



**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN
AlSi10Mg ALAŞIMINDA KOROZYON
DAVRANIŞI İLE MEKANİK
PERFORMANSIN OPTİMİZASYONU**

Yüksek Lisans Tezi

Umut OĞUZ

Eskişehir 2024

**EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN AISi10Mg ALAŞIMINDA KOROZYON
DAVRANIŞI İLE MEKANİK PERFORMANSIN OPTİMİZASYONU**

Umut OĞUZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek SELİMOĞLU**

**Eskişehir
Eskişehir Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Ağustos 2024**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Umut OĞUZ'un "Eklemeli İmalat ile Üretilen AlSi10Mg Alaşımında Korozyon Davranışı ile Mekanik Performansın Optimizasyonu" başlıklı tezi 16/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Eskişehir Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Unvan Adı Soyadı

İmza

Üye (Tez Danışmanı)

: Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek SELİMOĞLU

Üye

: Prof. Dr. Hakan GAŞAN

Üye

: Dr. Öğr. Üyesi İsmail Özgür ÖZER

Prof. Dr. Semra KURAMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

DANIşMAN ONAYI

Danişmanlığını yürüttüğüm Yüksek Lisans ğrencisi Umut OğUZ, “EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN AlSi10Mg ALAşIMINDA KOROZYON DAVRANIşI İLE MEKANİK PERFORMANSIN OPTİMİZASYONU” başlıklı tez çalışmasını tamamlamıştır. Hazırlamış olduğu tez tarafımca incelenmiş ve öğrencinin tez savunma sınavına alınması bilimsel ve etik açıdan uygun görülmüştür.

Tez Danişmanı

Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek SELİMOğLU

ÖZET

EKLEMELİ İMALAT İLE ÜRETİLEN AlSi10Mg ALAŞIMINDA KOROZYON DAVRANIŞI İLE MEKANİK PERFORMANSIN OPTİMİZASYONU

Umut OĞUZ

Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Anabilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2024

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek SELİMOĞLU

Seçici lazer ergitme (SLE) yöntemi ile üretilen AlSi10Mg alüminyum alaşımının havacılık sektöründeki kullanımı, hafif ve yüksek mukavemetli bir alaşım olması sebebiyle, günden güne yaygınlaşmaktadır. SLE yöntemi tasarım özgürlüğü ve karmaşık yapıların üretilebilirliğini sağladığı için tercih edilmektedir. Bu çalışmada, SLE yöntemi ile üretilen dikey ve yatay tarama stratejisine sahip AlSi10Mg alaşımının korozyon davranışı hem ısıtıl işlem uygulanmamış hem de T6 ısıtıl işlemi uygulanmış olan numunelerde, malzemenin uygulama alanları ve uygulamada maruz kalacağı şartlar göz önünde bulundurularak ağırlıkça %5 NaCl çözeltisi içeren 35°C'deki tuz kabinde, 200°C'deki açık atmosfer fırınında ve 25°C'deki Aeroshell 555 yağı içerisinde incelenmiştir. Bununla birlikte mekanik performansın incelenmesi için sertlik testi ile soğuk (25°C) ve sıcak çekme (100°C ve 200°C'de) testleri de yapılmıştır. Aeroshell 555 yağı içerisinde ve 200°C'de 30 gün boyunca uygulanan korozyon testleri sonucunda tarama yönü ve ısıtıl işlem koşulundan bağımsız olarak herhangi bir oksitlenme ya da korozyon gözlemlenmemiştir. Tuz çözeltisi içerisinde gerçekleştirilen korozyon testleri sonucunda ise yatay tarama yönünde üretilip T6 ısıtıl işlemi uygulanmış numunenin en yüksek korozyon direncine sahip olduğu görülmüştür. Öte yandan, mekanik performans testlerinde tarama stratejisinin önemli bir etken olmadığı fakat T6 ısıtıl işleminin sertlik değerlerinde ve dayançta artış meydana getirdiği görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: Seçici lazer ergitme, AlSi10Mg alaşımı, Tarama yönü, Korozyon direnci, Yüksek sıcaklık, T6 ısıtıl işlemi

ABSTRACT

OPTIMIZATION OF MECHANICAL PERFORMANCE AND CORROSION BEHAVIOR IN AlSi10Mg ALLOY PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

Umut OĞUZ

Materials Science and Engineering Department

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Sciences, August 2024

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gül İpek SELİMOĞLU

The use of AlSi10Mg aluminum alloy produced by SLM method in the aviation industry is becoming more widespread day by day since it is a lightweight and high-strength alloy. SLM method is preferred because it provides design freedom and manufacturability of complex structures. In this study, corrosion behavior of AlSi10Mg alloy produced with SLM method with vertical and horizontal scanning strategy was examined in both as-built and T6 heat-treated samples. Corrosion tests were conducted in the salt cabin at 35°C containing 5 wt% NaCl solution, in Aeroshell 555 oil at 25°C and in the open atmosphere furnace at 200°C, considering the application areas of the material and the conditions it will be exposed to. In addition, hardness tests and cold (25°C) and hot tensile (100°C and 200°C) tests were also performed to examine mechanical performance. As a result of corrosion tests performed in Aeroshell 555 oil and at 200°C for 30 days, no oxidation or corrosion was observed, regardless of scanning direction and heat treatment condition. As a result of the corrosion tests carried out in salt solution, it was seen that the sample produced in the horizontal direction and subjected to T6 heat treatment had the highest corrosion resistance. On the other hand, it was observed that the scanning strategy was not an important factor in mechanical performance tests, but T6 heat treatment caused an increase in hardness values and strength.

Keywords: Selective laser melting, AlSi10Mg alloy, Scanning direction, Corrosion resistance, High temperature, T6 heat treatment

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca, bana her zaman destek veren ve çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübeleriyle rehberlik eden değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Gül İpek SELİMOĞLU'na,

Laboratuvar çalışmalarım boyunca bana her türlü desteği ve imkânı sağlayan Araş. Gör. Ertuğrul İŞLEK, Erkan ÖZGÜR, Dilara DERİNCE, Gürol ALDIÇ, ALP Havacılık A.Ş. ve TUSAŞ Motor Sanayii A.Ş. laboratuvar ekiplerine,

Tez çalışmam süresince benden desteklerini esirgemeyen değerli yöneticilerim Halil İbrahim KÜPLÜ, Burak ÜNAL, Abdülkadir SİĞİRTMAÇ ve değerli çalışma arkadaşlarım Fehmi Utku BAHÇIVAN ve Gürkan ÖZDEMİR'e,

Bana olan inancını hiçbir zaman kaybetmeyen, zorlu zamanlarımda dahi yanımda olan ve her daim ilerlememi sağlayan sevgili eşim Merve'ye,

Bugünlere gelmemi sağlayan ve çıktığım her yolda arkamda duran başta sevgili annem ve babam Fatmagül-Muzaffer OĞUZ olmak üzere tüm aileme,

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Umut OĞUZ

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programı”yla tarandığını ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Umut OĞUZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
BAŞLIK SAYFASI	i
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI.....	ii
DANIŞMAN ONAYI	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR	vi
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. AlSi10Mg ALAŞIMI.....	2
2.1 Eklemeli İmalat Yöntemleri	4
2.1.1 Seçici lazer ergitme (SLE) yöntemi.....	7
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	11
3.1 AlSi10Mg Tozu ve Numune Hazırlığı	11
3.2 T6 Isıl İşlemi	13
3.3 Korozyon Testi	14
3.4 Çekme Testi	19
4. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI	22
4.1 X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi	22
4.2 Optik Mikroskop.....	22
4.3 Sertlik Testi.....	23

5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	25
5.1 XRF Analizi Sonuçları.....	25
5.2 Optik Mikroskop Analizleri.....	25
5.3 Sertlik Testi Analizleri.....	31
5.4 Çekme Testi Analizleri	33
5.5 Korozyon Testleri.....	40
5.5.1 NaCl çözeltisi.....	40
5.5.2 Fırın ve Aeroshell 555 yağı	50
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	52
KAYNAKÇA.....	53
ÖZGEÇMİŞ	

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1. AlSi10Mg alaşım tozunun ham hal ve T6 kondisyonu için oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [10]	3
Tablo 3.1. Korozyon testi numune tarama yönü/kondisyonu, ortam koşulu ve test sıcaklığı	15
Tablo 3.2. Çekme testi numune tarama yönü/kondisyonu ve test sıcaklığı	20
Tablo 5.1. AlSi10Mg kimyasal kompozisyon gerekliliği ve gerçekte ölçülen değerler (Ağırlıkça %) [24].....	25
Tablo 5.2. AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemi uygulanan numunelerin sertlik testi sonuçları.....	31
Tablo 5.3. AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemi uygulanan numunelerin soğuk ve sıcak çekme sonuçları	33
Tablo 5.4. AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemi uygulanan numunelerin korozyon testi sonrası yüzey pürüzlülüğü sonuçları	40

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. AlSi10Mg alaşım tozunun morfolojisi (http-3).....	2
Şekil 2.2. SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mikroyapısının farklı ısı işlem sıcaklıklarındaki değişimi; a) ham hal b) 100°C, 4 saat c) 200°C, 4 saat d) 266°C, 4 saat e) 350°C, 4 saat f) 505°C, 4 saat [11]	4
Şekil 2.3. Eklemeli imalat yöntemlerinin ürünün oluşum metodolojisine göre sınıflandırılması [13, 14]	5
Şekil 2.4. Eklemeli imalat yöntemlerinin kullanılan temel malzemenin türüne göre sınıflandırılması [14]	7
Şekil 2.5. SLE yönteminin çalışma prensibi [18]	8
Şekil 2.6. Giriş parametrelerinin şematize gösterimi [21]	9
Şekil 2.7. SLE yöntemi imalat parametreleri [19, 20]	9
Şekil 3.1. AlSi10Mg alaşım tozunun tanecik şekli; a) 100x büyütme b) 200x büyütme	11
Şekil 3.2. Dikey ve yatay tarama yönlerinde üretilen AlSi10Mg bar malzemenin; a) perspektif görünümü b) ölçülendirilmesi	12
Şekil 3.3. Dikey ve yatay tarama yönlerinde üretilen AlSi10Mg dikdörtgen levha malzemenin; a) perspektif görünümü b) ölçülendirilmesi	13
Şekil 3.4. T6 ısıt işlemleri prosesi grafiği	14
Şekil 3.5. Ascott S450iP marka korozyon test kabini	16
Şekil 3.6. MSE marka atmosfer kontrollü yüksek sıcaklık fırını	17
Şekil 3.7. Tekrarlanan temizleme döngü sayısına göre korozyona uğramış numuneleri kütle kaybı grafiği [30]	18
Şekil 3.8. ASTM E8/E8M şartnamesine göre çekme testi numunelerinin boyutlandırılması	19
Şekil 3.9. Zwick/Roell Z100 marka çekme testi cihazı	21
Şekil 4.1. Vanta Element marka XRF analiz cihazı	22
Şekil 4.2. Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskop	22
Şekil 4.3. a) Mikrotest Multi Cut Easy marka kesme cihazı b) Metkon Metapress- A marka sıcak bakelite alma cihazı c) Mikrotest zımparalama/parlatma cihazı	23

Şekil 4.4. a) DuraScan 70 G5 marka sertlik ölçüm cihazı b) Vickers izinin 50x büyütmede optik görüntüsü c) Vickers izinin 10x büyütmede optik görüntüsü	24
Şekil 5.1. 500x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıtma işlem uygulanmamış	26
Şekil 5.2. 500x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki T6 ısıtma işlem uygulanmış	27
Şekil 5.3. 200x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıtma işlem uygulanmamış	28
Şekil 5.4. 100x büyütmede; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıtma işlem uygulanmamış, 200x büyütmede; c) yatay tarama yönündeki T6 ısıtma işlem uygulanmış AlSi10Mg alaşımının mikroyapısındaki gözeneklilik (porozite)	30
Şekil 5.5. a) 10x büyütmede b) 20x büyütmede dikey ısıtma işlemsiz; c) 10x büyütmede d) 20x büyütmede yatay ısıtma işlemsiz numunelerin kırılma bölgelerinin stereo mikroskop görselleri	35
Şekil 5.6. 10x büyütmede; a) dikey ısıtma işlemsiz b) dikey T6 ısıtma işlem uygulanmış c) yatay ısıtma işlemsiz d) yatay T6 ısıtma işlem uygulanmış numunelerin soğuk çekme testi sonrası kırılma yüzeyi görselleri	36
Şekil 5.7. 10x büyütmede; a) 100°C b) 200°C dikey ısıtma işlemsiz, c) 100°C d) 200°C dikey T6 ısıtma işlem uygulanmış, e) 100°C f) 200°C yatay ısıtma işlemsiz, g) 100°C h) 200°C yatay T6 ısıtma işlem uygulanmış numunelerin sıcak çekme testi sonrası kırılma yüzeyi görselleri	37
Şekil 5.8. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre çekme dayanımı (MPa) grafiği	38
Şekil 5.9. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre akma dayanımı (MPa) grafiği	39
Şekil 5.10. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre uzama (%) grafiği	39
Şekil 5.11. Dikey tarama yönündeki ısıtma işlemsiz numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün	41
Şekil 5.12. Yatay tarama yönündeki ısıtma işlemsiz numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün	41
Şekil 5.13. Dikey tarama yönündeki T6 ısıtma işlem uygulanmış numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün	42

