile yavaş reaksiyona girmesindedir. Kalıptaki demir sıvı magnezyum alaşımı içinde daha az çözüldüğünden, alaşım kalıba yapışma eğilimi alüminyum alaşımlarına göre daha azdır. Buna bağlı olarak kalıp ömrü alüminyum parçalara kıyasla 2-3 kat daha fazladır. Ancak ergiyik magnezyum ve alaşımları havada oksitlenme ve yanma eğilimindedirler. Bu nedenle ergiyik magnezyum yüzeyleri hava ile oksidasyondan korunmalıdır. Bugün çoğu modern dökümhaneler, hava-kükürt hekzaflorit gaz karışımı (SF) şeklinde bir örtüsüz proses kullanmaktadır. Magnezyum ve alaşımlarının kum döküm yöntemiyle şekillendirilmesi

çok fazla sayıda alaşıma uygulanabilmekte ve çok değişken boyutlarda parça elde edilebilmektedir. Ancak yöntem, kalıp kumu ve ergiyik magnezyum metali arası reaksiyonlardan dolayı inhibitör kullanımını gerekli kılar. Yüksek adetlerde parça üretimi için uygunken, yüzey bitirme ve tolerans değerleri açısından çok iyi özellikler sağlanamaz (Tanrıverdi, 2005).

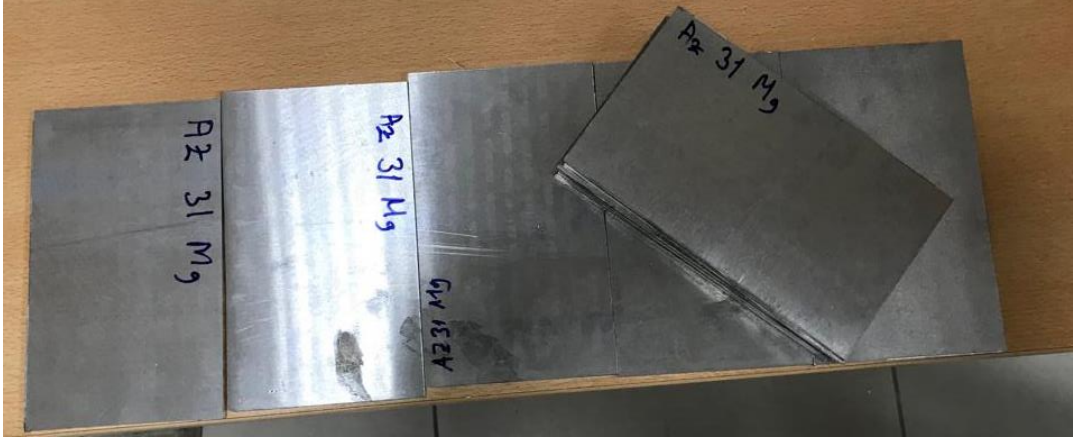


### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımının kuru ve kriyojenik işleme koşullarında delinmesi araştırılmıştır. Deneysel çalışmada da itme kuvveti, sıcaklık, takım aşınması, sertlik, yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş, talaşlar ise görüntülenmiştir.

#### 3.1. Deneylerde Kullanılan Malzeme

Deneylerde 10 mm kalınlığında AZ31B magnezyum alaşımı 900x600x10 mm boyutlarında temin edilerek önceden tasarlanmış ve üretilmiş olan yalıtkan kalıba bağlayabilmek için 100x170x10 mm boyutlarında kesilmiştir.



Şekil 3. 1. Deneylerde kullanılan AZ31B Magnezyum Alaşımı

AZ31'in kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de, mekanik özellikleri de Çizelge 3.3'de verilmiştir. (Matweb, 2018)

Çizelge 3. 1. AZ31'in Kimyasal Özellikleri

Element	Ağırlık %
Mg	96
Al	2.5-3.5
Zn	0.6-1.4
Mn	≥ 0.2
Si	≤ 0.1
Ca	≤ 0.04
Cu	≤ 0.05
Fe	≤ 0.005
Ni	≤ 0.005

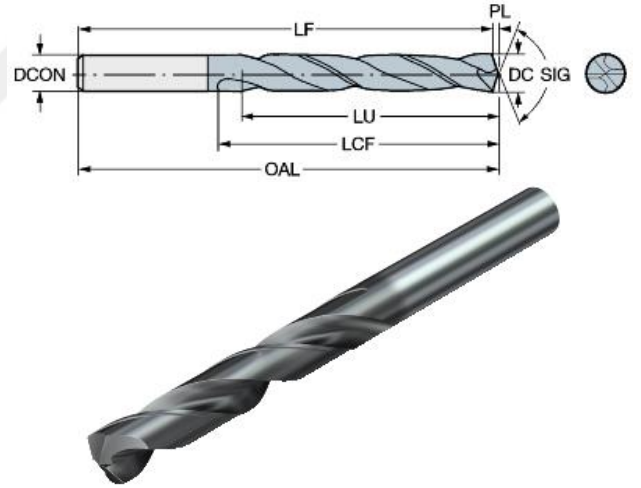
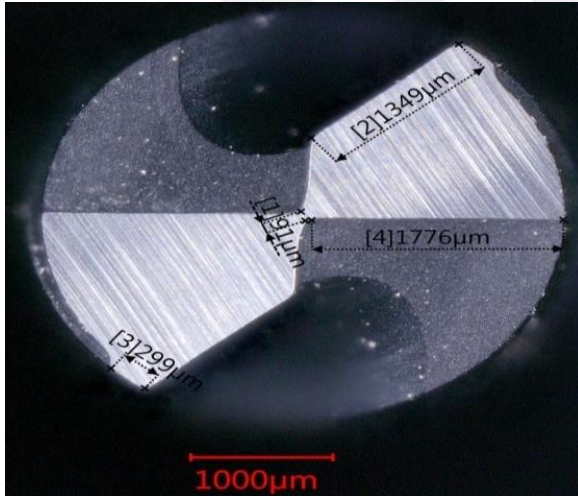


**Çizelge 3. 2.** AZ31'in mekanik özellikleri (Matweb, 2018)

Çekme dayanımı (MPa)	290
Akma dayanımı (MPa)	220
Uzama (%)	15
Brinell Sertliği (HB)	73
Yoğunluk (g/cc)	1.77
Erime noktası (°C)	605-630
Isı iletkenliği (W/m-K)	96

### 3.1.1. Deneylerde Kullanılan Kesici Takımlar

Deneylerde kesici takım olarak 4 mm çapında iki helisel ağızlı PVD (TiAlN) kaplı karbür matkaplar (Şekil 3.2) kullanılmıştır. Matkaba ait geometrik bilgiler Çizelge 3.4'de verilmiştir.



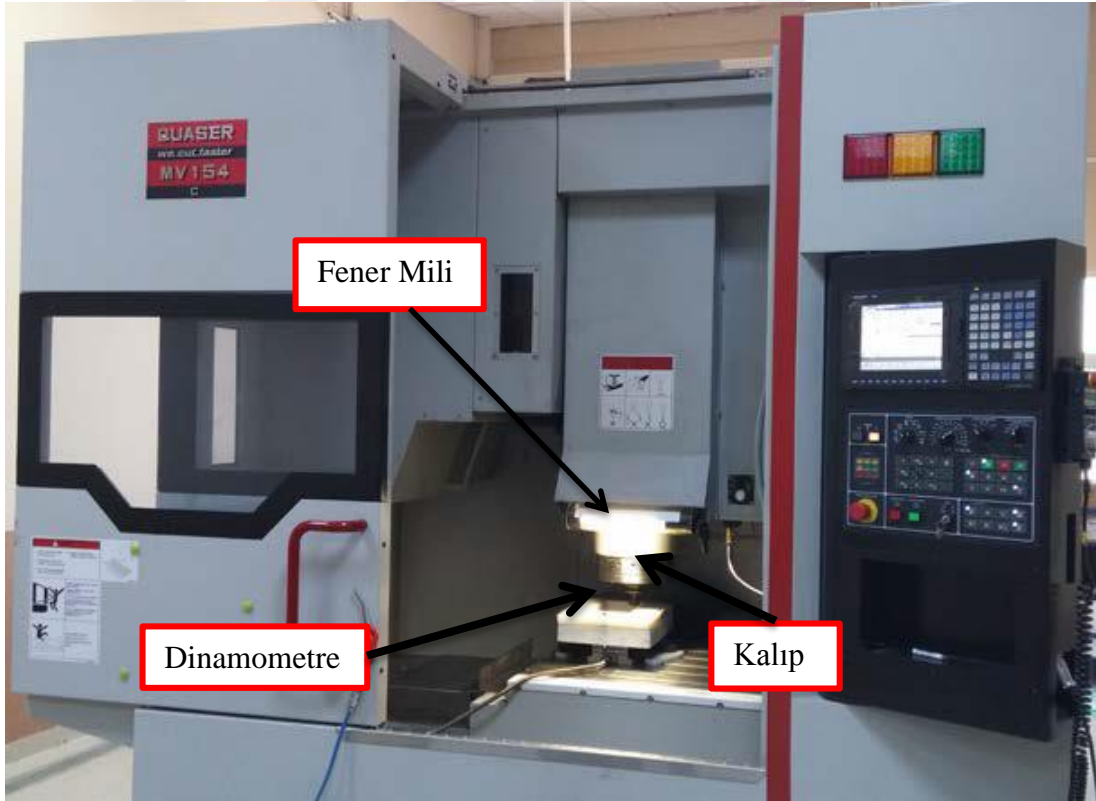
**Şekil 3. 2.** Deneylerde kullanılan matkap ve kesici takım ölçüleri

**Çizelge 3. 3.** Matkap geometrik bilgileri

Kesme Çapı (DC)	4 mm
Bağlantı Çapı (DCON)	6 mm
Kullanılabilir uzunluk (LU)	12.6 mm
Kaplama	PVD (TiAl)N
Uç açısı (SIG)	140°
Helis boyu (LCF)	24 mm
Toplam Uzunluk (OAL)	66 mm

### 3.1.2. Deney Düzenegi ve Parametreleri

Deneyler Şekil 3.3’de görülen en fazla 17.5 kW güce ve 10000 dev/dk fener hızına sahip Quaser mv154v dik işlemede yapılmıştır. Kriyojenik ortamda deneyleri yapabilmek için yalıtkan bir kalıp tasarımı yapıp üretildikten sonra kullanılmıştır. Kesme kuvvetlerini ölçmek için tezgaha kuvvet dinamometresi bağlanmıştır. (Morkavuk, 2016) Her bir deney serisi yeni matkap kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Takım ömrü deneylerinde de yeni matkaplar kullanılarak deneyler yapılmıştır.



**Şekil 3. 3.** Deneyleri yapıldığı dik işleme merkezi

Deneylerde kullanılan kesme hızı ve ilerleme hızlarına dair bilgileri Çizelge 3.5’de verilmiştir.

**Çizelge 3. 4.** Deneyde kullanılan kesme parametre değerleri

Deney No	Kesme parametreleri	
	Kesme Hızı	İlerleme Hızı
1	40 m/dk	0.1 mm/dev
2		0.15 mm/dev
3		0.20 mm/dev
4		0.25 mm/dev
5	120 m/dk	0.1 mm/dev
6		0.15 mm/dev
7		0.20 mm/dev
8		0.25 mm/dev
9	40 m/dk	0.1 mm/dev
10		0.15 mm/dev
11		0.20 mm/dev
12		0.25 mm/dev
13	120 m/dk	0.1 mm/dev
14		0.15 mm/dev
15		0.20 mm/dev
16		0.25 mm/dev

Kuru kesme koşullarda yapılan işleme esnasında herhangi bir soğutucu kullanılmamıştır. Kriyojenik işleme ile kuru işleme arasında fark oluşmaması için aynı kalıp üzerinde delme testleri yapılmıştır. Delme testleri esnasında alınan görüntü Şekil 3.4’de yer almaktadır.



**Şekil 3. 4.**DeneySEL düzenek

Kriyonejik ortamda gerçekleştirilen testlerde yalıtkan işleme esnasında kalıp içerisine yerleştirilen AZ31 magnezyum alaşımı üzerine delme işlemi başlamadan önce -196 °C derecedeki sıvı nitrojen dökülmüş ve deney esnasında buharlaşması sebebiyle sürekli sıvı nitrojen (LN<sub>2</sub>) dökülmüştür. Her deney öncesinde numune tamamen nitrojen ile doldurulmuştur. Şekil 3.5’de sıvı nitrojenin depo edildiği basınçsız tankın resmi yer almaktadır.