Şekil 5.14. Yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün	42
Şekil 5.15. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan dikey tarama yönündeki ısıt işlemsiz numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede	43
Şekil 5.16. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan yatay tarama yönündeki ısıt işlemsiz numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede	44
Şekil 5.17. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan dikey tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede	45
Şekil 5.18. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede	46
Şekil 5.19. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan ısıt işlem uygulanmayan dikey tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği.....	47
Şekil 5.20. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan ısıt işlem uygulanmayan yatay tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği.....	47
Şekil 5.21. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan T6 ısıt işlem uygulanmış dikey tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği.....	48
Şekil 5.22. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan T6 ısıt işlem uygulanmış yatay tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği.....	48
Şekil 5.23. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan numunelerde tarama yönüne ve kondisyona bağlı korozyon hız ($\mu\text{m}/\text{yıl}$) grafiği	49
Şekil 5.24. 30 gün boyunca 200°C sıcaklıktaki fırında korozyon testi uygulanan; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış, c) dikey d) yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlemlili numunelerin görselleri	50
Şekil 5.25. 30 gün boyunca Aeroshell 555 yağı içerisinde korozyon testi uygulanan; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış, c) dikey d) yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlemlili numunelerin görselleri	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Alfa
μm	: Mikrometre
$^{\circ}\text{C}$	: Sıcaklık-Celcius
A	: Korozyona Maruz Kalan Alan
A	: En Küçük Gövde Uzunluğu
AMS	: Aerospace Material Specifications (Havacılık Malzeme Spesifikasyonları)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Uluslararası Amerikan Test ve Malzeme Topluluğu)
Cu	: Bakır
D	: Gövde Çapı
D	: Özkütle
dak	: Dakika
E	: Enerji Yoğunluğu
EYM	: Eriyik Yığılma Modelleme
G	: İlk Ölçü Uzunluğu
h	: Tarama Mesafesi
HCl	: Hidroklorik Asit
HF	: Hidrojen Florür
HNO ₃	: Nitrik Asit
HV	: Vickers Sertliği
K	: Korozyon Hızı Sabiti
Mg	: Magnezyum

mm	: Milimetre
Mn	: Mangan
MPa	: Mega-Pascal
N	: Newton
NaCl	: Sodyum Klorür
P	: Lazer Gücü
R	: En Küçük Kavis Yarıçapı
s	: Saat
Si	: Silisyum
SLE	: Seçici Lazer Ergitme
SLS	: Seçici Lazer Sinterleme
t	: Katman Kalınlığı
T	: Korozyon Test Süresi
v	: Tarama Hızı
W	: Kütle Kaybı
XRF	: X-Işını Floresans Spektrometresi
Zn	: Çinko

1. GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları günümüzde çelikten sonra en çok kullanılan mühendislik malzemelerindendir. Özellikle havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılan alüminyum ve alaşımları düşük yoğunluk, yüksek özgül dayanım ve oksidasyona karşı direnç gibi özelliklerinden dolayı çeşitli uygulama alanlarında ve tasarımlarda tercih edilmektedir [1, 2]. Bu özelliklere ek olarak kolay şekillendirilebilir olması sebebiyle talaşsız imalat yöntemlerinden döküm, dövme, haddeleme, presleme, ekstrüzyon ve sıcak/soğuk çekme gibi prosesler de uygulanabilir. Endüstride 100'den fazla alüminyum alaşımı yaygın olarak kullanılmaktadır [3, 4, 5].

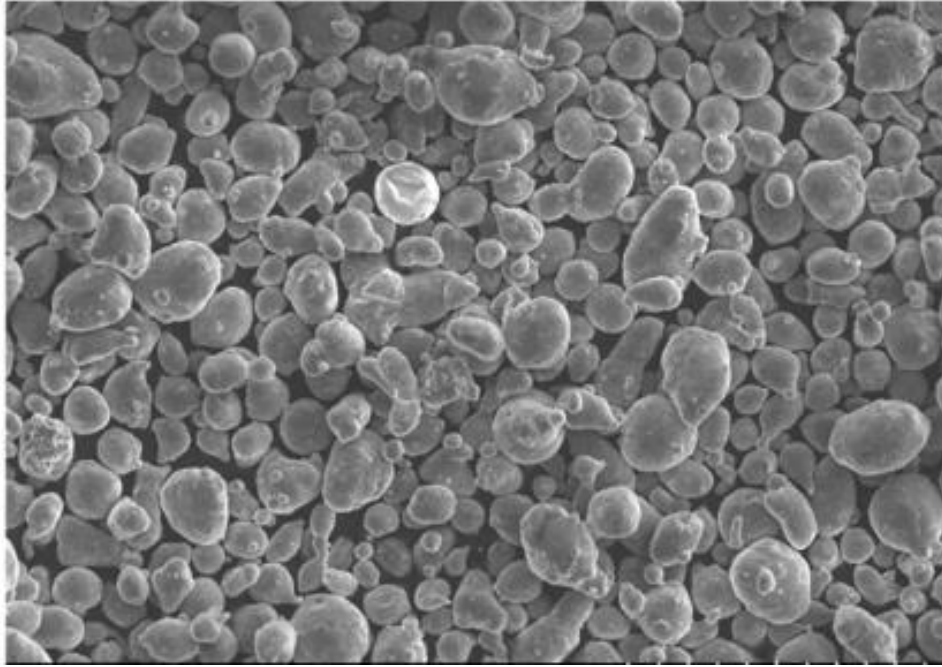
Teknolojik ve bilimsel çalışmalar, mevcut malzemelerin özelliklerinin iyileştirilmesi ve alternatif olabilecek yeni malzemelerin ortaya çıkarılması üzerinedir. Farklı elementlerin saf alüminyuma ilave edilmesi ile alüminyumun yapısal özelliklerini büyük oranda değiştirmek ve iyileştirmek mümkündür. Bu özelliğinden dolayı alüminyum alaşımları çoğu uygulamada bir ya da birden fazla alaşım elementinin ilavesi ile kullanılmaktadır. Alüminyum ile alaşım oluşturan temel alaşım elementleri arasında Cu, Mn, Si, Mg ve Zn yer almaktadır [6, 7].

AlSi10Mg, ana alaşım elementleri olarak Si ve Mg içeren bir alüminyum alaşımıdır. Bu alaşımın tozu, yüksek korozyon direnci ve spesifik mukavemeti sayesinde seçici lazer ergitme (SLE) gibi eklemeli imalat yöntemleri için popüler bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır (http-1). Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde, SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının, mekanik özellikleri hakkında yapılan çalışmaların üzerinde durulduğu ancak korozyon direncine ilişkin çalışmaların az olduğu görülmüştür. Son yıllarda farklı ısıtım proseslerinin ve tarama yönlerinin etkisinin, SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mekanik özelliklerine ve korozyon direncine etkisi hakkında daha fazla çalışma yayınlanmıştır.

2. AlSi10Mg ALAŞIMI

Alüminyum-Magnezyum-Silisyum (Al-Mg-Si) alaşımları olarak bilinen alaşımlar endüstride en sık kullanılan alaşımlardan olup, 6000 serisi alaşımlar olarak sınıflandırılmaktadır. 6000 serisi alaşımlar iyi döküm ve ekstrüzyon yapılabirlikleri, yüksek korozyon dayanımları, iyi kaynak edilebilirlikleri, sıcak şekillendirmeden sonra temiz yüzey ve orta derecede dayanım elde edilmesi amaçlanan uygulamalar için düşük maliyetli olması ile tanınırlar. Döküm sonrası ekstrüzyon yöntemi ile üretilen alüminyum ürünlerin çoğunu 6000 serisi alaşımlar oluşturmaktadır. Fakat günümüzde gelişen teknoloji ile geleneksel üretim yöntemlerinin yanı sıra modern teknoloji üretim yöntemlerinde kullanılmak üzere toz metalurjisine yönelim görülmektedir [8].

Şekil 2.1’de taramalı elektron mikroskop görüntüsü verilen AlSi10Mg, ağırlıkça yaklaşık olarak %90 Al, %9 Si ve %1 Mg içeriğine sahip bir alüminyum esaslı alaşım tozudur ve eklemeli imalat yoluyla parça üretiminde en sık kullanılan alaşımlardandır (http-2), (http-3).



Şekil 2.1. AlSi10Mg alaşım tozunun morfolojisi (http-3)

Al-Mg-Si alaşım grubunda yer alan AlSi10Mg alaşımı yüksek mukavemet, iyi yorulma direnci, düşük yoğunluk, yüksek sertlik ve korozyon dayanımı özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımlarında oldukça iyi bir yüzey kalitesi elde edilebilmekte ve geleneksel talaşsız imalat yöntemlerinde karşılaşılan pürüzler, çatlaklar veya düzensizlikler gibi yüzey hataları engellenebilmektedir. Ayrıca AlSi10Mg alaşımları sıcak çatlamaya karşı yüksek dirençleri nedeniyle kaynaklanabilme özelliğine de sahiptir.

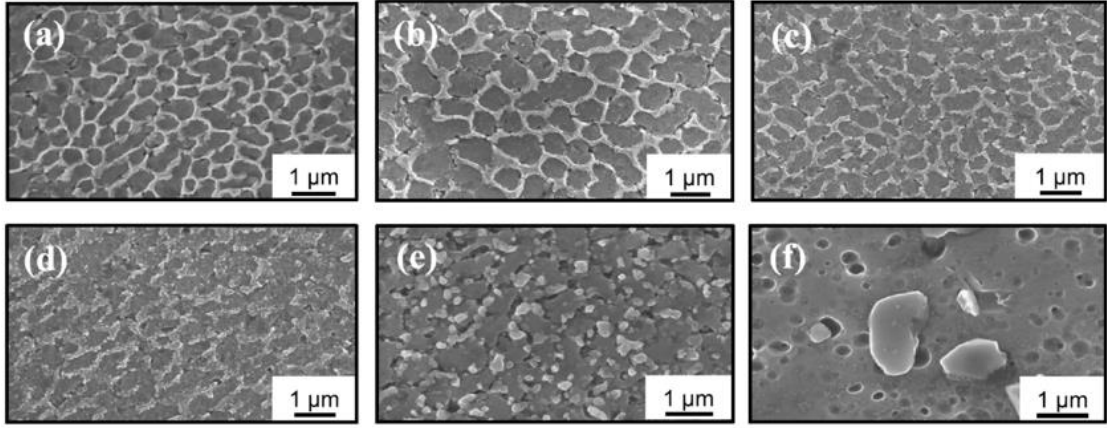
Bununla birlikte SLE yönteminde lazer ışını, yüksek güç ve tarama hızına sahiptir. SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımında hızlı katılaştırma işlemi esnasında alaşımın yapısında gözenekler, inklüzyonlar ve çatlaklar gibi katılaşma kusurları oluşabilmektedir. Bu nedenle oda sıcaklığında düşük süneklik, yorulma ve aşınma ömrü gibi olumsuzluklar sergileyebilmektedir. Katılaşma kusurlarını ortadan kaldırmak ve SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının sünekliğini arttırmak için T6 gibi çeşitli ısıt işlemler uygulanmaktadır [9].

AlSi10Mg alaşımına ait oda sıcaklığındaki mekanik özellikler ham hal ve T6 kondisyonu için Tablo 2.1’de gösterilmiştir [10].

Tablo 2.1. AlSi10Mg alaşım tozunun ham hal ve T6 kondisyonu için oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri [10]

Malzeme Kondisyonu	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)	Uzama (%)
Ham Hal	468.1	322.7	6.2
T6	227.2	183.3	11.2

Ham haldeki AlSi10Mg alaşımına kıyasla T6 ısıt işlemi sonrası alaşımdaki çekme ve akma mukavemetinde azalış ve süneklikte bir artış eğilimi gözlemlenmektedir. Isıt işlem prosesinin neden olduğu mikroyapısal dönüşüm, esas olarak sürekli olan Al-Si hücresel ağıının parçalanması ve ardından yüksek sıcaklıklarda ayrı Si parçacıklarının oluşması nedeniyle SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mekanik özelliklerini etkilemektedir [10, 11]. Mikroyapının ısıt işlem sıcaklığına göre modifikasyonu Şekil 2.2’de gösterilmiştir [11].