Şekil 3. 5.Sıvı nitrojen tankı

### 3.1.3.Ölçümler

Deneyle anında itme kuvveti, sıcaklık, deneylerden sonra ise talaş, yüzey topografyası, çapak, delik içi sertlikler ölçülmüştür. Ölçümler şu şekilde yapılmıştır;

Kuvvet ölçümleri Kistler 9257B tipi kuvvet dinamometresi ile yapılmıştır (Şekil 3.6). Dinamometre CNC işleme merkezinin tablasına bağlanmıştır. Dinamometre üzerine yalıtkan kalıp montaj edilmiştir. Yalıtkan kalıp içerisine magnezyum alaşımı bağlanmıştır.



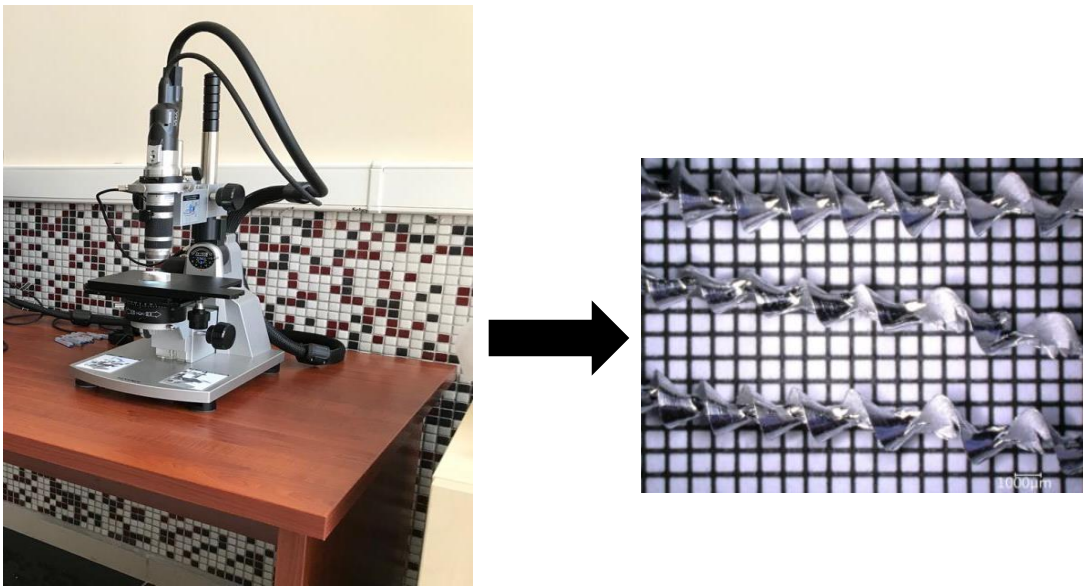
Şekil 3. 6.Kistler 9257B tipi kuvvet dinamometresi

Kuru kesme koşullarında yapılan testlerde termal kamera ile sıcaklık ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.7). Kriyojenik ortam da yapılan testlerde ise ortam  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu için sıcaklık ölçümleri yapılmamıştır.



Şekil 3. 7.Termal kamera ile sıcaklık ölçümleri

Her bir deney serisinde oluşan talaşlar toplanarak dijital mikroskop ile görüntülenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3. 8.Dijital mikroskop ve alınan talaş görüntüsü



Hem kuru hem de kriyojenik ortamda yapılan testlerde delik çıkışı dijital mikroskop ile görüntülenmiştir (Şekil 3.9). Ayrıca matkapta meydana gelen aşınma da dijital mikroskop ile görüntülenmiştir. Takım aşınması incelenmesi 120. 240. ve 360. delikler delindikten sonra dijital mikroskopta görüntüleri alınarak incelenmiştir (Şekil 3.10).

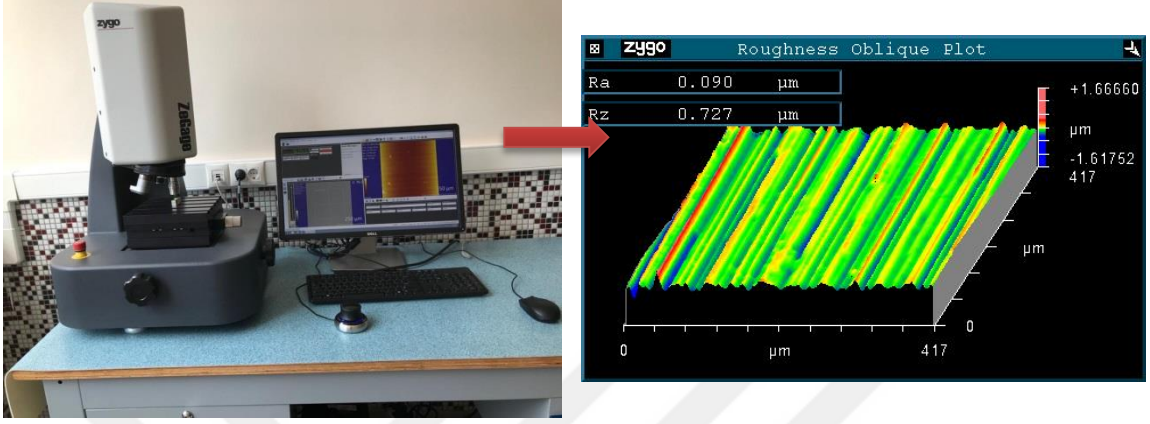


Şekil 3. 9. Dijital mikroskop ile delik çıkış görüntülemesi



Şekil 3. 10. Dijital mikroskop ile takım aşınması ölçümü

Numuneler ortalarından 2 ye kesilerek delik içi yüzey przllg ölçümü ve yüzey topoğrafyası lm Zygo ZeGage optik profilometre yardımıyla gerçekleştirilmiştir (şekil 3.11).



**şekil 3. 11.** Yüzey przllg ve topografya lm

Deneyler sonrası delikler ikiye bölünmüş olup deliklerden sertlik ölçümleri alınmıştır. Ölçümler Bulut makine Digirock sertlik ölçüm cihazı ile yumuşak metallerin ölçümünde kullanılan Rockwell F skalası (HRF) metodu ile belirlenmiştir (şekil 3.12). Her delik için üç ölçüm yapılarak ortalamaları alınmıştır.





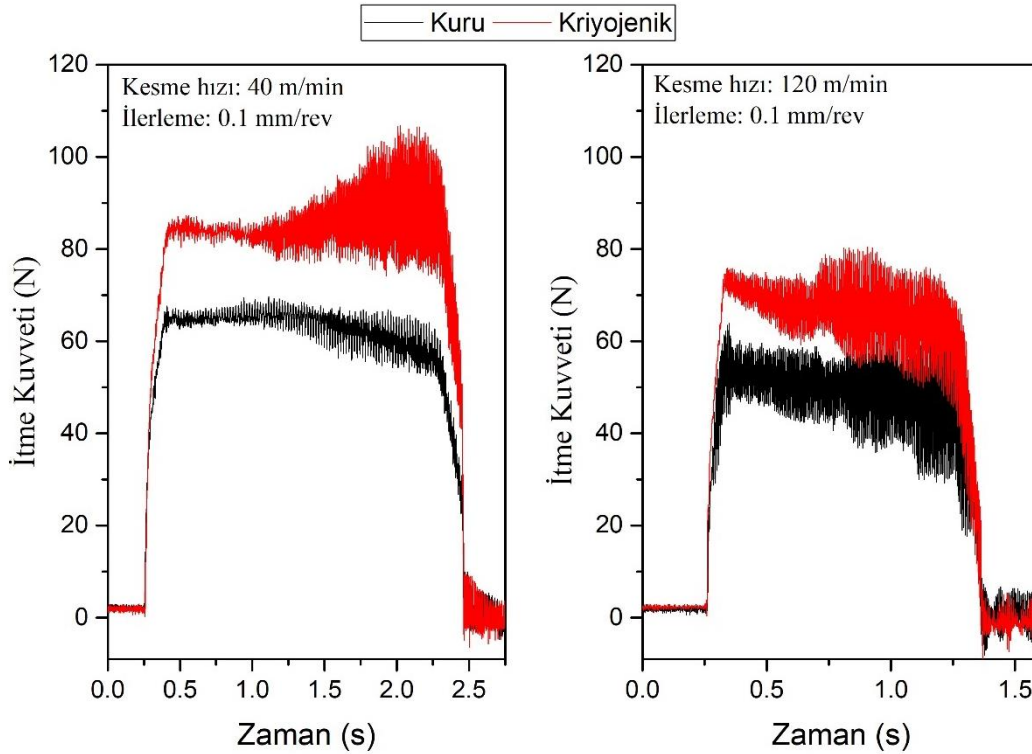
Şekil 3. 12. Sertlik ölçüm cihazı

## 4. BULGULAR

Deneyler anında itme kuvveti, sıcaklık, deneylerden sonra ise talaş, yüzey topografyası, çapak, sertlikler ölçülmüştür. Takım ömrü deneyleri kuru ve kriyojenik şartlarda 80 m/dk kesme hızında 500 ve 1000 mm/dk da ilerleme hızlarında yapılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki başlıklar altında tek tek ele alınmıştır.

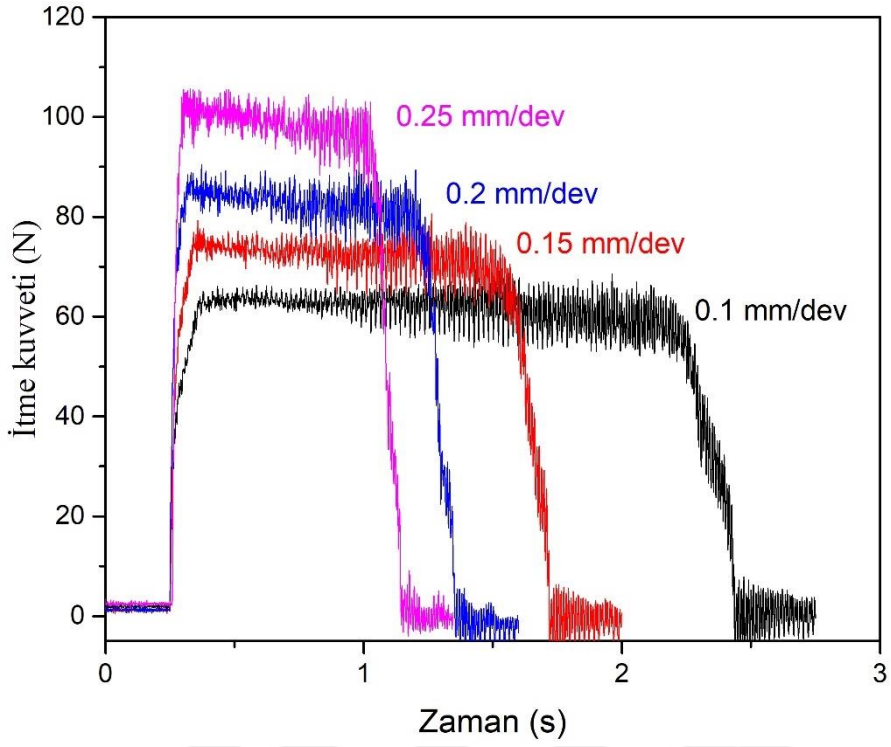
### 4.1. İtme Kuvveti

Delik delme esnasında testlerinde oluşan itme kuvvetleri Kistler 9257B tipi dinamometre yardımıyla ölçülerek bilgisayar ortamında analizleri yapılmıştır. Kesme hızı değişiminin itme kuvvetine etkisi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Grafikten de açıkça görüldüğü gibi kesme hızının artışı ile itme kuvveti azalmaktadır. Ayrıca şekilden de görüldüğü gibi kuru kesme şartlarında kriyojenik şartlar altında gerçekleştirilen testlerden daha az itme kuvveti oluşmuştur.



Şekil 4. 1. Kesme hızının itme kuvvetine etkisi

Şekil 4.2’de ilerleme miktarı değişiminin itme kuvvetine etkisi verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ilerleme miktarı arttıkça daha fazla itme kuvveti oluşmaktadır.