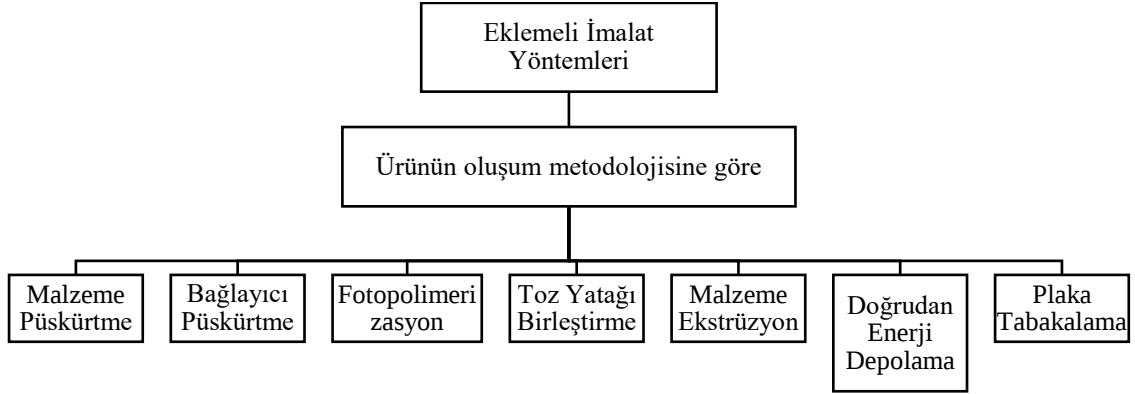


Şekil 2.2. SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımasının mikroyapısının farklı ısıtma sıcaklıklarındaki değişimi; a) ham hal b) 100°C, 4 saat c) 200°C, 4 saat d) 266°C, 4 saat e) 350°C, 4 saat f) 505°C, 4 saat [11]

AlSi10Mg alaşımasının yapısal bütünlük beklenen karmaşık parçaların tasarımında kullanımı günden güne yaygınlaşmaktadır [12]. Bu durum da hem eklemeli imalat parametrelerinin hem de ardıl işlemlerin nihai özellikler üzerindeki etkilerinin tanımlanmasını zaruri kılmaktadır.

2.1 Eklemeli İmalat Yöntemleri

Uzun yıllar boyunca eklemeli imalat teknolojilerini tanımlamaya yönelik bir sınıflandırma bulunmamaktaydı ve bu da eklemeli imalat yöntemleri hakkındaki tanımlamaları zorlu hale getirmekteydi. ASTM F2792 Eklemeli İmalat Teknolojileri için Standart Terminoloji (Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies) standardına göre yapılan sınıflandırma, eklemeli imalat yöntemleri hakkında bugüne kadar yapılmış en kapsamlı sınıflandırmadır ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir [13, 14].



Şekil 2.3. Eklemeli imalat yöntemlerinin ürünün oluşum metodolojisine göre sınıflandırılması [13, 14]

ASTM F2792 standardına göre eklemeli imalat yöntemleri 7 alt kategoride incelenmiştir:

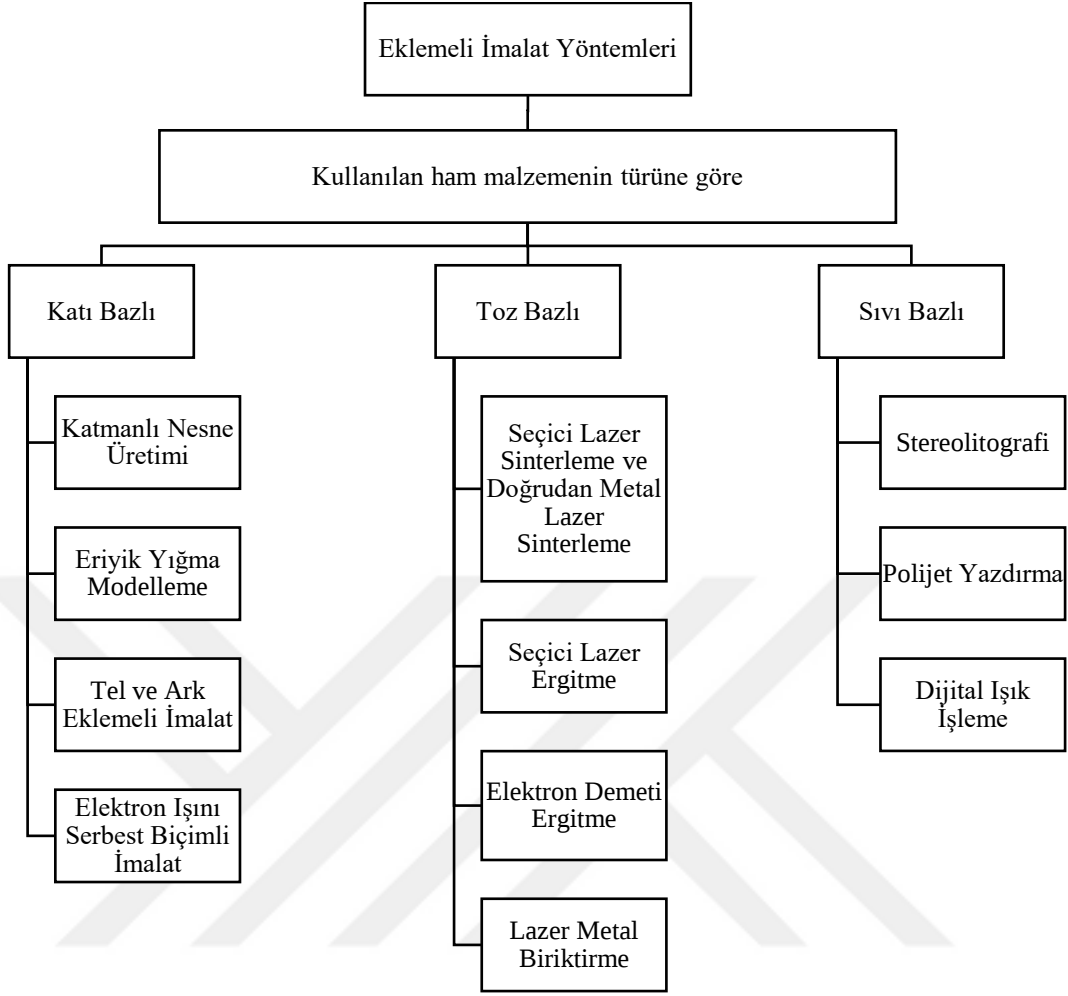
- Malzeme Püskürtme, malzemenin damlacık halinde seçici olarak katmanlaştırıldığı/biriktirildiği,
- Bağlayıcı Püskürtme, toz malzemeleri birleştirmek için sıvı bir bağlayıcı maddenin seçici olarak malzemeyi katmanlaştırdığı,
- Fotopolimerizasyon, bir hazne içindeki sıvı polimerin ışıkla etkinleştirilen polimerizasyon yoluyla seçici olarak sertleştirildiği,
- Toz Yatağı Birleştirme, termal enerjinin toz yatağı bölgelerini seçici olarak katmanlaştırdığı,
- Malzeme Ekstrüzyon, malzemenin bir nozul veya dar kanal/delik aracılığıyla seçici olarak dağıtıldığı,
- Doğrudan Enerji Depolama, malzemenin katmanlaştırılması esnasında eritilerek kaynaştırılması için odaklanmış termal enerjinin kullanıldığı,
- Plaka Tabakalama, malzeme sac veya folyolarının bir parça oluşturulacak şekilde birleştirildiği,

eklemeli imalat yöntemleridir.

Bir parça oluşturmak için katmanların oluşturulma şekli, çalışma prensibi ve kullanılacak olan malzemelere göre farklılık göstermektedir. Seçici lazer ergitme (SLE), seçici lazer sinterleme (SLS) ve eriyik yığma modelleme (EYM) gibi eklemeli imalat yöntemleri imalat esnasında katmanları oluşturmak için malzemeyi sinterleyerek veya eriterek birleştirmektedir. Eklemeli imalat yöntemlerinin geleneksel yöntemlere kıyasla bazı avantajları bulunmaktadır [15-17]:

- Talaşlı imalata dayanan üretim yöntemleriyle kıyaslandığında, eklemeli imalat yöntemleri atık malzeme miktarını en aza indirgeyerek malzeme verimliliğini arttırmaktadır.
- Geleneksel retim yöntemlerinde kullanılan aparat, kesici takım, kalıp gibi ilave yardımcı aletlere gereksinim duyulmadığından üretim maliyeti ve süresi önemli ölçüde azalmaktadır.
- İlave retim süreçlerine gerek kalmadan iki veya daha fazla bileşenden oluşan parçaların doğrudan tek seferde retilbilmesine olanak sağlamaktadır.
- 3 boyutlu yazıcılar ile tasarım ve üretim arasındaki süreçler atlanarak, tasarım aşamasından doğrudan nihai ürüne ulaşılmasına olanak sağlamaktadır. Bu zelliliğinden dolayı iş gücünü ve zamanı azaltarak verimliliği arttırmaktadır.
- Geometrik kısıtlamaları ortadan kaldırmakta ve tasarım özgürlüğü sağlamaktadır, geleneksel yöntemlerle üretilmesi zor veya imknsız olan parçalar eklemeli imalat yöntemleri ile kolayca retilbilmektedir.
- Prototip retiminde maliyeti önemli ölçüde azaltmaktadır.

Parçanın retileneği ham malzeme, metal toz, polimer veya seramik polimer formda olacak şekilde seçilebilmektedir ve eklemeli imalat yöntemlerinde kullanılan ham malzemenin türüne göre sınıflandırması şekil 2.4'te gösterilmiştir [14]. Bu çalışmada kullanılan numuneler, metal toz halde bulunan AlSi10Mg alaşımının, SLE yöntemi seçilerek üretilmesiyle elde edilmiştir.

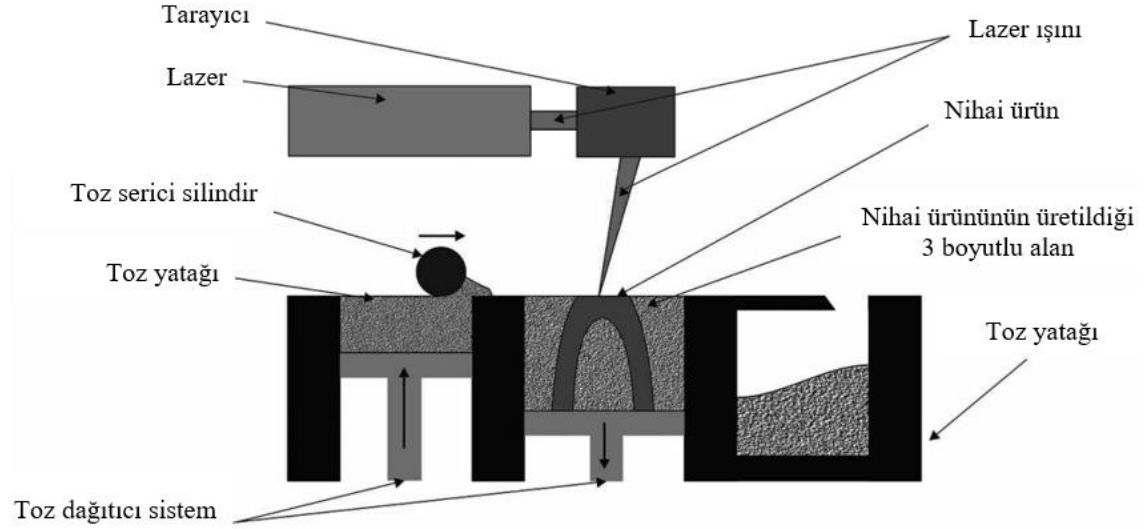


Şekil 2.4. Eklemeli imalat yöntemlerinin kullanılan temel malzemenin türüne göre sınıflandırılması [14]

2.1.1 Seçici lazer ergitme (SLE) yöntemi

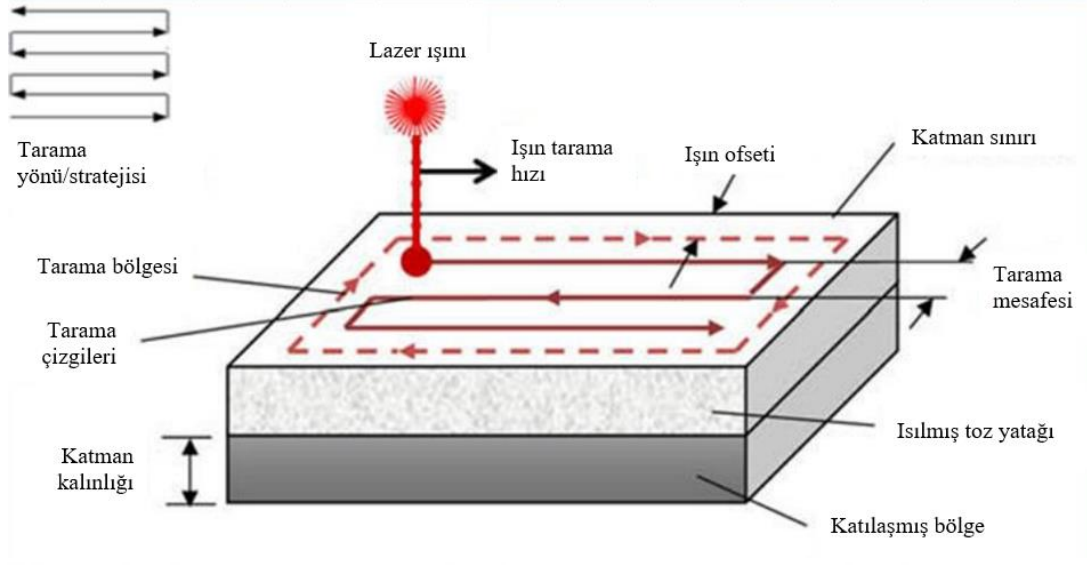
Seçici lazer ergitme (SLE) eklemeli imalat üretim yönteminde, lazer ile sağlanan ısı girdisi toz tarafından absorbe edilir ve tamamen ergitme gerçekleştirilerek bir önceki katman ile bağ kurması sağlanır. Lazer gücü, metal tozun eritilmesi sürecini belirler. İşlem aşağıdan yukarıya doğru olacak şekilde koruyucu bir gaz atmosferinde (nitrojen, argon vb.) gerçekleştirilir. Toz yatağından metal toz girdisi sağlanır ve metal toz, bir silindir yardımıyla çalışma platformunun yüzeyine eşit olacak şekilde dağıtılır. Fazla toz, yine bir silindir yardımıyla ikinci bir boş tanka aktarılarak çalışma platformundan uzaklaştırılır. Bilgisayar kontrollü bir lazer ışını, seçilen tarama yönüyle metal tozları nokta-nokta eritir. İşlem tamamlanana kadar her katman bir öncekiyle birleştirilir. Bu işlem parçanın tamamı elde edilene kadar devam ettirilir. Metal toz içerisindeki gerçek parça bir elekten geçirilerek metal tozdan arındırılır. Elenen tozlar ise bir sonraki proseste

tekrar kullanılabilir. İmalat işlemi tamamlandıktan sonra, gerçek parça çalışma platformundan çıkarılır ve böylelikle nihai ürün elde edilir. SLE yönteminin çalışma prensibi Şekil 2.5’de şematize edilmiştir [18].

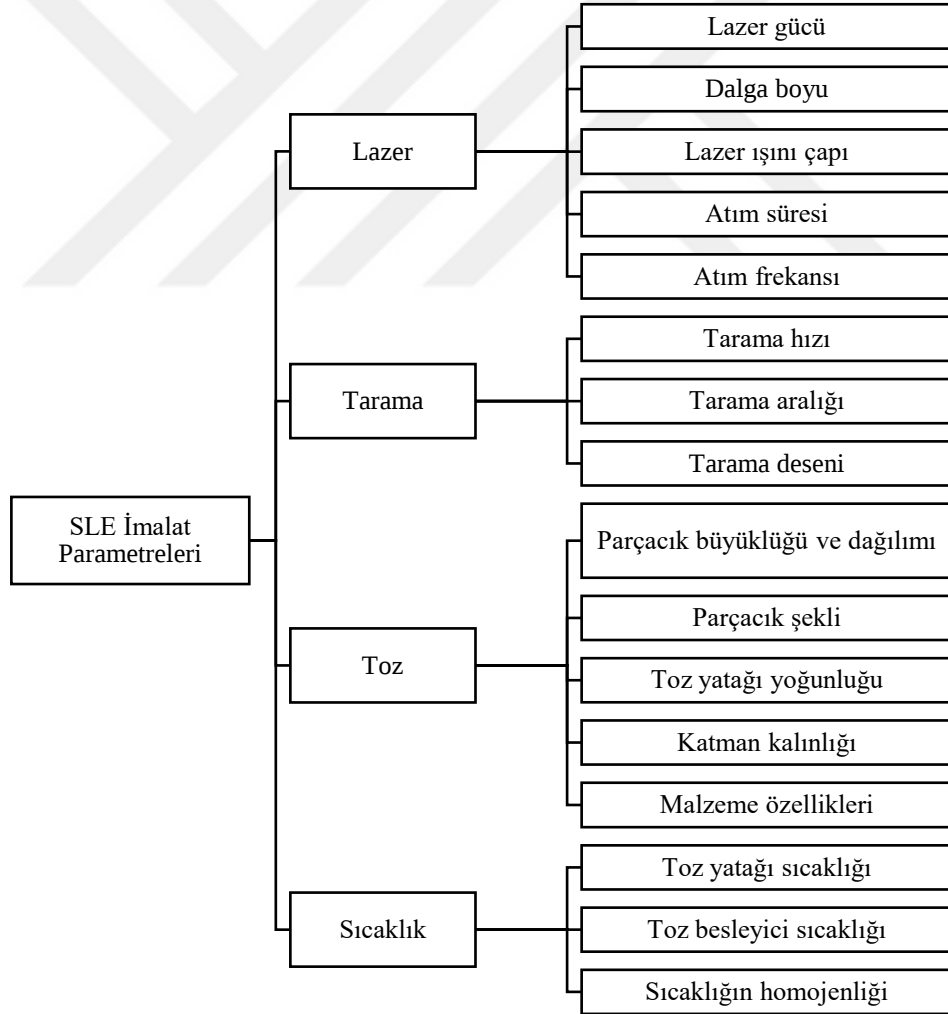


Şekil 2.5. SLE yönteminin çalışma prensibi [18]

SLE yöntemi ile parça üretiminde giriş parametreleri, nihai ürünün özelliklerini ve kalitesini belirlemektedir. Giriş parametreleri lazer gücü, tarama hızı, tarama sıklığı, tarama yönü (stratejisi), katman kalınlığı, toz özellikleri ve sıcaklık olarak belirtilebilir [19] ve bu parametrelerin bazıları Şekil 2.6’da şematize edilmiştir [21]. Etki eden tüm parametreler ise Şekil 2.7’de verilmiştir. Giriş parametrelerinin doğru bir şekilde belirlenmesi imalat prosesi için büyük önem teşkil etmekte ve nihai ürünün bağlı yoğunluğu, mekanik özellikleri, yüzey pürüzlülüğü, geometrik doğruluğu ve metalürjik yapısı kullanılan parametrelere göre değişkenlik göstermektedir [22, 23].



Şekil 2.6. Giriş parametrelerinin şematize gösterimi [21]



Şekil 2.7. SLE yöntemi imalat parametreleri [19, 20]

SLE imalat parametreleri hakkındaki araştırmalar incelediğinde en önemli parametrelerden birinin enerji yoğunluğu olduğu görölmüştür. Enerji yoğunluğu (E); lazer gücünün, tarama hızı, tarama mesafesi ve katman kalınlığı parametrelerine oranı ile ifade edilmektedir ve Eşitlik 2.1 ile hesaplanmaktadır [19-23].

$$E = \frac{P}{v \cdot h \cdot t} \quad (2.1)$$

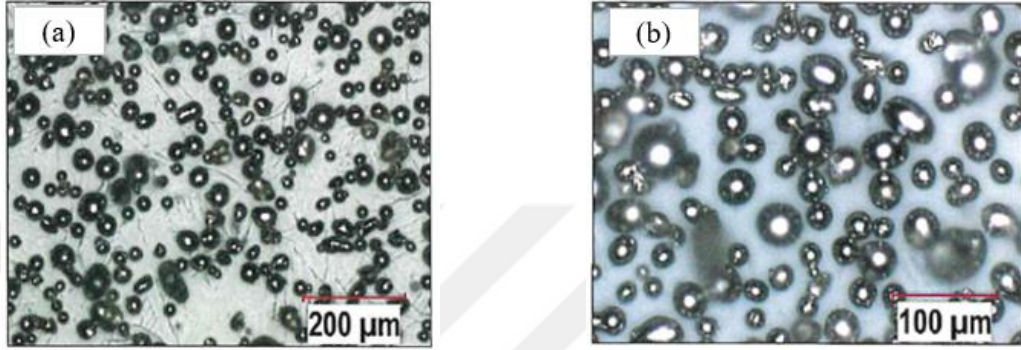
Eşitlik 2.1’de yer alan “E” enerji yoğunluğunu (J/mm³), “P” lazer gücünü (W), “v” tarama hızını (mm/s), “h” tarama mesafesini (mm) ve “t” katman kalınlığını (mm) ifade etmektedir. Eşitliğe göre lazer gücü artarsa veya tarama hızı, tarama mesafesi ve katman kalınlığı azalırsa prosesin enerji yoğunluğu artmaktadır. SLE yöntemi ile imalat esnasında optimum bir enerji yoğunluğu değeri bulunmaktadır ve bu değeri kullanan alaşım tozunun özelliklerine ve imalat tezgahına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [19, 21]

SLE yöntemi ile imalat sürecinde çok sayıda parametre olmasına rağmen lazer gücü, tarama hızı, tarama mesafesi ve katman kalınlığı en önemli parametrelerdendir. Bahsedilen parametrelerin optimum değeri belirlenmesi, malzeme veya imalat prosesi sebebiyle oluşan kusurları en aza indirmek, yüzey pürüzlülüğünü azaltmak, üretim hızını artırmak ve imalat prosesi sonucunda istenilen malzeme özelliklerine sahip nihai ürünü elde etmek için önemlidir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

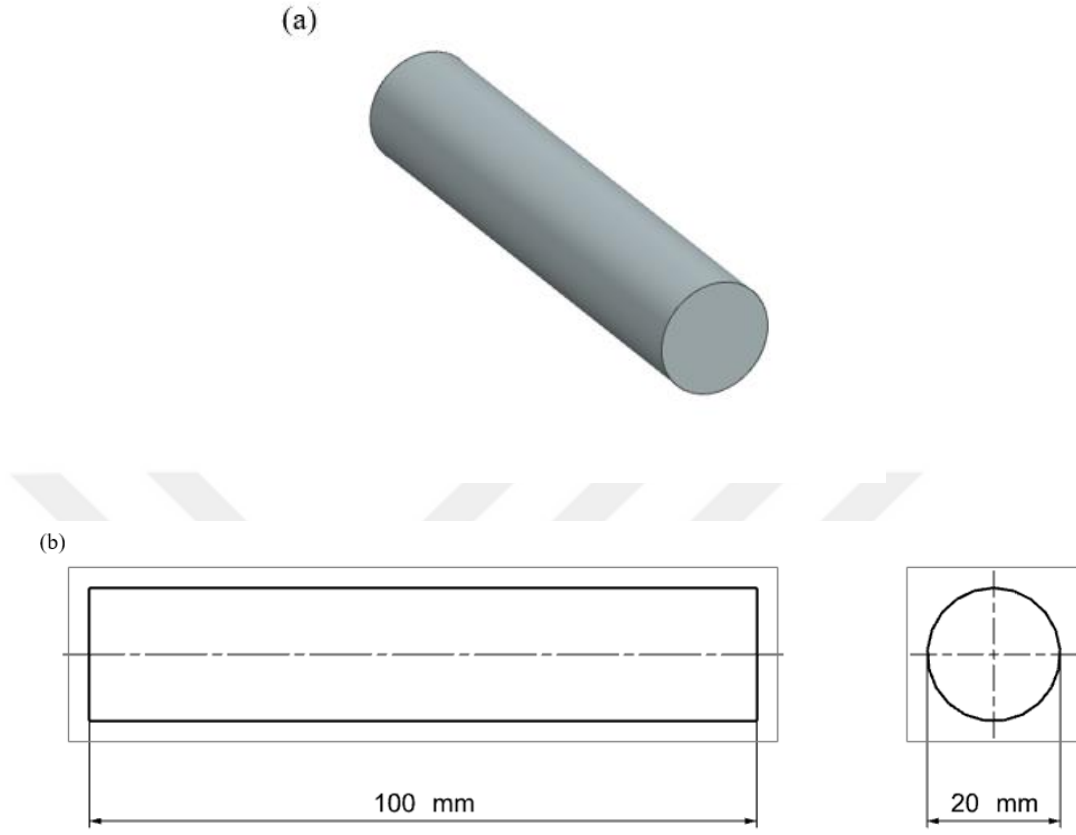
3.1 AlSi10Mg Tozu ve Numune Hazırlığı

Bu çalışmada kullanılan AlSi10Mg metal tozu SLM Solutions firmasından tedarik edilmiştir. Numune üretiminde kullanılan AlSi10Mg, boyutu 20 ila 63 μ m aralığında değişen küresel yapıda bir toz (Şekil 3.1) olup yoğunluğu 2,67 g/cm³'dür.