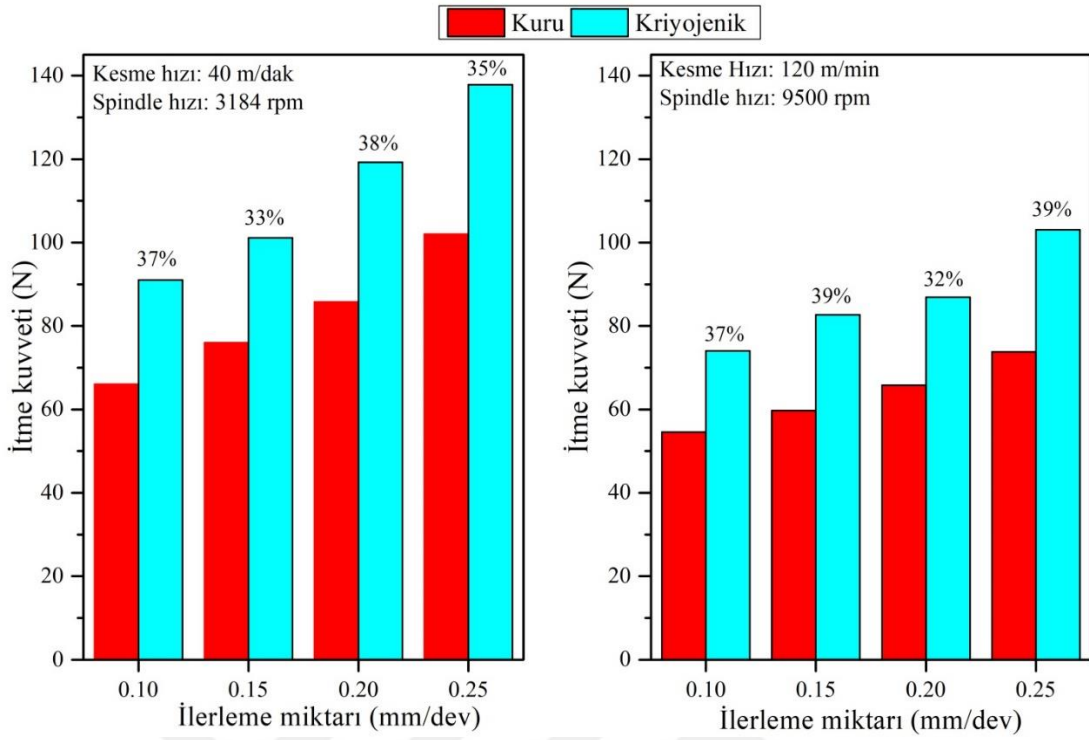
Şekil 4. 2.İlerleme değişiminin itme kuvvetine etkisi

Çizelge 4.1’de deneysel tasarım parametreleri çerçevesinde yapılan testler neticesinde ölçülen tüm itme kuvveti değerleri, kuvvet verilerinin zamana göre değişimini gösteren grafikler ise Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Her bir deney serisi 3 tekrarlı olacak şekilde yapılarak verilerin aritmetik ortalaması alınmıştır.

**Çizelge 4. 1.** İtme Kuvvetleri Dataları

Deney No	Kesme hızı		İlerleme miktarı	İtme kuvveti (N)
1	Kuru	40 m/dk	0.1 mm/dev	66.08
2			0.15 mm/dev	75.99
3			0.20 mm/dev	85.77
4			0.25 mm/dev	102
5		120 m/dk	0.1 mm/dev	54.57
6			0.15 mm/dev	59.69
7			0.20 mm/dev	65.83
8			0.25 mm/dev	73.82
9	Kriyojenik	40 m/dk	0.15 mm/dev	91.05
10			0.20 mm/dev	101.1
11			0.25 mm/dev	119.2
12			0.1 mm/dev	137.8
13		120 m/dk	0.10 mm/dev	74.05
14			0.15 mm/dev	82.69
15			0.20 mm/dev	86.93
16			0.20 mm/dev	103.1

Şekil 4.3'de de görüldüğü gibi kesme hızının artışı ile itme kuvveti yaklaşık %23 azalmaktadır. Ayrıca, delme testleri kriyojenik ortamda yapılmasıyla kuru kesmeye nazaran %32 - %39 arasında itme kuvvetlerini artırmaktadır. İlerleme miktarının artması itme kuvvetini artırmaktadır. İlerleme miktarının itme kuvvetlerinin üzerindeki etkisinin kesme hızına göre daha fazladır. Kriyojenik ve kuru ortamda yapılan delme prosesleri kıyaslandığında ise kriyojenik ortamda kuru ortama göre itme kuvvet değerlerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Kriyojenik şartlarda yapılan testlerde daha fazla kuvvet oluşmasının sebebi malzemenin gevrekleşerek mukavemetinde artış olduğundandır.



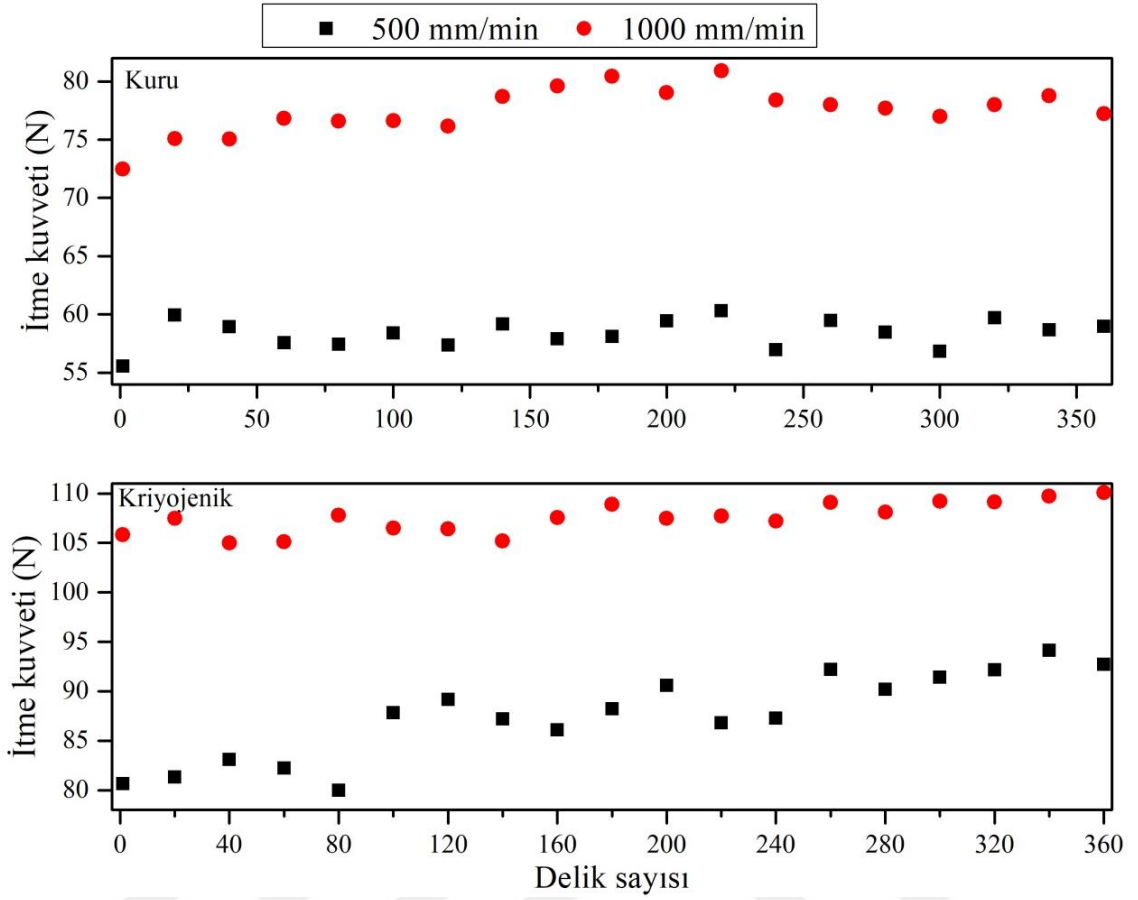
Şekil 4. 3. İlerleme miktarına ve kesme hızı değişiminin itme kuvvetine etkisi

Sabit 80 m/dk kesme hızı ile AZ31 magnezyum plaka ya 360 delik açılarak her yirmi delikte bir itme kuvveti ölçülmüştür. Bu deney serisi hem kuru hem de kriyojenik kesme şartlarında 500 ve 1000 mm/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Deneylerden elde edilen itme kuvveti verileri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu verilerden elde edilen grafik ise Şekil 4.4’de verilmiştir.

**Çizelge 4. 2.** Takım aşınması deneylerinde oluşan itme kuvvetleri

Delik sayısı	Kuru		Kriyojenik	
	500 mm/dk	1000 mm/dk	500 mm/dk	1000 mm/dk
	İtme kuvveti (N)			
1	55.58	72.48	80.65	105.84
20	59.96	75.1	81.33	107.5
40	58.93	75.04	83.11	105
60	57.57	76.83	82.21	105.1
80	57.43	76.6	79.98	107.8
100	58.42	76.61	87.84	106.5
120	57.38	76.14	89.15	106.43
140	59.19	78.7	87.19	105.18
160	57.9	79.6	86.11	107.55
180	58.12	80.44	88.24	108.9
200	59.44	79.04	90.59	107.5
220	60.3	80.9	86.8	107.7
240	56.96	78.41	87.29	107.22
260	59.48	78	92.21	109.1
280	58.47	77.69	90.2	108.1
300	56.84	76.99	91.42	109.22
320	59.72	77.99	92.18	109.12
340	58.69	78.75	94.14	109.74
360	58.98	77.22	92.7	110.1

Şekil 4.4'deki grafikte görüldüğü gibi hem kuru hem de kriyojenik şartlarda 500 mm/dk ilerleme miktarında 1000 mm/dk ilerleme miktarından daha az itme kuvveti oluşmaktadır. Kriyojenik kesme koşullarından yapılan testlerde kuru kesme şartlarından daha fazla itme kuvveti oluşmaktadır. Delik sayısı artışı ile itme kuvvetinde ciddi bir artış olmamıştır. Delik sayısı artması ile itme kuvvetinin hızlı sebebi: kesici takımın karbür olması ve malzemenin aşındırıcı özelliğinin yüksek olmadığından kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 4. 4. Delik sayısı değişiminin itme kuvvetine etkisi

## 4.2.Sıcaklık Ölçüm Sonuçları

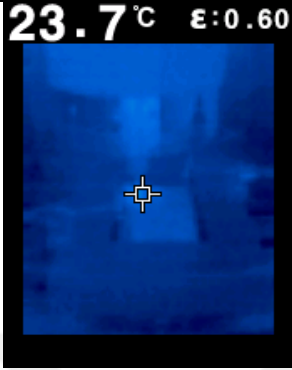
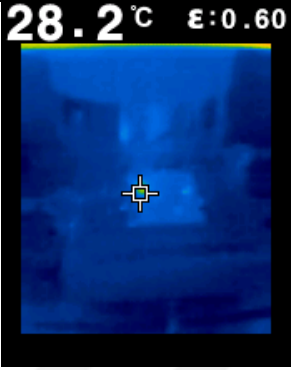
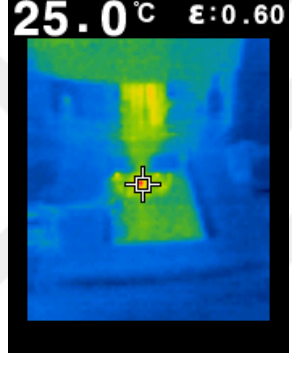
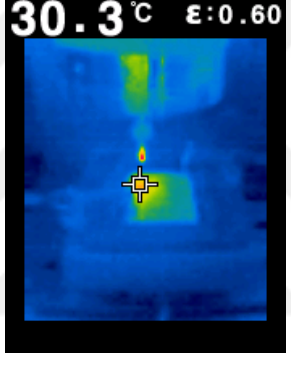
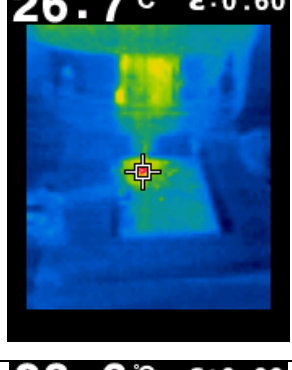
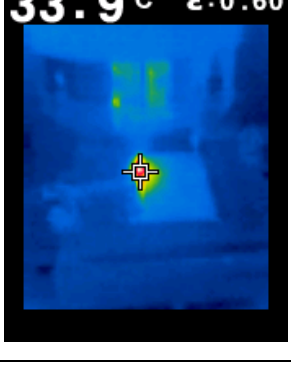
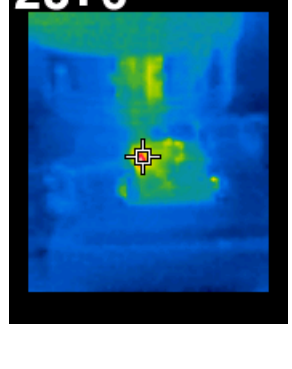