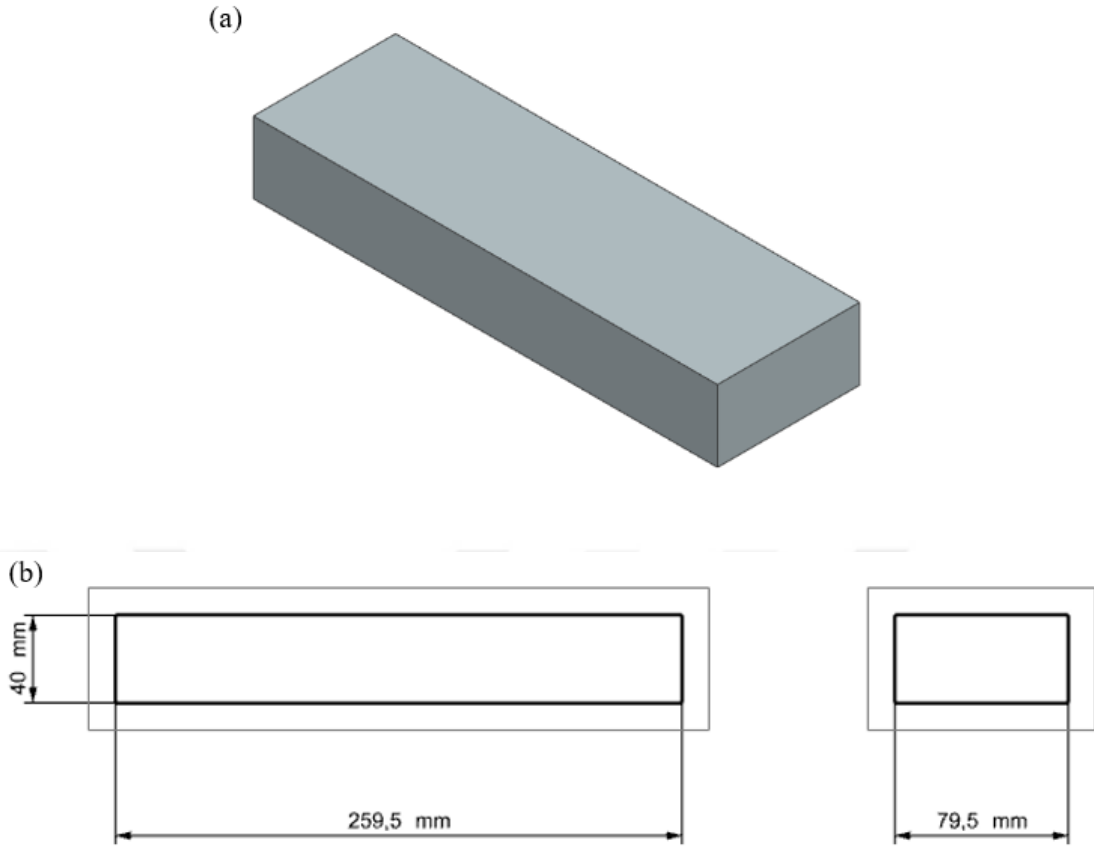
Şekil 3.1. AlSi10Mg alaşım tozunun tanecik şekli; a) 100x büyütme b) 200x büyütme

SLE yönteminde kullanılan tarama yönü malzemenin nihai özelliklerine etki ettiği için yatay ve dikey olmak üzere 2 farklı tarama yönü kullanılarak üretim gerçekleştirilmiştir. Mikroyapı analizinde ve korozyon testlerinde kullanılan numuneler 100 mm uzunluğunda ve 20 mm üretilmiş bar malzemedan elde edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Dikey ve yatay tarama yönlerinde üretilen AlSi10Mg bar malzemenin; a) perspektif görünümü
b) ölçülendirilmesi

Çekme testinde kullanılan numuneler ise 259,5 mm uzunluğunda, 40 mm yüksekliğinde ve 79,5 mm genişliğinde üretilmiş dikdörtgen levha malzemeden elde edilmiştir (Şekil 3.3).

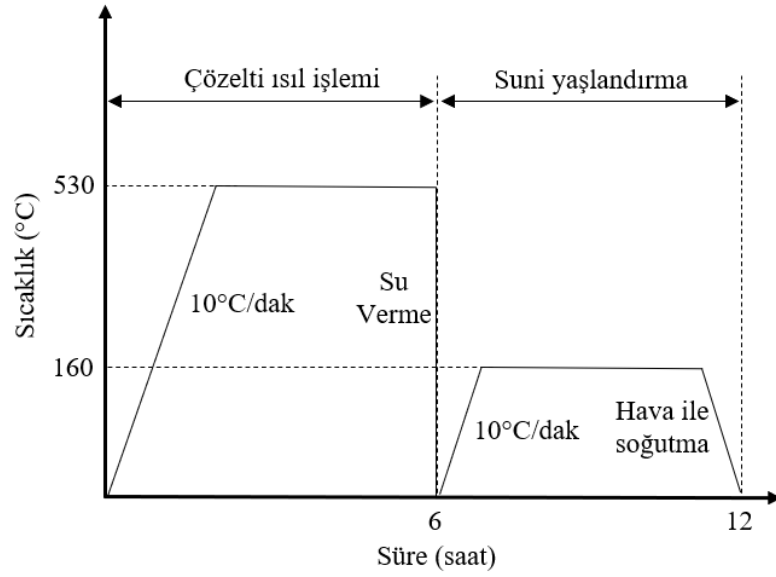


Şekil 3.3. Dikey ve yatay tarama yönlerinde üretilen AlSi10Mg dikdörtgen levha malzemenin; a) perspektif görünümü b) ölçülendirilmesi

3.2 T6 Isıl İşlemi

Çalışma kapsamında T6 ısıtıl işleminin, AlSi10Mg alaşımının mikroyapı, sertlik, korozyon davranışı ve mekanik özelliklerine etkisini incelemek için numunelere T6 ısıtıl işlemi uygulanmıştır.

T6 ısıtıl işlemi AMS 2771 Döküm Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi (Heat Treatment of Aluminum Alloy Castings) standardına göre uygulanmıştır. Alaşımı T6 kondisyonuna getirebilmek için bar ve dikdörtgen levha halindeki yatay ve dikey tarama yönüne sahip numuneler 530°C ($\pm 6^\circ\text{C}$) sıcaklıkta 6 saat tutularak çözeltiye alınmış, sonrasında su verilmiş ve 160°C ($\pm 6^\circ\text{C}$) sıcaklıkta 6 saat suni yaşlandırma uygulanmıştır [24,25]. T6 ısıtıl işlem proses grafiği Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. T6 ısıtım prosesi grafiği

Çözeltiye alma ısıtım işleminin temel amacı SLE sırasında oluşan ikincil fazları çözerek yapıyı homojenize etmektir. Akabinde uygulanan yapay yaşlandırmanın amacı ise aşırı doymuş katı çözültiden Si çökmesini sağlamaktır. Elde edilen küçük çökeltilerin düzgün dağılımı, malzemenin mekanik özelliklerini geliştirmektedir [26].

3.3 Korozyon Testi

Korozyon testi malzemenin çevresel etkilere karşı dayanıklılığını ve kullanım ömrünü tespit etmek için uygulanmaktadır. Bu çalışmada korozyon testinde kullanılacak olan numuneler ASTM G4 Saha Uygulamalarında Korozyon Testlerinin Yürütülmesine İlişkin Standart Kılavuzda (Standard Guide For Conducting Corrosion Tests In Field Applications) izin verilen numune ebatları dikkate alınarak hazırlanmıştır. Bu doğrultuda AlSi10Mg bar malzemenin 20 mm çapında ve 5 mm kalınlığında diskler Mikrotest Multi Cut Easy cihazı ve AKASEL AKA-CUT 500 V kesme diski kullanılarak kesilmiştir. Hazırlanan numunelerin yüzeyleri, korozyon davranışının iyi bir şekilde gözlemlenebilmesi için Mikrotest zımparalama/parlatma cihazıyla 120 grit zımpara kâğıdı ile parlatılmıştır [27].

Korozyon testinin uygulanacağı numunelerin tarama yönü ve kondisyonu, ortam koşulları ve test sıcaklıkları, alaşımın uygulamada maruz kalacağı şartlar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Tablo 3.1).

Tablo 3.1. Korozyon testi numune tarama yönü/kondisyonu, ortam koşulu ve test sıcaklığı

Tarama Yönü/Numune Kondisyonu	Ortam koşulu	Test Sıcaklığı (°C)
Dikey/Isıl işlemsiz	Aeroshell 555 yağı	25
	Ağırlıkça %5 NaCl çözeltisi	35
	Hava	200
Yatay/Isıl işlemsiz	Aeroshell 555 yağı	25
	Ağırlıkça %5 NaCl çözeltisi	35
	Hava	200
Dikey/T6 ısıtılmış	Aeroshell 555 yağı	25
	Ağırlıkça %5 NaCl çözeltisi	35
	Hava	200
Yatay/T6 ısıtılmış	Aeroshell 555 yağı	25
	Ağırlıkça %5 NaCl çözeltisi	35
	Hava	200

NaCl çözeltisi korozyon testi, Şekil 3.5’de verilen Ascott S450iP marka korozyon test kabini kullanılarak ASTM B117 Tuz Püskürtme (Sis) Aparatının Çalıştırılması İçin Standart Uygulama (Standard Practice For Operating Salt Spray (Fog) Apparatus) şartnamesine göre gerçekleştirilmiştir. 30 gün boyunca sürdürülen test sürecinde numuneler belirli periyotlarda kabinden çıkartılarak kütle ve yüzey değişimi yönünden incelenmiştir. Kabin içerisinde korozyona maruz bırakılan numuneler incelenmek üzere kabinden çıkartıldıktan sonra 38°C altında sıcaklığa sahip saf su ile yüzeyleri temizlenip kurulanmıştır [28].



Şekil 3.5. Ascott S450iP marka korozyon test kabini

Aeroshell 555 yağındaki korozyon testi, 4 adet beher içerisine 100 ml yağ doldurularak gerçekleştirilmiş ve yüzeydeki korozyon incelemelerinin yapılabilmesi için saf su ile yağdan arındırılmıştır. NaCl çözeltisi korozyon testinde olduğu üzere 30 gün süren test boyunca numuneler belirli periyotlarda yüzey ve kütle değişimi yönünden incelenmiştir.

Sıcaklığın korozyon davranışını incelemek amacıyla MSE marka (Şekil 3.6) atmosfer kontrollü fırın kullanılmıştır. Yüksek sıcaklık korozyon testi için fırın 10°C/dak ısıtma hızı ile 200°C'ye ısıtılmıştır.



Şekil 3.6. MSE marka atmosfer kontrollü yüksek sıcaklık fırını

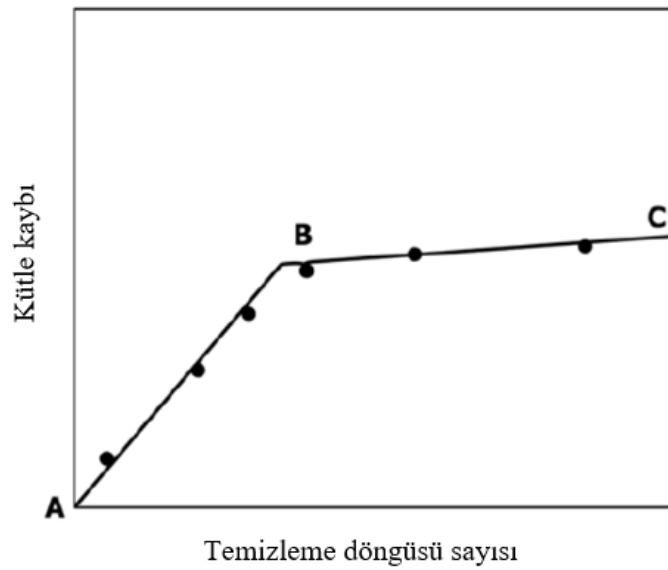
Atmosfer koşullarında korozyon testi uygulanan numuneler 30 gün boyunca her 10 günde bir fırından çıkartılarak yüzeydeki korozyon ve ağırlık değişimi yönünden incelenmiştir.

Alaşımın, belirli bir zaman diliminde (yılda) mikrometre cinsinden kütle kaybını hesaplamak için ASTM G31-72 Metallerin Laboratuvar Ortamında Daldırma Korozyon Testine İlişkin Standart Uygulama'da (Standart Practice For Laboratory Corrosion Testing of Metals) belirtilen korozyon hızı Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır [29]. Eşitlikte yer alan malzeme özkütlesi, tarama yönü ve ısıl işlem koşullarına bağlı olarak değişiklik gösterebileceği için her bir koşuldaki özkütle Arşimet prensibi doğrultusunda ölçülmüştür.

$$\text{Korozyon hızı} = \frac{K \cdot W}{A \cdot T \cdot D} \left[\frac{\mu m}{yıl} \right] \quad (3.1)$$

- $K=8,76 \times 10^7$ korozyon hızı sabiti,
- W ; kütle kaybı (g),
- A ; korozyona maruz kalan alan (cm^2),
- T ; korozyon test süresi (s),
- D ; malzemenin özkütlesi (g/cm^3)'dir.

Kütle kaybına göre korozyon hızının hesaplanabilmesi için numuneler korozyon testi sonrasında ASTM G1-03 Korozyon Testi Numunelerinin Hazırlanması, Temizlenmesi ve Değerlendirilmesine İlişkin Standart Uygulamada (Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens) belirtilen AlSi10Mg alaşımına uygun şekilde korozyondan arındırılmıştır [30]. Numuneler öncelikle %69 konsantrasyondaki nitrik aside (HNO_3) 1-5 dakika süreyle daldırılmış ve ultrasonik temizlik adımlarının tekrarlanmasıyla yüzeyde oluşmuş korozyon temizlenmiştir. ASTM G1-03 standardına göre kütle kaybı analizinin tutarlı yapılabilmesi için bu temizlik döngüsünün tekrarlanması gerekmektedir. Gerçek kütle kaybının tutarlı bir şekilde belirlenebilmesi için ise Şekil 3.7’deki gibi bir eğri elde edilene kadar temizlik döngüsü tekrarlanmış ve temizlik döngü sayısı belirlenmiştir. Temizlik döngüleri esnasında çizilen eğrideki B noktasından itibaren eğrinin yatay hale gelmesi malzemenin korozyondan tamamen arındırılmış olduğu anlamına gelmektedir. Eşitlik 3.1’deki kütle kaybı (W) belirlenmesinde kullanılacak olan değer B noktası ile gösterilmektedir.