Kesme anında oluşan sıcaklık termal kamera ile ölçülmüştür. Kriyojenik şartlar altında yapılan delme testlerinde sıvı nitrojenin  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu için sıcaklık ölçümü yapılmamıştır. Kriyojenik koşullarda, buharlaşan nitrojen yerine sürekli kalıba  $\text{LN}_2$  takviye yapıldığı için kesme işlemi sürekli kriyojenik sıvı ile dolu bir havuzda yapıldığı bu sebeple kesme sırasında sıcaklığın  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğu kabul edilmiştir. Kuru koşullarda kesme anında, takım ve malzeme sıcaklıkları termal kamera ile görüntülenmiş olup özellikle takım üzerindeki sıcaklık değişimine odaklanılmıştır. Kesme bölgesinde oluşan ısı talaş, malzeme ve takım tarafından kesme bölgesinden uzaklaştırılır. Isının uzaklaştırılmasında en büyük görevi talaş üstlense de takım ve malzeme de iletim yoluyla kesme bölgesinde oluşan ısıyı uzaklaştırmaya yardımcı olur. Takım üzerinde ölçülen sıcaklık değeri bu sebeple düşük değerlerde olup kesme bölgesi sıcaklığının gerçek değerinden daha düşük sıcaklık değerleri gösterir. Çizelge 4.3 incelendiğinde, ilerleme hızının  $0.1\text{ mm/devir}$ den  $0.25\text{ mm/devire}$  artmasıyla, ölçülen sıcaklık değerinin

% 20.7 arttığı görülmüştür. Buna ek olarak kesme hızındaki bir artışın da (40 m/dk 'dan 120 m/dk'ya) sıcaklığı % 19 oranda artığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.4 incelendiğinde ise 500 mm/dk ve 1000 mm/dk ilerleme hızlarında yapılan takım aşınması testlerinde ise delik sayısındaki artışa bağlı olarak sıcaklık değerinin yaklaşık olarak % 13 arttığı gözlemlenmiştir. Tablodan da anlaşılacağı üzere değerlerden anlaşılacağı üzere ilerleme hızındaki artışın kesme hızına göre sıcaklık değerini daha fazla arttırdığı görülmektedir. Malzeme üzerinde takım hızı aynı iken artan ilerleme hızına bağlı olarak zaman içerisinde malzeme yüzeyinden kaldırılan talaş miktarının artmasıyla ısı değeri artışı daha fazla olduğu görülmektedir.



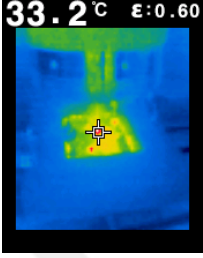
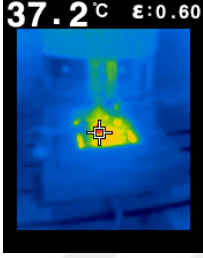
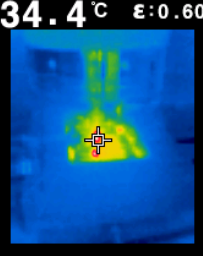



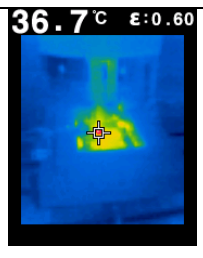
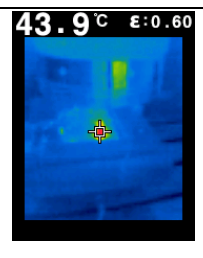
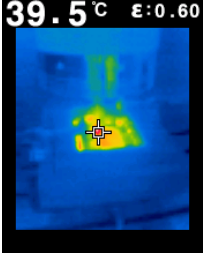
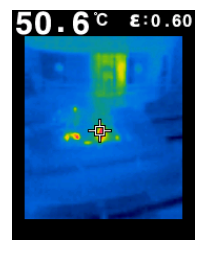


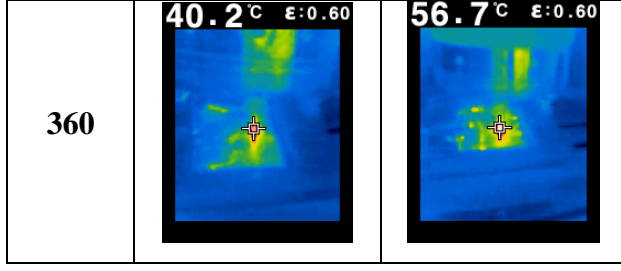
Çizelge 4. 3. İlerleme hızı ve kesme hızı değişiminin sıcaklığa etkisi

İlerleme hızı (mm/dev)	40 m/dk	120 m/dk
0.1		
0.15		
0.2		
0.25		

Çizelge 4.4 de kuru kesme koşullarında yapılan aşınma testlerinde delik sayısı değişiminin sıcaklığa etkisi verilmiştir. Her 60 delikte bir sıcaklık ölçülmüştür. Delik sayısı arttıkça oluşan sıcaklıkta artmıştır. Sıcaklığın artmasının temel sebebi takımda meydana gelen aşınmadır.

**Çizelge 4.4.** Delik sayısı değişiminin sıcaklığa etkisi

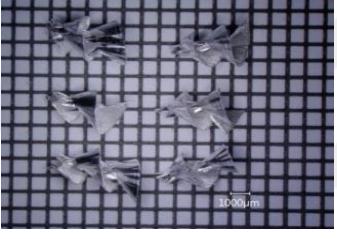

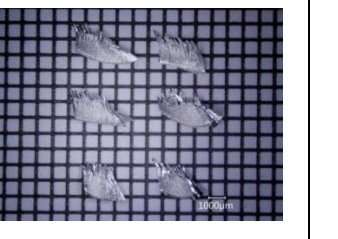
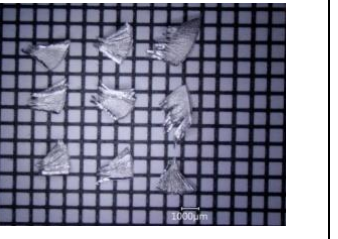
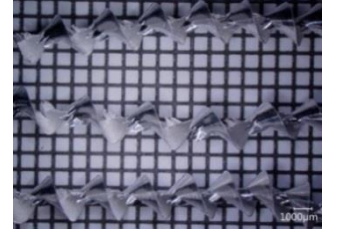

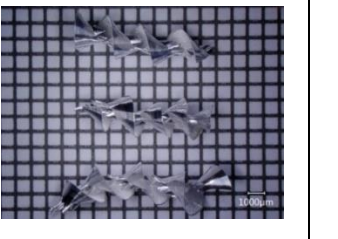

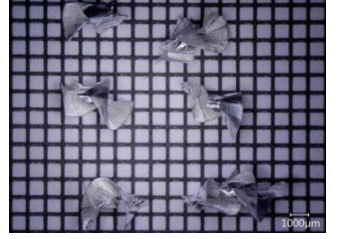

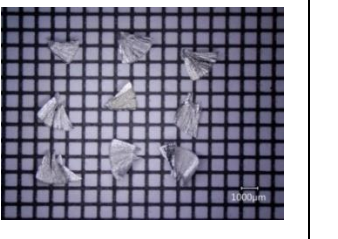


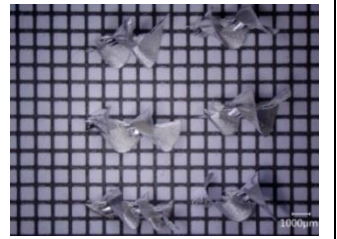
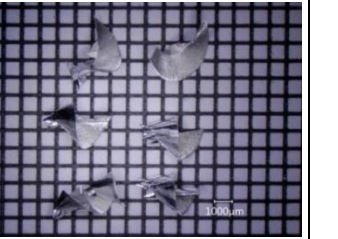
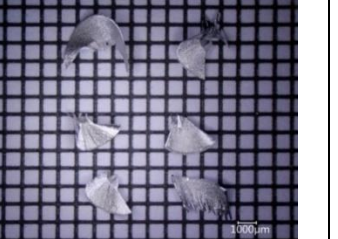
Delik Sayısı	Kuru	
	500 mm/dk	1000 mm/dk
60	33.2 °C ε:0.60 	37.2 °C ε:0.60 
120	34.4 °C ε:0.60 	39.1 °C ε:0.60 
180	35.4 °C ε:0.60 	40.2 °C ε:0.60 
240	36.7 °C ε:0.60 	43.9 °C ε:0.60 
300	39.5 °C ε:0.60 	50.6 °C ε:0.60 



### 4.3. Talaş morfolojisi

Yapılan deneyler sonucunda oluşan talaşlar her bir kesme parametresi için toplanmıştır. Toplanan talaşlardan geneli temsil edecek şekilde numuneler seçilerek dijital mikroskop ile görüntülenmiştir. Görüntülenen talaşlar çizelge halinde Çizelge 4.5'te sunulmuştur. Kesme hızının artışı ile kuru ve kriyojenik ortamda talaşlar daha uzun şekilde oluşmaktadır. İlerleme miktarının artması ile her iki kesme durumunda da talaşlar daha kısa oluşmaktadır. Literatürde her ne kadar magnezyum alaşımının yüksek kesme hızlarında tutuşma eğiliminde olduğu bahsedilse 'de, yapılan çalışmada böyle bir durum gözlemlenmemiştir. Bu durum oluşan talaşların büyük boyutlarda olmasıyla açıklanabilir. Daha küçük boyutta oluşan talaşların özellikle de toz formunda olanların tutuşma eğilimi gösterdiği söylenebilir. Ek olarak kriyojenik ortamda yapılan deneylerden elde edilen talaşlar kuru kesmeye nazaran daha kısadır. Kuru ortamda elde edilen talaşların daha uzun olmasının sebebi ise malzemenin sünek kırılmasından kaynaklanmaktadır.


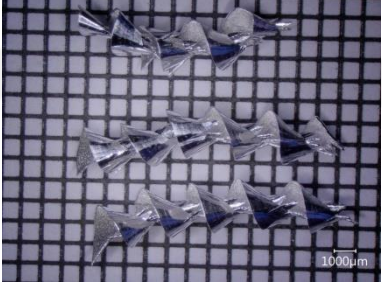
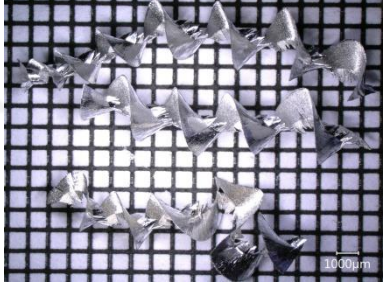
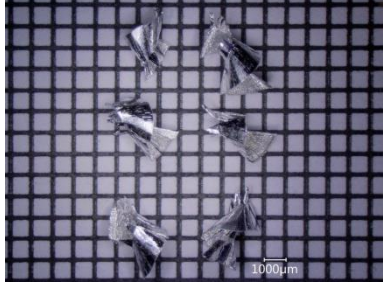
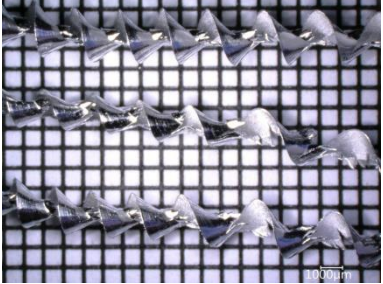
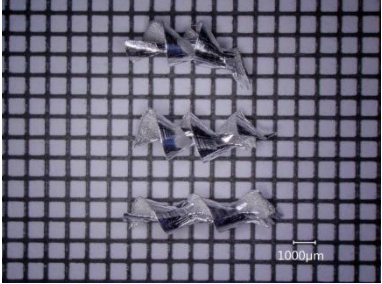
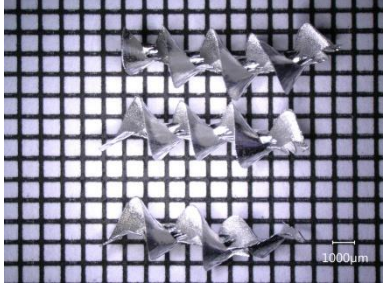
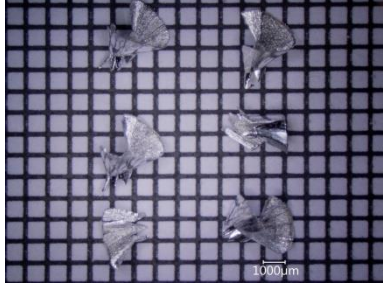
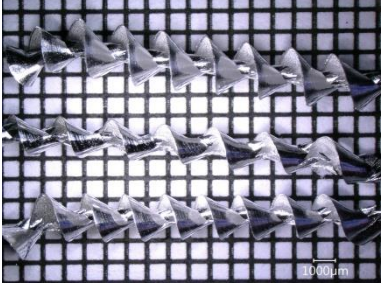
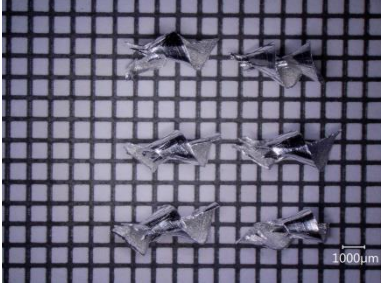
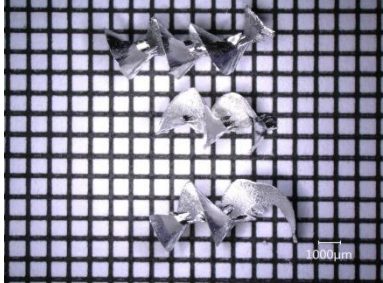

Çizelge 4. 5.Farklı ilerleme ve kesme hızlarında oluşan talaşlar

		0.1 mm/dev	0.15 mm/dev	0.20 mm/dev	0.25 mm/dev
<b>Kuru</b>	<b>40 m/dk</b>				
	<b>120 m/dk</b>				
<b>Kriyojenik</b>	<b>40 m/dk</b>				
	<b>120 m/dk</b>				

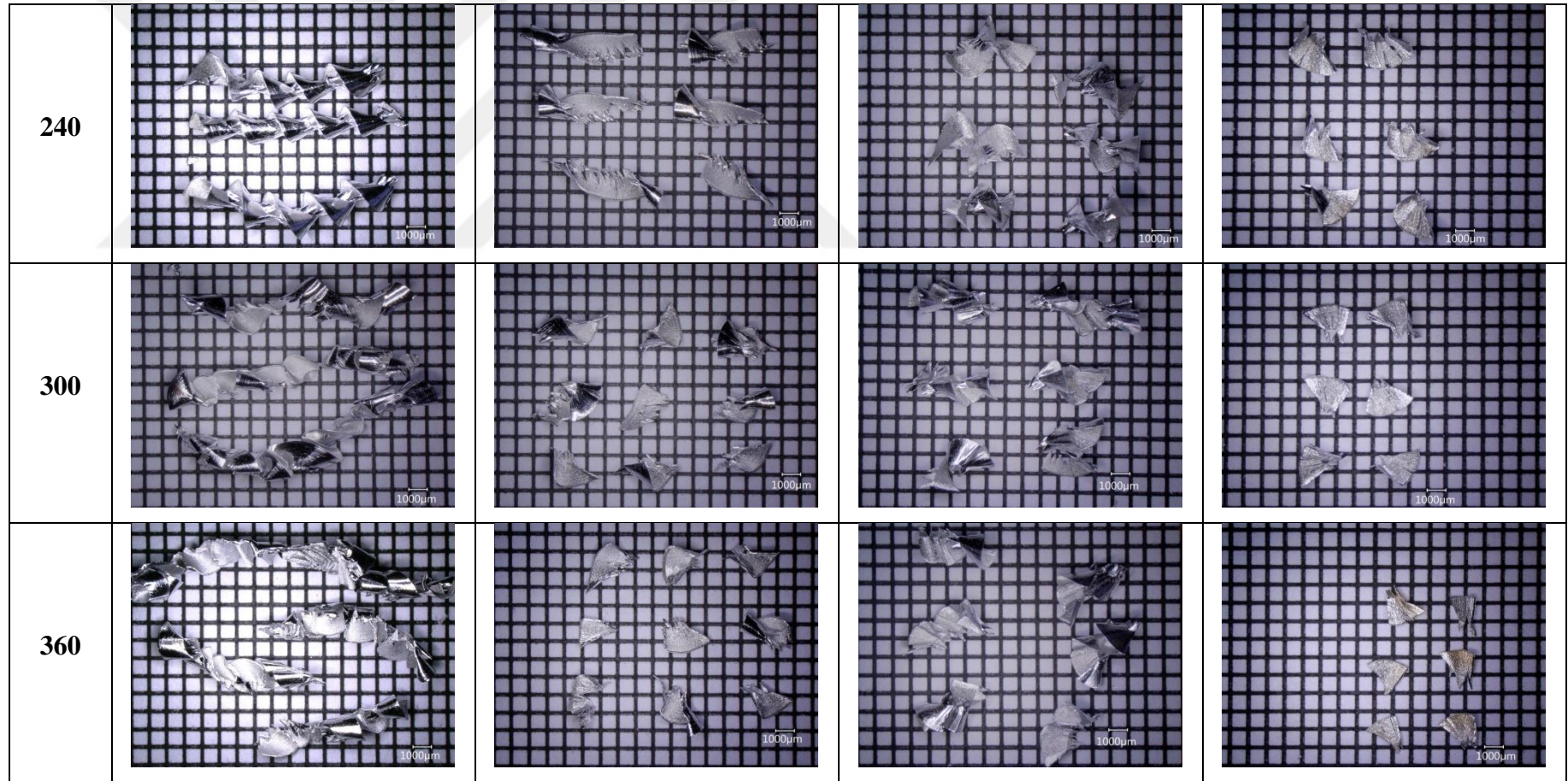
Sabit kesme hızı ile (80 m/dk) AZ31 magnezyum plaka ya 360 delik açılarak her 60 delikte bir oluşan talaşlar toplanmıştır. Bu deney serisi hem kuru hem de kriyojenik kesme şartlarında 500 ve 1000 mm/dk ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonrasında oluşan talaşlar kategorize edilerek Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6'ya bakıldığında ilerleme hızının artışı ile birlikte kuru ve kriyojenik ortamdaki delme sonucunda talaş boylarının kısaldığı görülmektedir. Kriyojenik şartlarda yapılan testlerde kuru kesmeye nazaran daha kısa talaşlar oluşmaktadır. Bunun sebebi ise kriyojenik ortamda yapılan testlerde malzeme daha sert bir yapıya dönüştüğü için sünek davranış yerine gevrek davranış göstermesidir. Literatürde, malzemelerin sıcaklıkları düştükçe elastiklik modülünün ve çekme dayanımının arttığı ancak buna karşılık sünekliğinin de azaldığı vurgulanmaktadır. Dolayısı ile malzeme yüzeyinden kopan talaşlar gevrek yapıda olması sebebiyle kısa boylarda kopmuştur. Bu durumun ise talaş kaldırma işlemini kolaylaştırdığı söylenebilir. Kısa talaş oluşumunu aynı zamanda yığıntı talaş oluşumunu da azalttığı için takım aşınmasına ve yüzey kalitesine de olumlu yönde katkı sunmuştur.



Çizelge 4. 6. Delik sayısı artışının talaş oluşumuna etkisi

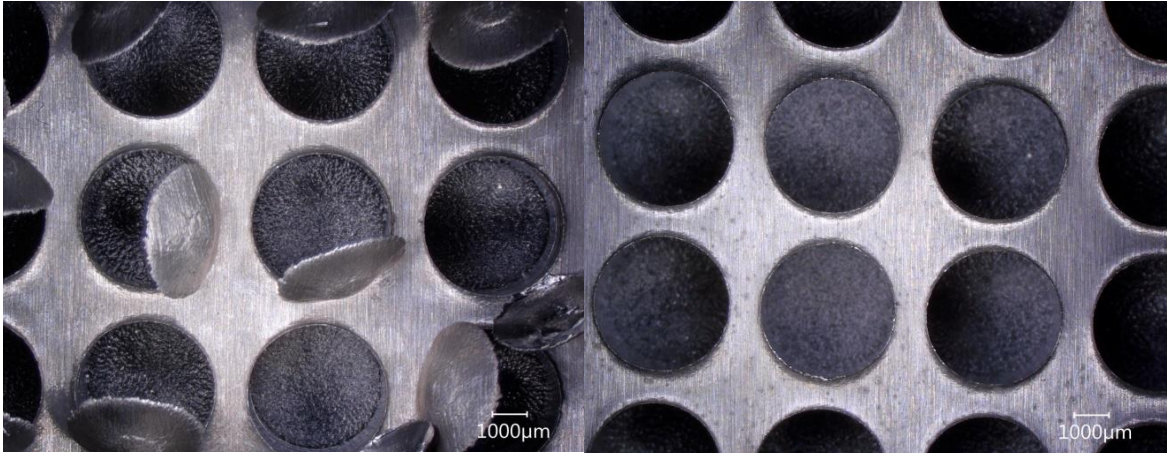
Delik Sayısı	Kuru		Kriyojenik	
	500 mm/dk	1000 mm/dk	500 mm/dk	1000 mm/dk
60				
120				
180				





#### 4.4. Delik çıkışının görüntülenmesi

Delik çıkışlarında oluşan çapaklar da delme prosesinde karşışaşım olumsuz bir faktördür. Delik çıkışlarında çapak oluşumu da delme prosesinde olumsuz bir faktördür. Aşğıda kuru ve kriyojenik şartlar altında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen delik çıkışları görüntülenmiştir. Fotoğraflardan açıkça görüldüğü üzere kuru kesme şartlarında malzeme sünek bir davranış gösterdiği için delik çıkışlarında çapaklar kopmayarak iş parçasına asılı halde kalmışlardır. Kriyojenik şartlarda yapılan deneylerde ise delik çıkışlarında neredeyse hiç çapak oluşmamıştır. Kriyojenik ortamda yapılan testlerde delik çıkışında çapak oluşmamasının sebebi sıvı nitrojenin malzeme sıcaklığını düşürerek gevreklettiği için talaş kaldırma sünek modda gerçekleşmiştir. Kriyojenikte çapak oluşmamasının sebebi sıvı nitrojenin malzeme sıcaklığını düşürerek mukavemetini artırıp gevreklettiği için talaş kaldırma her ne kadar daha yüksek kuvvetler oluşsa da daha kolay olmuştur. Seri imalatta oluşan olarak çapakları temizlemek için 2. Operasyon için ekstra zaman ve maliyet oluşturmaktadır.



( a )


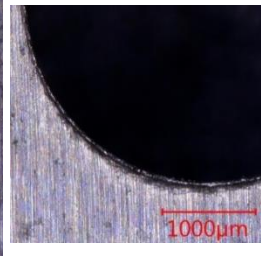
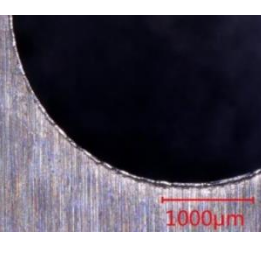
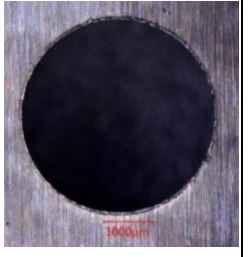

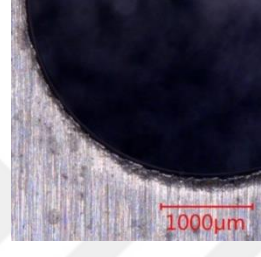
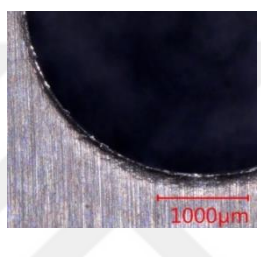
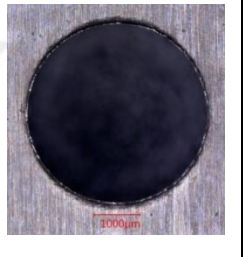

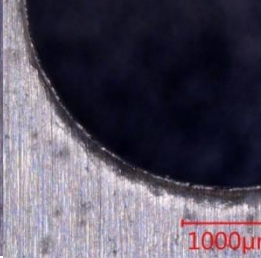
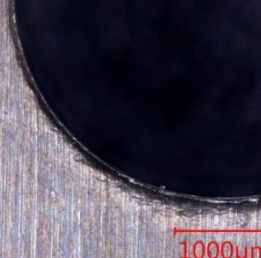


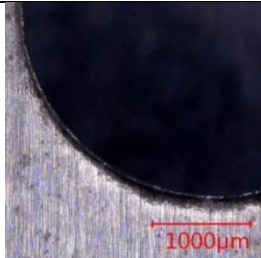
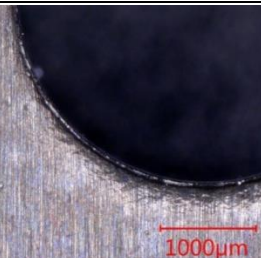