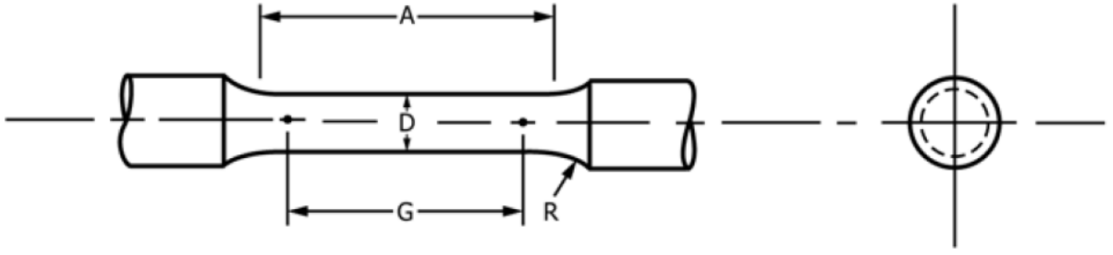


Şekil 3.7. Tekrarlanan temizleme döngü sayısına göre korozyona uğramış numuneleri kütle kaybı grafiği [30]

3.4 Çekme Testi

Çekme testinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bu çalışmada çekme testinde kullanılacak olan numuneler, yatay ve dikey tarama yönündeki AlSi10Mg dikdörtgen levha malzemedan ASTM E8/E8M Metalik Malzemelerin Gerilim Testi İçin Standart Test Yöntemlerinde (Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials) belirtilen küçük boyutlu 3. numune tipine göre hazırlanmıştır [31]. Şekil 3.8’de verilen:

- İlk ölçü uzunluğu (G) 24.0 ± 0.1 mm,
- Gövde çapı (D) 6.0 ± 0.1 mm,
- En küçük kavis yarıçapı (R) 6.0 mm,
- En küçük gövde uzunluğu (A) 30.0 mm’dir.



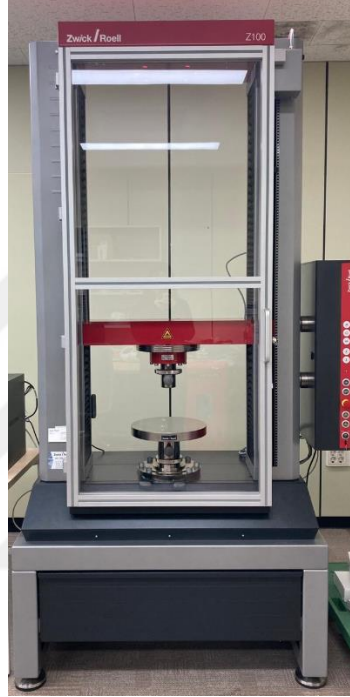
Şekil 3.8. ASTM E8/E8M şartnamesine göre çekme testi numunelerinin boyutlandırılması

Alaşımın uygulamada kullanılacağı şartlar göz önünde bulundurularak çekme testi sıcaklıkları 25°C, 100°C ve 200°C olarak belirlenmiştir (Tablo 3.2). Ayrıca tarama yönünün (dikey ve yatay) ve ısıı işlemin (ısıı işlemsiz ve T6 ısıı işlem uygulanmış) çekme performansına etkisi de incelenmiştir.

Tablo 3.2. Çekme testi numune tarama yönü/kondisyonu ve test sıcaklığı

Tarama Yönü/Numune Kondisyonu	Test Sıcaklığı (°C)
Dikey/Isıl işlemsiz	25
	100
	200
Yatay/Isıl işlemsiz	25
	100
	200
Dikey/T6 ısıı işlemlı	25
	100
	200
Yatay/T6 ısıı işlemlı	25
	100
	200

Yüksek sıcaklık çekme testleri, ASTM E21 Metalik Malzemelerin Yüksek Sıcaklık Gerilme Testleri için Standart Test Yöntemleri (Standard Test Methods For Elevated Temperature Tension Tests Of Metallic Materials) doğrultusunda Şekil 3.9'daki Zwick/Roell Z100 marka çekme testi cihazı ile yapılmıştır [32]. Her bir test koşulu için ortalama değerler üçer adet numunenin testi sonucunda belirlenmiştir.



Şekil 3.9. Zwick/Roell Z100 marka çekme testi cihazı

4. KARAKTERİZASYON ÇALIŞMALARI

4.1 X-Işını Floresans Spektrometresi (XRF) Analizi

Bar ve dikdörtgen plaka şeklinde ham halde alınan AlSi10Mg alaşımının kimyasal kompozisyonunu doğrulamak için Şekil 4.1’deki Vanta Element marka XRF analiz cihazı kullanılmıştır.



Şekil 4.1. Vanta Element marka XRF analiz cihazı

4.2 Optik Mikroskop

Isıl işlemsiz ve T6 ısıtılma işlemi uygulanmış AlSi10Mg alaşımının içyapı analizlerinin yapılabilmesi için Clemex Vision Professional Edition yazılımına sahip Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskop kullanılarak (Şekil 4.2) 100x, 200x ve 500x büyütmede içyapı görselleri alınmıştır.



Şekil 4.2. Nikon Eclipse LV150 marka optik mikroskop

İçyapı analizi için bar malzemelerden hazırlanan kesitler Metkon Metapress-A cihazında sıcak bakalite alınmıştır. Mikrotest zımparalama/parlatma cihazıyla (Şekil 4.3) hazırlanan yüzey Keller dağılayıcısı ile (95 ml su, 2,5 ml HNO₃, 1,5 ml HCl, 1 ml HF) 25-30 saniye boyunca dağılanmıştır [33].

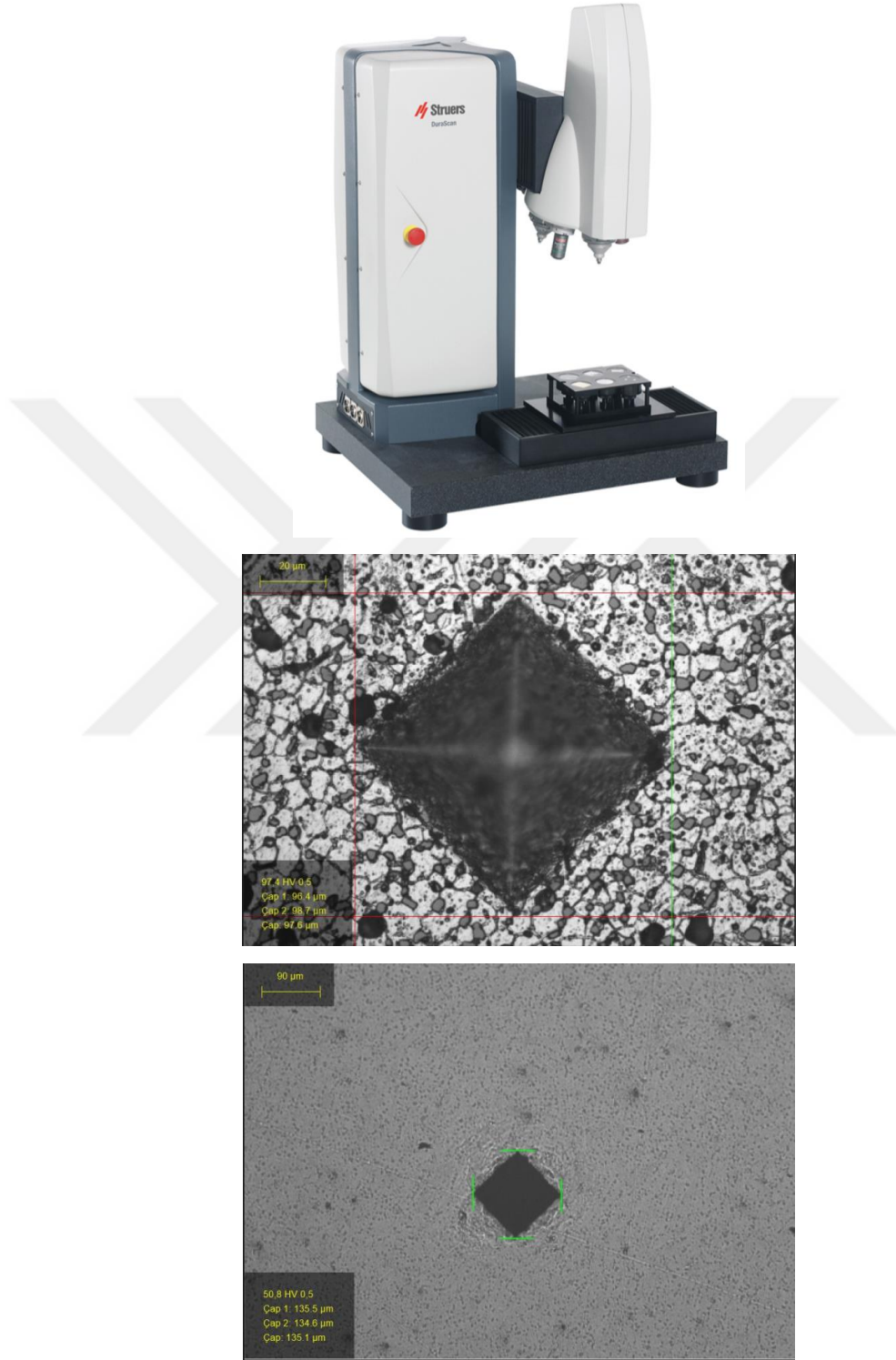


Şekil 4.3. a) Mikrotest Multi Cut Easy marka kesme cihazı b) Metkon Metapress-A marka sıcak bakalite alma cihazı c) Mikrotest zımparalama/parlatma cihazı

4.3 Sertlik Testi

Sertlik, malzemelerin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında, ısıtılmış ve T6 ısıtılmış işlem uygulanmış numunelerde, tarama yönlerinin ve malzeme koşullarının sertlik değerlerine etkisinin incelenmesi amaçlanmış ve sertlik testi sonuçları ile mekanik özellikler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için numunelere sertlik testi uygulanmıştır. Numunelerden, Şekil 4.4'te gösterilen DuraScan 70 G5 marka sertlik testi cihazı ile Vickers HV0.5 sertlik ucu kullanılarak 5 N'luk yük 7-8 saniye boyunca uygulanmış ve

sertlik testi ölçümleri alınmıştır. Her bir numunenin sertliği 10 farklı noktadan ölçülmüş ve ölçümlerin ortalaması alınarak nihai sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.4. a) DuraScan 70 G5 marka sertlik ölçüm cihazı b) Vickers izinin 50x büyütmede optik görüntüsü c) Vickers izinin 10x büyütmede optik görüntüsü

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 XRF Analizi Sonuçları

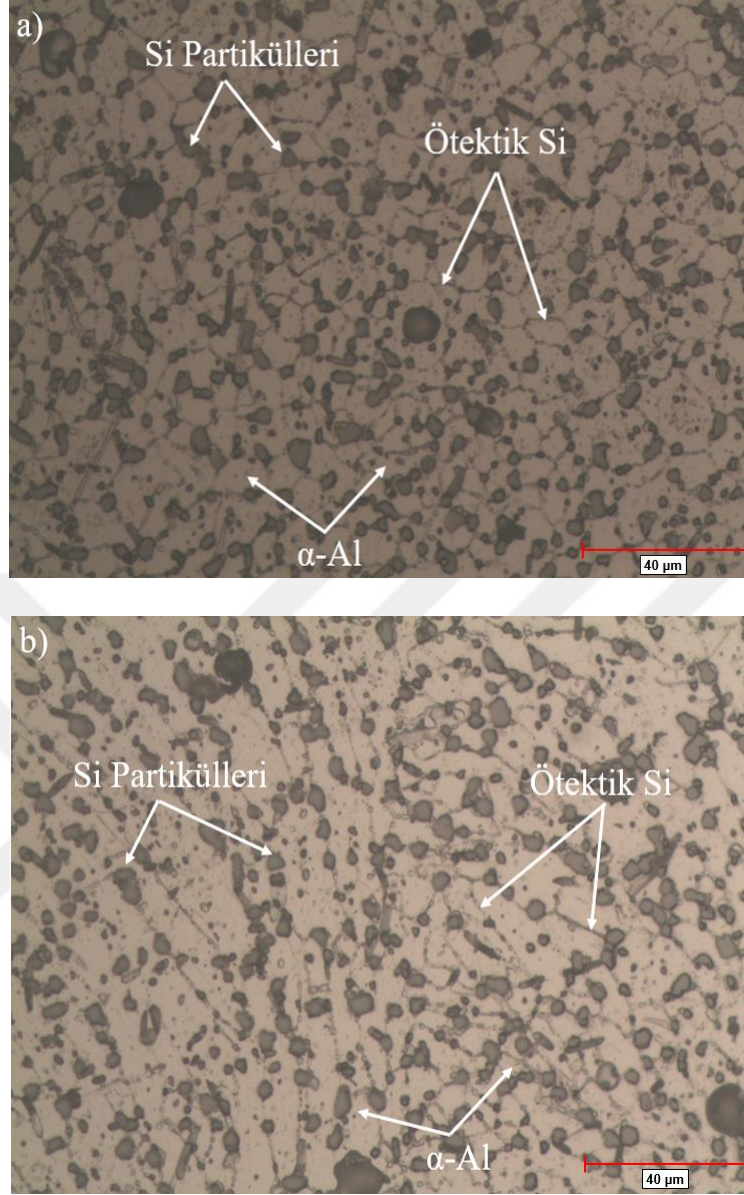
AlSi10Mg alaşımı bar malzemenin ASTM F3318 standardına göre olması gereken kimyasal kompozisyonu ve Vanta Element Handheld XRF Analyzer cihazı ile ölçülen gerçek kompozisyon değerleri Tablo 3.1’de verilmiştir [24]. Yapılan XRF analizi sonucunda; üretilen AlSi10Mg alaşımının standarttaki bileşim aralığına giren bir kimyasal kompozisyona sahip olduğu doğrulandı.