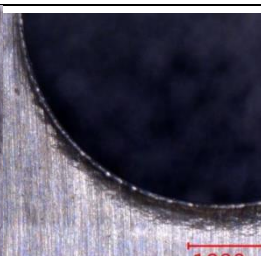
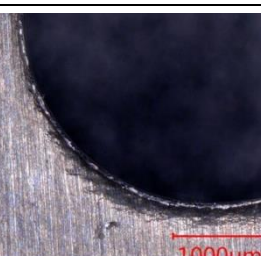
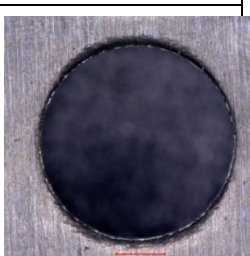
( b )


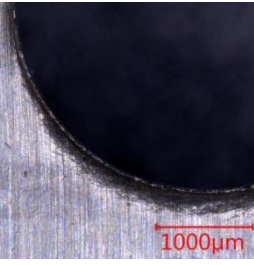
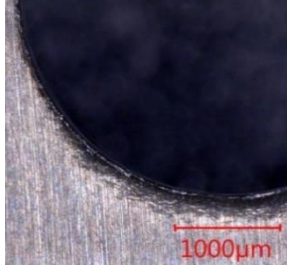


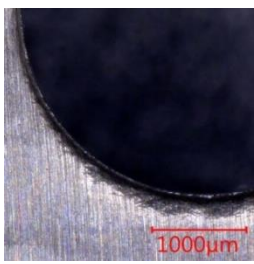
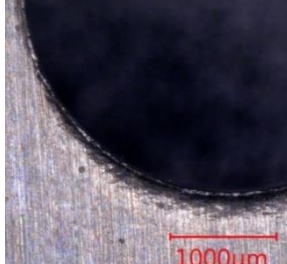




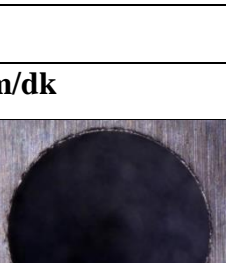
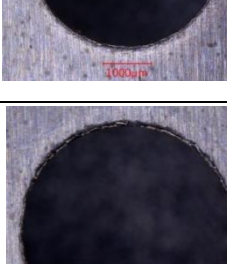

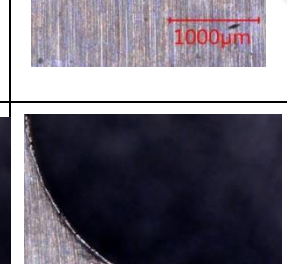

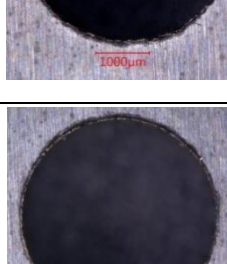
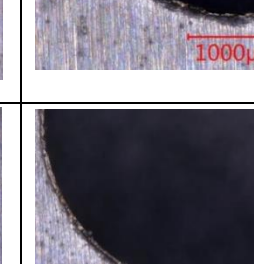
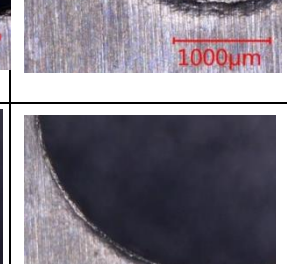
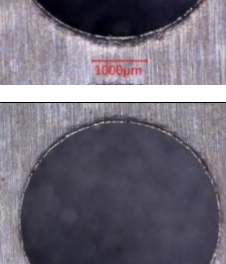

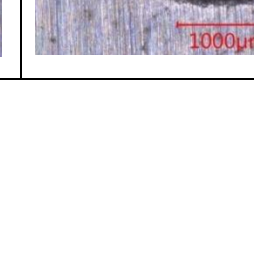
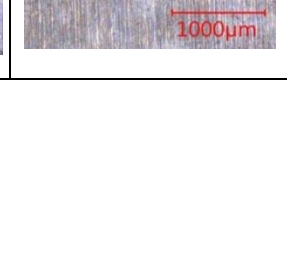
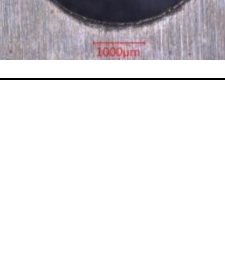

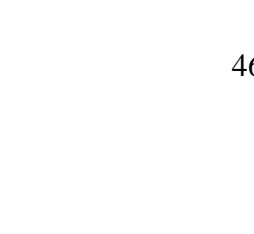


Şekil 4. 5. Delik çıkışlarında makroskopi boyutta çapak oluşumu (a) kuru delme, (b) kriyojenik koşullarda delme

Yapılan deneyler sonucunda dijital mikroskop ile farklı ilerleme hızlarında hem kuru hem de kriyojenik koşullardaki deliklerin görüntüleri Çizelge 4.7’da verilmiştir. 500 ve 1000 mm/dk ilerleme hızlarında delik sayısı artışı ile delik çıkış görüntüleri şekil 4.6’da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere delik kenarlarında oluşan burr da kayda değer bir farklılık gözlemlenmemiştir. Kuru ve kriyojenik şartlar altında yapılan testlerde her 60 delik te bir delik çıkışı görüntülenmiştir.

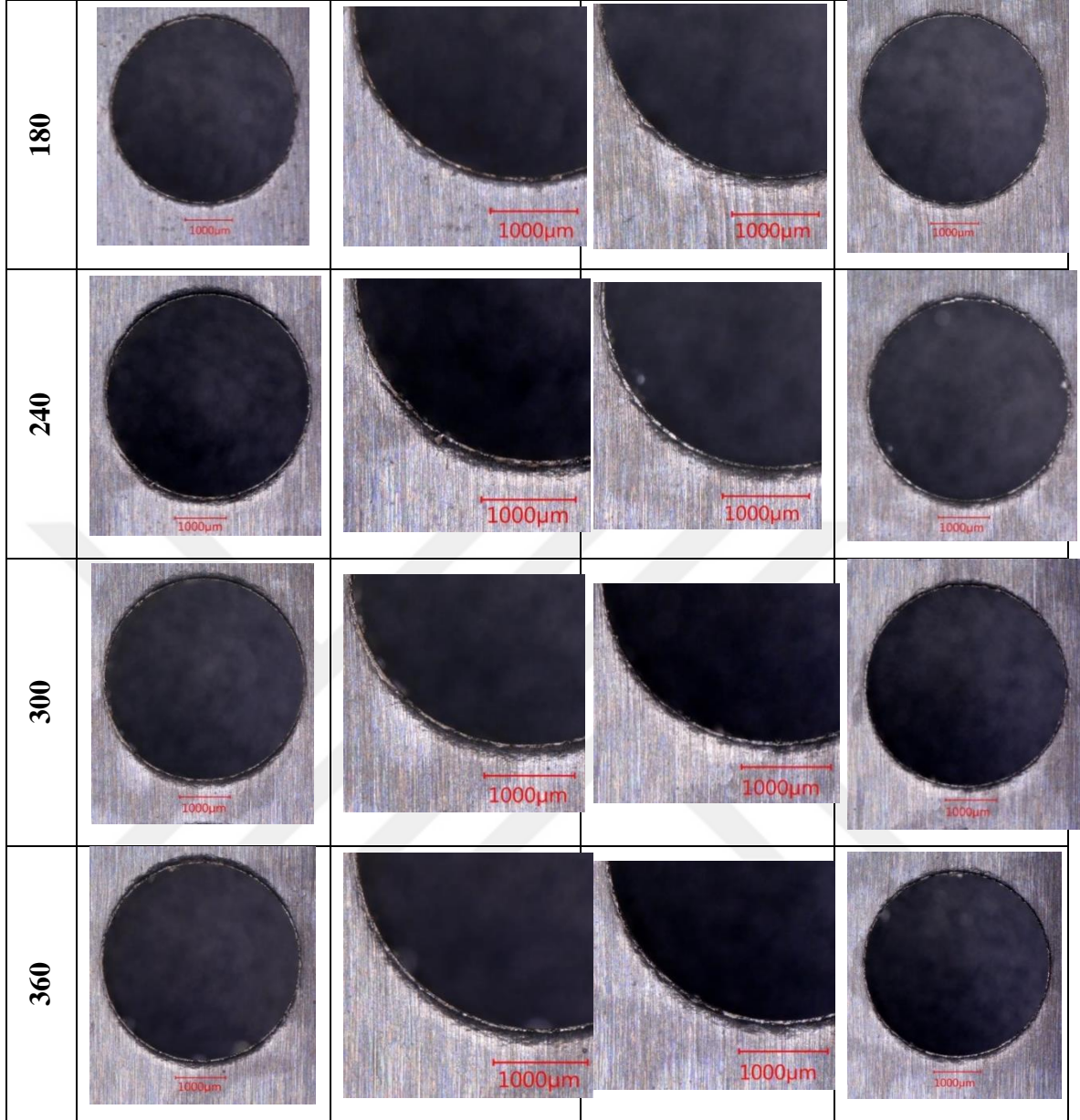


Çizelge 4. 7.Delik çıkış görüntüleri

Delik Sayısı	Kuru			
	500 mm/dk		1000 mm/dk	
1				
60				
120				
180				
240				

300				
				
360				
				
Delik sayısı	<b>Kriyojenik</b>			
	<b>500 mm/dk</b>		<b>1000 mm/dk</b>	
1				
				
60				
120				



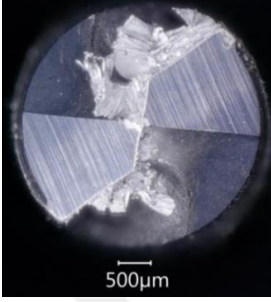
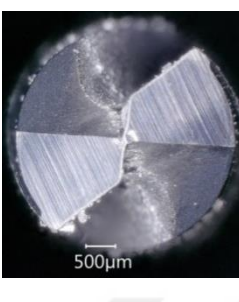
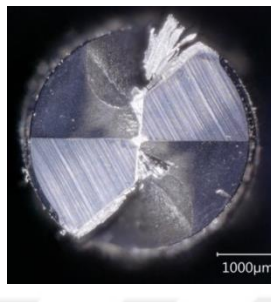
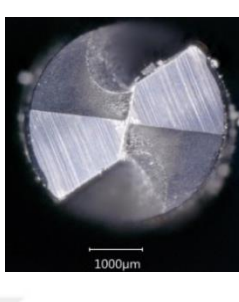
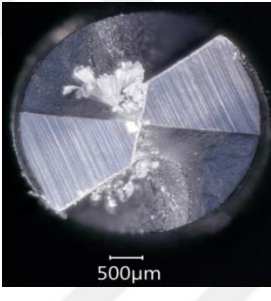
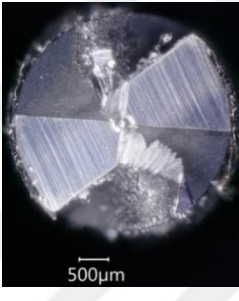
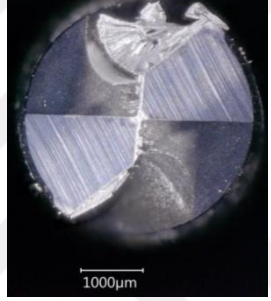
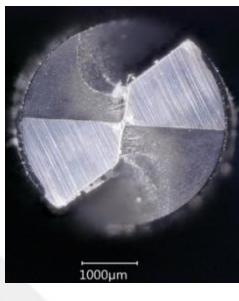
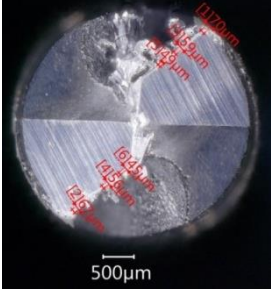
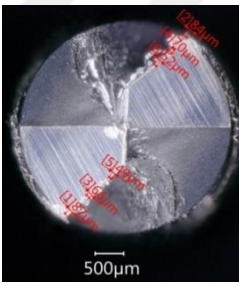
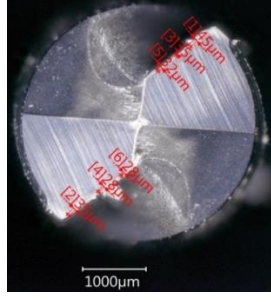
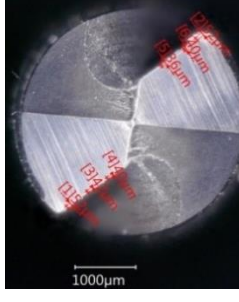