Tablo 5.1. AlSi10Mg kimyasal kompozisyon gerekliliği ve gerçekte ölçülen değerler (Ağırlıkça %) [24]

Element	Gereklilik (Min. / Maks.)	Gerçekte ölçülen
Al	Geriye kalan	Geriye kalan
Cu	-- / 0.05	<0.01
Fe	-- / 0.55	0.12
Mg	0.20 / 0.45	0.34
Mn	-- / 0.45	<0.01
Ni	-- / 0.05	<0.01
Si	9.00 / 11.00	9.9
Ti	-- / 0.15	<0.01
Zn	-- / 0.10	<0.01
Diğer Elementler, her biri	-- / 0.05	<0.05
Diğer Elementler, toplam	-- / 0.15	<0.15

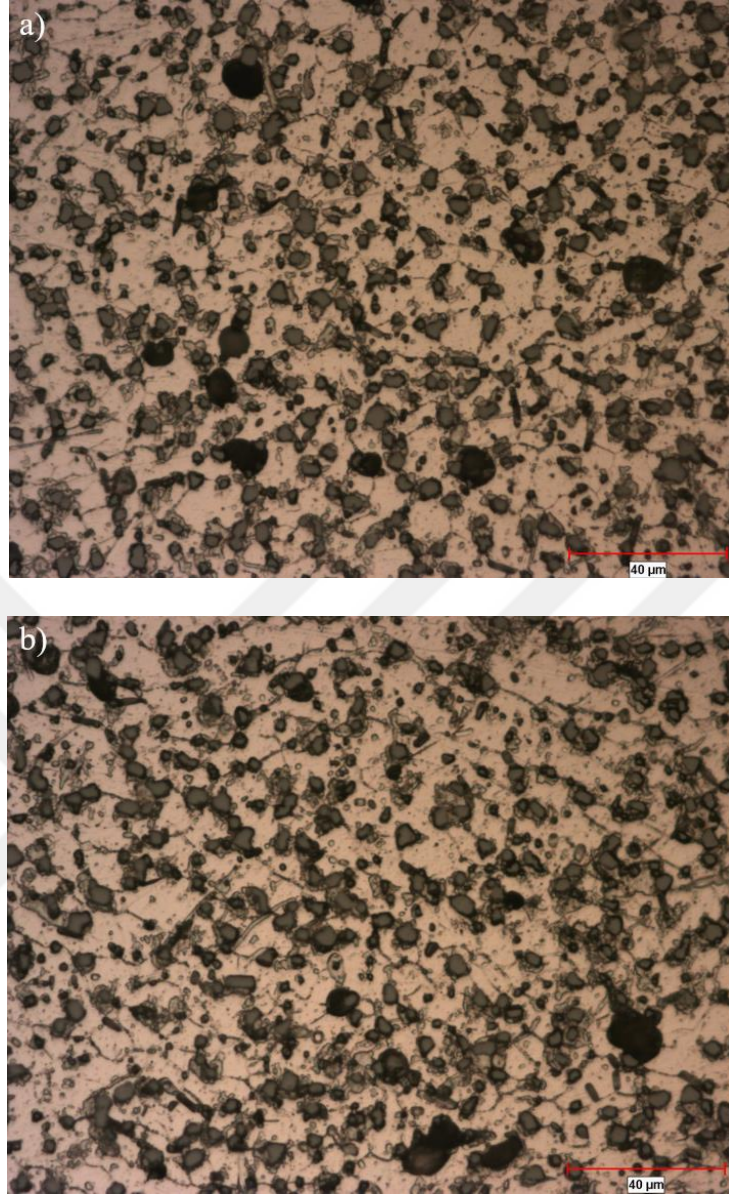
5.2 Optik Mikroskop Analizleri

Hem dikey hem de yatay tarama yönündeki ısıtıl işlem uygulanmamış ham halde bulunan AlSi10Mg alaşımının içyapısı incelendiğinde, Şekil 5.1’de gösterilen α -Al taneler (açık renkli bölgeler) ile tane sınırlarındaki Si fazından oluştuğu görülmüştür. Literatürde taraması sonucunda bunun sebebinin malzemenin üretim işlemi esnasında meydana gelen hızlı soğuma olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca tane sınırlarına çökelmiş olan ince Si duvarları SLE yöntemi ile üretilen AlSi10Mg alaşımının mekanik özellikleri üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır [34-36].



Şekil 5.1. 500x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış

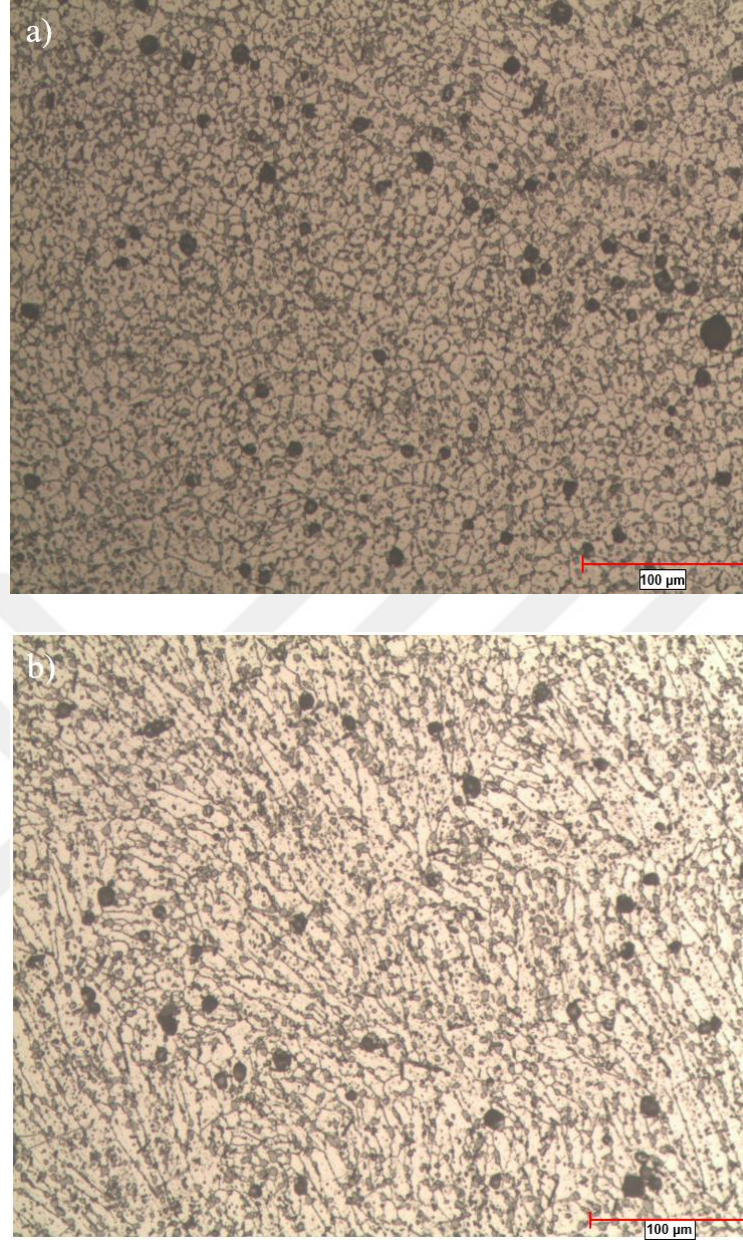
Dikey ve yatay numunelere uygulanan T6 ısıt işlemi sonrası, ısıt işlem uygulanmamış numunelere kıyasla daha homojen bir içyapı elde edilmiştir (Şekil 5.2). Literatürdeki çalışmalar dikkate alındığında SLE yöntemi ile üretilen AlSi10Mg alaşımlarında T6 ısıt işleminin, homojen bir içyapı oluşturarak malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşmeyi sağlayacağı öngörülmüştür [26].



Şekil 5.2. 500x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki T6 ısıtma işlemi uygulanmış

Dikey tarama yönünde katmanlar arası daha hızlı ısı transferi gerçekleşmektedir ve katılma hızı yüksektir. Bu sebeple dikey tarama yönünde mikroyapıdaki taneler küçük ve eş eksenlidir. Yatay tarama yönünde ise mikroyapı, uzun ve sütun benzeri dendritik yapılardan oluşmakta ve lazerin hareket yönüne paralel olarak uzanmaktadır (Şekil 5.3).

Isıl işlem uygulanmamış dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin mikroyapı analizleri ele alındığında, homojen ve benzer gözenekli (porozite) yapıya sahip olduğu gözlemlenmektedir (Şekil 5.3).



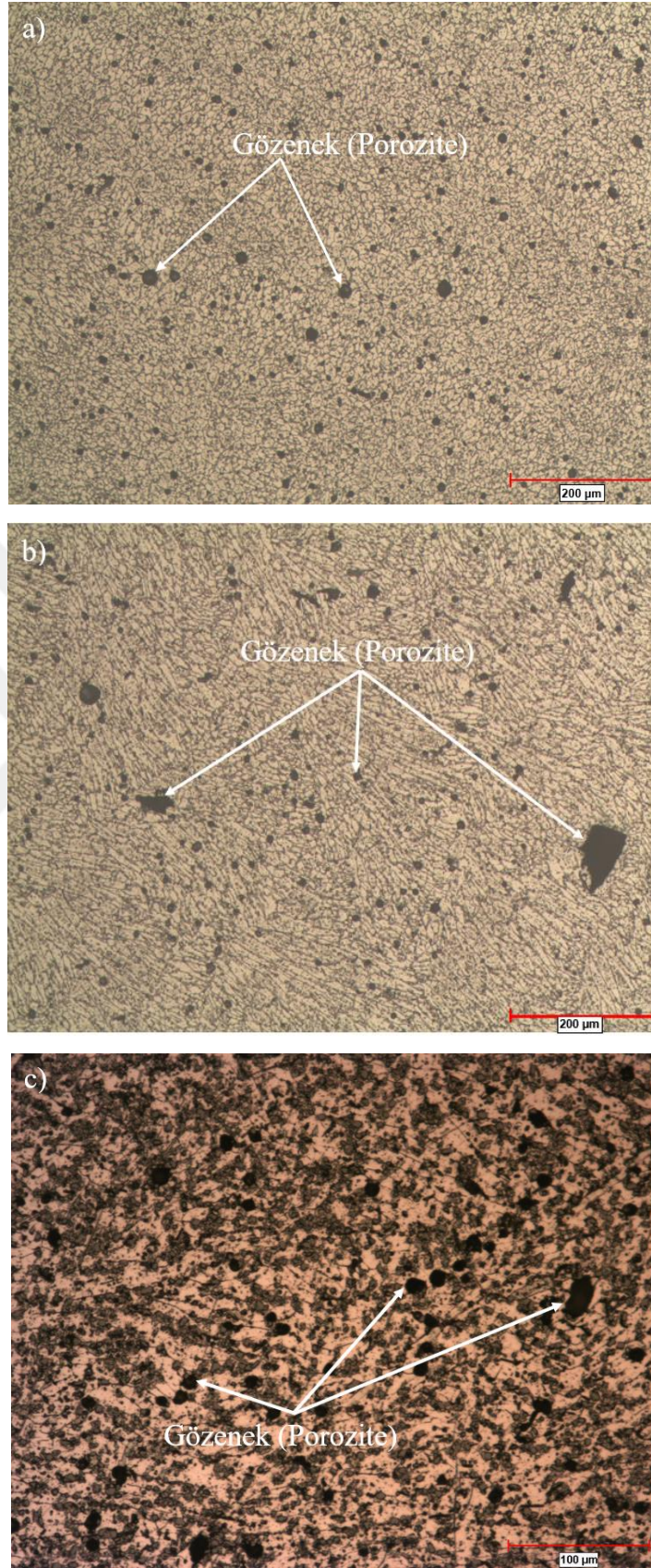
Şekil 5.3. 200x büyütmede AlSi10Mg alaşımının mikroyapısı; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıtma işlemi uygulanmamış

Küresel gözenekler, üretim esnasında kullanılan gazın sebep olduğu gözeneklilik olarak bilinmektedir. Gözenekliliğin; tozun erimesi sırasında kullanılan gazın eriyik havuzunda hapsedilmesinden, başlangıçtaki ham tozun içinde mevcut olmasından, üretim esnasındaki yetersiz enerjinin bir sonucu olarak tozun tam olarak erimemesinden veya tozun lazer ışınıyla temas etmesi üzerine toz yatağından sıçrayan püskürmeden kaynaklanabildiği bilinmektedir. Her durumda, küresel gözenekler bitmiş nihai ürün yapısında kalabilmektedir.