#### 4.5.Takım Aşınmasının İncelemesi

Sabit kesme hızı ile (80 m/dk) AZ31 magnezyum plaka ya 360 delik açılarak her 120 delikte bir takımın oluştuğu aşınmalar görüntülenmiştir. Bu deney serisi hem kuru hem de kriyojenik kesme şartlarında 500 ve 1000 mm/dak ilerleme hızlarında gerçekleştirilmiştir. Magnezyumun düşük erime sıcaklığına sahip olmasından dolayı, oluşan talaşlar kesici takıma yapışarak kesici takım üzerinde yığıntı talaş (built up edge) oluşturduğu Çizelge 4.8'deki dijital mikroskoptan alınan görüntülerde görülmektedir. İşleme esnasında ortam sıcaklığının artması sebebiyle takım ömrü azalmakta ve açılan deliğin yüzey kalitesi bozulmaktadır. Ek olarak malzemenin yumuşaması talaşlı işlem

sirasında mekanik sürtünmeye sebep olmaktadır. Bu durum ise işlenen parçanın yüzey kalitesini düşürerek işleme kalitesini olumsuz etkilemekte ve takım aşınmasını artırmaktadır. Kriyojenik ortamda yapılan testlerde yığıntı talaş miktarının az olduğu görülmektedir. Yığıntı talaş miktarındaki kayda değer azalma, kriyojenik işlemenin prosesi iyiletirdiğinin de bir göstergesidir. Yığıntı talaın azalması ile hem takım ömrü artar hem de daha kaliteli yüzeyler elde edilebilir. Çizelge 4.8’de verilen takım görüntülerinde, kriyojenik işlemenin proses üzerinde etkisi açık bir şekilde görülmektedir. Özellikle kesme kenarlarından alınan serbest yüzey aınmaları kıyaslandığıında, kriyojenik işlemede kayda değer farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, ilerleme hızındaki artışıla (500 mm/dk ‘dan 1000 mm/dk’ya) aşınma değeri kuru koşulda yaklaşık % 18 artarken, kriyojenik koşulda % 28 artmıştır. Kriyojenik koşullarda yapılan testlerde meydana gelen daha az aşınma takım ömrünü uzatarak ve delik kalitesi bozulmadan daha fazla delme işlemi yapmaya imkn sunacaktır.

Çizelge 4. 8. Takım görüntüleri

	Kuru		Kriyojenik	
Delik Sayısı	500 mm/dk	1000 mm/dk	500 mm/dk	1000 mm/dk
120				
240				
360				

#### 4.6. Yüzey Kalitesi

Deneyler sonrasında delikler 2 ye kesilerek işlenen deliğin yüzey pürüzlülüğü ölçümü ve topoğrafyası Zygo ZeGage optik profilometre yardımıyla ölçülmüştür. Kesme bölgesinde oluşan yüksek sıcaklık soğutma sıvıları aracılığı ile kesme bölgesinden uzaklaştırılmakta ve daha kaliteli yüzeyler elde edilebilmektedir. Malzemede işleme esnasında oluşan olumsuzlukları en aza indirmek için kriyojenik soğutucu kullanılmıştır. Kriyojenikler arasında en çok kullanılanı sıvılaştırılmış nitrojen (LN<sub>2</sub>)'dir. Soluduğumuz havanın yaklaşık %78'i azot gazından oluşmakta olup atmosferde bolca bulunan bir elementtir. Sıvılaştırılmış azot işleme esnasında arkasında

hiçbir kalıntı bırakmadan ve çevreye zarar vermeden buharlaşarak gaz formuna dönüşür. Bu yönüyle de çevre ile dost bir soğutucudur. Ayrıca, sıvılaştırılmış LN<sub>2</sub> kullanımı ile magnezyum alaşımlarının işlenmesi sırasında ortaya çıkan tutuşma, yığıntı talaş oluşumu gibi olumsuzluklar en aza indirilmiş, delik kalitesi artırılmış, takım aşınması ise minimize edilmiştir. Çizelge 4.9’de deliklerin yüzeylerinde oluşan yüzey pürüzlülüğü (Ra ve Rz) değerleri yer almaktadır. Çizelge incelendiğinde, kesme hızının artmasıyla deliklerin yüzey kalitesi iyileşirken, ilerlemenin artması ile deliklerin yüzey kalitesi bozulmaktadır. İlerlemenin artması ile elde edilen yüzeyler bozulmaktadır. Kriyojenik ve kuru kesme delme şartları kıyaslandığında şekillerden anlaşılacağı üzere kriyojenik işleme ile daha düzgün bir yüzey elde edildiği görülmektedir.





Çizelge 4. 9. Farklı ilerleme ve kesme hızlarında oluşan yüzey pürüzlülükleri

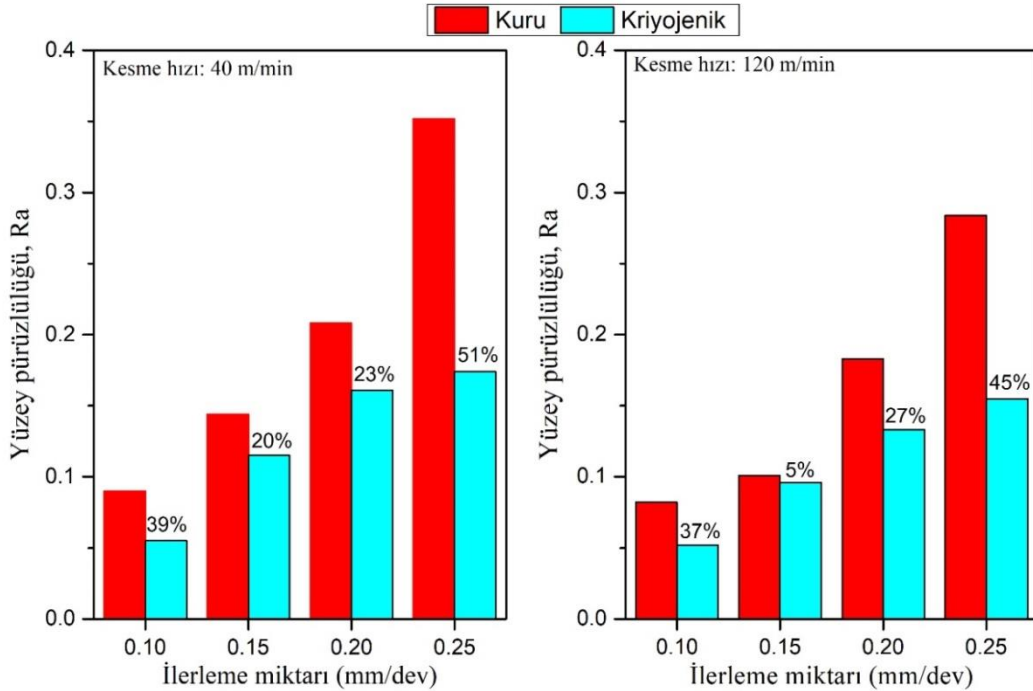
	Kesme Hızı	İlerleme Miktarı			
		0.1 mm/dev	0.15 mm/dev	0.20 mm/dev	0.25 mm/dev
Kuru	40 m/dk				
	120 m/dk				
Kriyojenik	40 m/dk				
	120 m/dk				

**Çizelge 4. 10.** Delik sayısı artışının yüzey pürüzlülüğüne etkisi

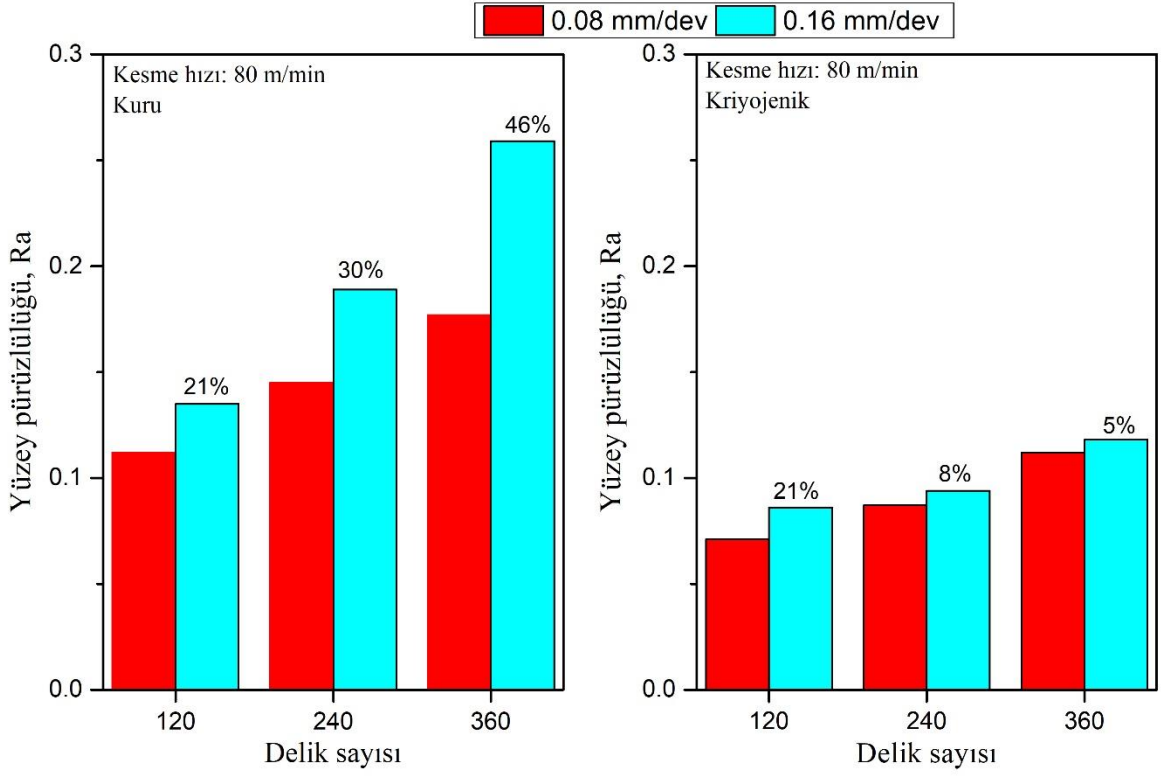
Delik Sayısı	Kuru		Kriyojenik	
	500 mm/dk	1000 mm/dk	500 mm/dk	1000 mm/dk
120				
240				
360				



Şekil 4.6'da ortalama aritmetik yüzey pürüzlülüğü değerlerinin ( $R_a$ ) kesme ve ilerleme hızıyla değişimi grafiği verilmiştir. Kesme hızı 40 m/dk iken, en yüksek yüzey pürüzlülüğü değeri 0.352  $\mu\text{m}$  olarak kuru koşulda ve 0.25 mm/dev ilerleme hızında elde edilirken, en düşük 0.055  $\mu\text{m}$  olarak kriyojenik koşulda 0.10 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Kesme hızının 120 m/dk olduğu durum incelendiğinde ise en yüksek yüzey pürüzlülük değeri 0.284  $\mu\text{m}$  olarak kuru koşulda ve 0.25 mm/dev ilerleme hızında elde edilirken, en düşük 0.052  $\mu\text{m}$  olarak kriyojenik koşulda 0.10 mm/dev ilerleme hızında elde edilmiştir. Grafikler incelendiğinde ise yüzey pürüzlülük değerinin artan ilerleme hızı ile artış gösterdiği görülmektedir. Kesme hızındaki artış ise kriyojenik ve kuru koşullarda oluşan yüzey pürüzlülük değerlerinin arasındaki farkın azalmasına sebep olmuştur. Kuru ve kriyojenik işleme durumlarında oluşan yüzey pürüzlülük değerleri kıyaslandığında ise kuru kesme koşullarında oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebi ise kuru kesme şartlarında malzeme sünek olarak kesildiğinden malzeme yüzeyine sıvanma daha fazla olmaktadır. Hem kuru hem de kriyojenik şartlarda yapılan takım ömrü testlerinde delik sayısı artması ile yüzey kalitesi düşmektedir. Kriyojenik şartlarda gerçekleştirilen testlerde kuru kesme testlerine nazaran daha iyi yüzey oluşmuştur.



Şekil 4. 6.Kesme hızı ve ilerleme değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi



Şekil 4. 7. Delik sayısı değişiminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi

#### 4.7. Sertlik Testi

AZ31B magnezyum alaşımı üzerine delikler delindikten sonra parçalar delik merkezlerinden ikiye bölünerek numuneler alınmıştır. Alınan numuneler geneli temsil edecek şekilde Digirock sertlik ölçüm cihazı ile yumuşak metallerin ölçümünde kullanılan Rockwell F skalası (HRF) metodu ile aynı delik üzerinden 3 farklı nokta olacak şekilde sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerin sonucu Çizelge 4.11’de verilmiştir. Kesme hızının arttığı durumlar genel olarak incelendiğinde hem kuru hem de kriyojenik şartlarda yüzey sertlik değerinin arttığı görülmektedir. Bu duruma sebep olarak ise kesme hızındaki artışın malzeme yüzeyinde oluşan ısı değerindeki yükselme kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Ek olarak kuru ve kriyojenik koşullar delme işlemleri değerlendirildiğinde ise kriyojenik koşullardaki sertlik değerinin Çizelge 4.12’den ortalama değerine bakıldığında kuru koşullardakine göre daha düşük olduğu görülmektedir.

Çizelge 4. 11.Sertlik Ölçüm Sonuçları

İlerleme hızları	Kuru		Kriyojenik	
	Kesme Hızları (m/dk)		Kesme Hızları (m/dk)	
	40	120	40	120
0.10 mm/dev	48.2	59.6	44.5	72.3
	65.2	68.8	64.6	60.5
	57.6	67.7	59.4	60.5
0.15 mm/dev	39.8	62.3	30.4	62.3
	60.3	63.2	47.2	63.8
	61.9	69.2	45.8	64.8
0.20 mm/dev	47.8	61.3	54.7	63
	60.3	61.5	61.5	64.4
	61.9	55.7	64.2	62.5
0.25 mm/dev	40.2	42.9	49.9	59.4
	60.5	62.7	57.8	63.2
	66.9	64.2	60.1	64.4

Çizelge 4. 12.Ortalama Sertlik Değerleri

İlerleme Hızları	Kuru		Kriyojenik	
	Kesme Hızları (m/dk)		Kesme Hızları (m/dk)	
	40	120	40	120
0.1 mm/dev	57	65.3	56.2	64.4
0.15 mm/dev	54.2	62.3	51.2	61.1
0.20 mm/dev	52.6	64.4	45.7	62.2
0.25 mm/dev	54	64.9	41.1	63.6

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada AZ31B magnezyum alaşımının dört farklı ilerleme (0.1, 0.15, 0.20, 0.25 mm/devir), iki farklı kesme hızında (40 ve 120 m/dk) ve iki farklı işleme (kuru ve kriyojenik) parametreleri kullanılarak delinmesi deneysel olarak araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve bulgular aşağıda belirtilmiştir.

- Kuru ve kriyojenik koşullarda yapılan deneylerde kesme hızının artması ile itme kuvvetleri azalırken, ilerleme hızının artması ile itme kuvvetleri artmıştır. Kriyojenik ortamda yapılan deneylerde oluşan itme kuvveti değerleri kuru ortamda yapılan deneylerde oluşan değerlerden daha yüksek olmuştur. Delik sayısı artması ile itme kuvveti değerleri de artmıştır.
- Kuru ortamda yapılan deneylerde kesme hızı ve ilerlemenin artması ile oluşan sıcaklık artmıştır. Takım ömrü testlerinde ise delik sayısındaki artışa bağlı olarak sıcaklık değeri de artmıştır. Ayrıca kuru ve kriyojenik ortamda yapılan testlerde delik delme esnasında talaşlar tutuşma eğilimi göstermemiştir.
- Kuru ve kriyojenik ortamda yapılan testlerde kesme hızının artmasıyla daha uzun talaşlar oluşurken, ilerleme hızının artması ile talaş boyları kısalmıştır. Kriyojenik ortamdaki testlerde kuru kesmeye nazaran daha kısa talaşlar oluşmaktadır.
- Kuru ortamda yapılan delik delme işlemlerinde malzemenin sünek davranış göstermesi sebebiyle çapakların kopmadığı gözlenirken, kriyojenik koşullarda yapılan deneylerde malzemenin gevrek bir yapıya sahip olduğu için çapakların koptuğu tespit edilmiştir.
- Kuru kesme şartları altında yapılan testlerde matkap üzerinde malzeme yapışmaları kriyojenik şartlara göre daha fazla olmuştur. Ayrıca kuru kesme şartlarında yapılan testlerde takım aşınması daha fazla olmuştur.
- Kuru ve kriyojenik şartlarda testlerde kesme hızının artmasıyla deliklerin yüzey kalitesi iyileşirken, ilerlemenin artması ile deliklerin yüzey kalitesi bozulmaktadır. Kriyojenik ve kuru kesme şartları kıyaslandığında ise kriyojenik işleme ile daha düzgün yüzeyler elde edilmiştir.

- Kuru ve kriyojenik şartlarda yapılan testlerde kesme hızının artması ile yüzey sertlik değerleri artmıştır. Kriyojenik koşullarda yapılan testlerde oluşan yüzey sertlik değeri kuru kesme koşullara göre daha azdır.



## KAYNAKLAR

- Akgün, M., Özger, G. ve Ulaş, H.B., 2014. Döküm Yöntemiyle Üretilmiş AZ91 Magnezyum Alaşımının İşlenebilirliğinin Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 30(5), 323-328.
- Amini, K., Akhbarizadeh, A. ve Javadpour, S., 2014. Investigating the effect of Quench Environment and Deep Cryogenic Treatment on the Wear Behavior of AZ91. *Materials and Design*, 54, 154–160.
- Anonim.. 2009. 11. Otomotiv Sempozyumu, TMMOB Makine Mühendisleri Odası. Bursa.
- Bertolini, R., Bruschi, S., Ghiotti, A., Pezzato, L. ve Dabalà, M., 2017. The effect of Cooling Strategies and Machining Feed Rate on the Corrosion Behavior and Wettability of AZ31 Alloy for Biomedical Applications. *Procedia CIRP*, 65, 7–12.
- Biermann, D. ve Liu, Y., 2014. Innovative Flow Drilling on Magnesium Wrought Alloy AZ31. *Procedia CIRP*, 18, 209-214.
- Bruschi, S., Bertolini, R., Ghiotti, A., Savio, E., Guo, W. ve Shivpuri, R., 2018. Machining-Induced Surface Transformations of Magnesium Alloys to Enhance Corrosion Resistance in Human-Like Environment. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, 67, 579–582.
- Desai, S., Malvade, N., Pawade, R. ve Warhatkar, H., 2017. Effect of High Speed Dry Machining on Surface integrity and Biodegradability of Mg-Ca1.0 Biodegradable Alloy. *Materials Today: Proceedings*, 4, 6718–6727.
- Demirci, M., Vanlı A.S., Akdoğan A., 2015. Savunma Sanayinde Kullanılan Magnezyum Alaşımları ve Uygulama Alanları. *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, Cilt 7, Sayı 4, 1. Uluslararası Savunma Sanayii Sempozyumu
- Dinesh, S. 2016. *Materials and Manufacturing Processes*. Taylor Francis Online. Alıntı Tarihi: 10 2 2019. <http://dx.doi.org/10.1080/10426914.2016.1221096>
- Prof. Dr. Eker, A. A., 2008. Magnezyum ve Alaşımları. Sunum, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Eskier, U., 2017. Magnezyum Nedir Özellikleri Faydaları. Alıntı Tarihi: 11 Haziran 2019. <https://www.makaleler.com/magnezyum-nedir-ozellikleri-faydaları>
- Gözüaçık, N.K. Baydoğan M., 2012. AZ91 Magnezyum Alaşımının Mikro Ark Oksidasyonunda Elektrolit Bileşiminin Etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

- Kheireddine, A.H., Ammouri, A. H., Lu, T., Dillon Jr, O.W., Hamade, R.F. ve I. S. Jawahir, 2015. An Experimental and Numerical Study of The Effect of Cryogenic Cooling on the Surface Integrity of Drilled Holes In AZ31B Mg Alloy. *Int J Adv Manuf Technol*, 78, 269–279.
- Kheireddine, A.H., Ammouria, A.H., Lub, T., Jawahir, I.S. ve Hamade, R.F., 2013. An FEM Analysis with Experimental Validation to Study the Hardness of In-Process Cryogenically Cooled Drilled Holes in Mg AZ31b. *Procedia CIRP*, 8, 588–593.
- Külekci, M.K., 2008. Magnesium And Its Alloys Applications In Automotive Industry. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 39:851–865
- Liu, Y., Shao, S., Xu, C., Yang, X. Ve Lu, D., 2012. Enhancing Wear Resistance of Mg–Zn–Gd Alloy by Cryogenic Treatment. *Materials Letters*, 76, 201–204.
- Anonim., MatWeb .Magnesium AZ31B-H24 Hard Rolled Sheet, <http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?matguid=d1e286e1ac0742358544b953bbf3c2e9&ckck.&ckck=1> . (Erişim tarihi:15.02.2019).
- Morkavuk, S., 2016. Karbon Fiber Takviyeli Plastiklerin Kuru ve Kriyojenik İşleme Koşullarında Frezelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Konya
- Mohamed N.A. Nasra, M.N.A. ve Outeiro, J.C., 2015. Sensitivity Analysis of Cryogenic Cooling on Machining of Magnesium Alloy AZ31B-O. *Procedia CIRP*, 31, 264–269.
- Outeiro, J.C., Rossi, F., Fromentin, G., Poulachona, G., Germain, G. ve Batista, A.C., 2013. Process Mechanics and Surface Integrity Induced by Dry and Cryogenic Machining of AZ31B-O Magnesium Alloy. *Procedia CIRP*, 8, 487–492.
- Öztürk, F., 2012. Magnezyum Alaşımları ve Kullanım Alanlarının İncelenmesi. Niğde : s.n., 2012.
- Pu, Z., 2012. *Cryogenic Machining and Burnishing of AZ31b Magnesium Alloy for Enhanced Surface Integrity and Functional Performance*. University of Kentucky, Lexington, Kentucky.
- Pu, Z., Outeiro, J.C., Batista, A.C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2011. Surface Integrity in Dry and Cryogenic Machining of AZ31B Mg Alloy with Varying Cutting Edge Radius Tools. *Procedia Engineering*, 19, 282–287.
- Pu, Z., Umbrello, D., Dillon Jr, O.W., ve , Jawahir, I.S.,2014. Finite Element Simulation of Residual Stresses in Cryogenic Machining of AZ31B Mg Alloy. *Procedia CIRP*, 13, 282–287.
- Pu, Z., Outeiro, J.C., Batista, A.C., Dillon Jr, O.W., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2012. Enhanced Sur Face Integrity Of AZ31B Mg Alloy By Cryogenic Machining Towards İmp Roved Functional Performan Ce Of Machined Components. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 56, 17–27.

- Pu, Z., Umbrello, D., Dillon Jr, O.W., Lu, T., Puleo, D.A. ve Jawahir, I.S., 2014. Finite Element Modeling of Microstructural Changes in Dry and Cryogenic Machining of AZ31B Magnesium Alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 16, 335–343.
- Ruslan, M.S., Othmana, K., A.Ghani, J., Kassim, M.S., Haron, C.H.C., 2016. Surface Roughness of Magnesium Alloy AZ91D in High Speed Milling. *Jurnal Teknologi*, 78, (6–9), 115–119.
- Seçgin, G.O., Ürgen, M., 2012. İkiz merdaneli sürekli döküm yöntemi ile üretilmiş AZ31 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışının İncelenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sunil, R.B., Ganesh, K.V., Pavana, P., Vadapalli, G., Swarnalatha, C., Swapna, P., Bindukumar, P. ve Reddy, G.P.K., 2016. Effect of Aluminum Content on Machining Characteristics of AZ31 and AZ91 Magnesium Alloys During Drilling. *Journal of Magnesium and Alloys*, 4, 15–21.
- Tanrıverdi, A., 2005. Magnezyum alaşım AZ91'in Korozyon Davranışları Katılma Hızı ile Si ve Y Katkıları. 2005.
- Taşkın, N., 2012. Magnezyum Talaşlarından Malzeme Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Zeytin, Sakin., 1999. Magnezyum Alaşımları. *Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği*. s.l. : Tübitak, 1999.
- Zhang, H., Zhao, P., Ge, Y., Tang, H. ve Shi, Y., 2018. Chip Morphology and Combustion Phenomenon of Magnesium Alloys at High-Speed Milling. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 95, 3943–3952.



## ÖZGEÇMİŞ

### **Kimlik Bilgileri:**

Adı Soyadı: Himmet ÇOBAN

E-posta: [himmet.coban@windowslive.com](mailto:himmet.coban@windowslive.com)

Adresi: Şeyh Şamil Mh. 1371. Sk. No: 17 Daire: 19 Mihrimah Konutları  
Merkez /KARAMAN 70100

Telefonu: 535 796 72 49

### **Eğitim:**

Lise: Karaman Bifa Lisesi - 2010

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi - 2014

**Yabancı Dil ve Düzeyi: İngilizce - Orta**

**İş Deneyimi: 4 yıl (Bakım-onarım, imalat, yatırım)**

**Deneyim Alanları: Üretim, gıda, imalat, bakım-onarım**