Isıl işlem uygulanmayan dikey ve yatay tarama yönünde üretilmiş numunelerde küresel (üretim süreci kaynaklı) gözeneklerin mevcut olduğu Şekil 5.4a-b’de gösterilmiştir. T6 ısıtım işlem prosesinin gözenekli yapıya etkisinin incelenmesi amacıyla yatay tarama yönündeki mikro yapı örnek olarak Şekil 5.4c’de verilmiştir ve bununla birlikte T6 ısıtım işlem prosesinin her iki tarama yönündeki numuneler için mikro yapıyı daha fazla homojenize ettiği fakat gözenekliliği gidermediği sonucuna varılmıştır.

Yusuf ve ark. dikey ve yatay tarama yönü için yaptıkları mikro yapı incelemelerinde yatay tarama yönündeki gözenekliliğin seyrek ve büyük boyutlu olduğunu, dikeyde ise sık ve küçük boyutlu olduğunu gözlemlemişlerdir ve bu gözlem sonucunda; dikey tarama yönündeki mikroyapının malzemenin mekanik özelliklerinde iyileşmeye sebebiyet verebileceği, yatay tarama yönündeki düzensiz gözenekli yapının ise olumsuz yönde etki yaratabileceğini düşünmüşlerdir [37].

Bu çalışmadaki AlSi10Mg alaşımının tarama stratejisine bağlı olarak hem ısıtım işlemsiz hem de T6 ısıtım işlem uygulanmış numunelerdeki mikroyapı analizlerinin, literatürdeki çalışmalar ile örtüşmediği görülmüştür.



Şekil 5.4. 100x büyütmede; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış, 200x büyütmede; c) yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış AlSi10Mg alaşımının mikroyapısındaki gözeneklilik (porozite)

5.3 Sertlik Testi Analizleri

SLE yöntemi ile elde edilen alaşımların tarama yönlerinin ve T6 ısıtıl işlem prosesinin sertlik değerlerine etkisini incelemek amacıyla numunelerin her birinden 10 farklı noktadan ölçüm alınarak hesaplanan sertlik testi sonuçları Tablo 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.2. *AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemi uygulanan numunelerin sertlik testi sonuçları*

	Sertlik (HV)	Sapma
Dikey ısıtıl işlemsiz	101	±3
Yatay ısıtıl işlemsiz	106	±6
Dikey T6 ısıtıl işlemli	116	±4
Yatay T6 ısıtıl işlemli	115	±4
Dikey ısıtıl işlemsiz (200°C)	51	±3
Yatay ısıtıl işlemsiz (200°C)	52	±4
Dikey T6 ısıtıl işlemli (200°C)	49	±5
Yatay T6 ısıtıl işlemli (200°C)	50	±2

Elde edilen sonuçlara göre, dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz numunelerin sertlik değerleri arasındaki farkın çok az olduğu görülmüştür. Fakat yatay tarama yönündeki sertlik değerinin dikey olana kıyasla biraz daha yüksek olmasının sebebi numunelerin farklı tarama stratejisine ve dolayısıyla farklı mikroyapıya sahip olmaları ile ilişkilendirilmektedir. İki farklı tarama stratejisine sahip numunelerin mikroyapı incelemelerinde tespit edilen tane boyutlarının ve şekillerinin farklılık göstermesinin sertlik değerlerindeki farka sebebiyet verdiği düşünülmektedir.

Uygulanan ısıtıl işlemle beraber gözlemlenen sertlik değerlerindeki artış, T6 ısıtıl işlem prosesinin mikroyapıyı homojenleştirmesine bağlanmaktadır. Ayrıca ısıtıl işlem sonrası mikroyapıdaki çökelti sertleşmesi, dislokasyon hareketlerini zorlaştırmakta ve bu da malzemenin sertliğinde artışa sebep olan bir diğer etken olarak ön plana çıkmaktadır.

Literatürdeki bazı çalışmalarda SLE yöntemi ile üretilmiş AlSi10Mg alaşımına uygulanan T6 ısıtıl işlem prosesinin, alaşımın ısıtıl işlemsiz haline kıyasla, alaşımın sertliğini azalttığı görülmüştür. Yu ve Wang yaptıkları çalışmada, 535°C’de çözeltiye

alma sonrasında uygulanan 158°C’de 10 saat yapay yaşlandırma sonucunda alaşımın sertliğinde %20 azalma [38]; Wei ve ark. ise farklı çözeltiliye alma sıcaklıklarında (400 °C, 450 °C, 500 °C ve 540 °C) ve 170 °C’de 10 saat uyguladıkları yapay yaşlandırma sonrası alaşımın sertliğinde %16 azalma gözlemlemişlerdir [39].

Zhou ve ark. çözeltiliye alma sıcaklığını 520°C’de, yapay yaşlandırma sıcaklığını 160°C’de sabit tutmuşlar ve yapay yaşlandırma sürelerini 1, 3, 6, 8, 10, 12, 15 ve 24 saat olarak değiştirmişlerdir [40]. Clement ve ark. benzer bir çalışma yapmış olup çözeltiliye alma sıcaklığını 540°C’de, yapay yaşlandırma sıcaklığını 140 ve 160°C alarak, 1-16 saat aralığında sertlik ölçümleri almışlardır. Her iki çalışmada da AlSi10Mg alaşımına T6 ısıtıl işlemi prosesi uygulandığı esnada yapay yaşlandırma sıcaklığının 140-160°C ve yapay yaşlandırma süresinin 6-10 saat aralığında tutulmasıyla alaşımın en yüksek sertlik değerlerine ulaştığını tespit etmişlerdir [41].

Literatürde yapılan incelemeler doğrultusunda yapay yaşlandırma süresi 10 saat ve üzerinde tutulduğu takdirde, mikroyapıdaki homojen dağılımlı çökeltilerin birleşerek daha büyük parçacıklar haline geldiği ve çökelti sertleşmesinin azalmasıyla alaşımın sertliğinde ciddi bir düşüşe sebep olduğu görülmektedir. Sertlik değerinin yapay yaşlandırma süresiyle ilişkisini incelemek için fırında tutulan korozyon testi numunelerinden sertlik ölçümleri alınmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 5.2’de gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre 30 gün boyunca 200°C sıcaklıkta tutulan numunelerden elde edilen verilerde sertlik düşüşü görülmüş olup sonuçlar literatürdeki bilgileri destekler niteliktedir.

5.4 Çekme Testi Analizleri

Yapılan çalışmada ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemlili numunelerin tarama stratejisine bağılı olarak hem soğıuk hem de sıcak çekme testleri her test koşulundan 3 numune ile yapılmış olup ortalama sonuçlar Tablo 5.3'te verilmiştir.

Tablo 5.3. *AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemlili uygulanan numunelerin soğıuk ve sıcak çekme sonuçları*

	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Uzama (%)
Dikey ısıtıl işlemsiz (25°C)	298 ±4	272 ±1	5 ±1
Dikey ısıtıl işlemsiz (100°C)	260 ±4	224 ±3	10 ±4
Dikey ısıtıl işlemsiz (200°C)	188 ±2	177 ±3	13 ±1
Yatay ısıtıl işlemsiz (25°C)	292 ±8	273 ±2	3 ±1
Yatay ısıtıl işlemsiz (100°C)	256 ±8	230 ±14	7 ±5
Yatay ısıtıl işlemsiz (200°C)	187 ±7	167 ±3	10 ±4
Dikey T6 ısıtıl işlemlili (25°C)	299 ±7	274 ±1	4 ±2
Dikey T6 ısıtıl işlemlili (100°C)	268 ±2	228 ±2	8 ±2
Dikey T6 ısıtıl işlemlili (200°C)	193 ±2	175 ±2	9 ±1
Yatay T6 ısıtıl işlemlili (25°C)	293 ±9	274 ±2	4 ±3
Yatay T6 ısıtıl işlemlili (100°C)	265 ±2	224 ±1	7 ±2
Yatay T6 ısıtıl işlemlili (200°C)	191 ±4	177 ±1	6 ±1

Oda sıcaklığında çekme testi uygulanan dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz numunelerin akma ve çekme dayanımları sırasıyla dikeyde, 272 MPa ve 298 MPa; yatayda, 273 MPa ve 292 MPa olarak ölçülmüştür. T6 ısıtıl işlemlili numunelerin akma ve çekme dayanımları ise sırasıyla dikeyde, 274 MPa ve 299 MPa; yatayda, 274 MPa ve 293 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre değerlendirme yapıldığında tarama stratejisinin ve ısıtıl işlemin oda sıcaklığı çekme dayancı üzerinde etkili olmadığı sonucuna varılmıştır.

Ek olarak farklı test sıcaklıklarında (100°C ve 200°C) uygulanan çekme testi sonuçlarında; ısıtıl işlem uygulanmamış numunelere kıyasla T6 ısıtıl işlemi uygulanmış numunelerin genel olarak daha iyi mekanik performans gösterdiği görülmüştür. T6 ısıtıl işlem prosesindeki çözeltiye alma ve yapay yaşlandırma sıcaklıklarının ve sürelerinin

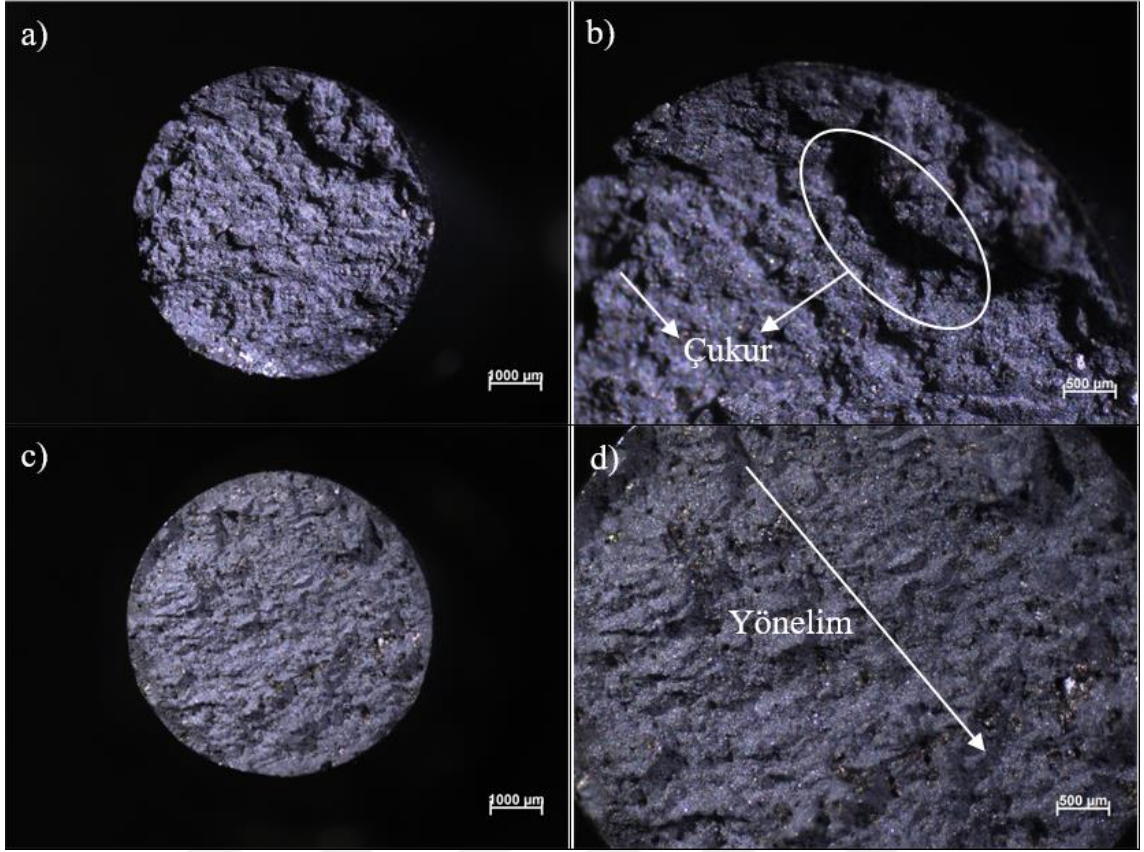
optimum düzeyde belirlenmesinin SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımasının sıcak çekme mukavemetine olumlu yönde etki yarattığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 5.3'teki 100°C ve 200°C sıcaklıklarında yapılan çekme testlerinde kondisyon ve test sıcaklıkları sabit tutularak dikey ve yatay tarama stratejilerine göre akma ve çekme dayanımları kıyaslandığında hemen hemen aynı değerlerin ölçüldüğü görülmüştür. Bu sonuçlar SLE yöntemindeki tarama stratejisinin, 200°C'ye kadar olan sıcaklıklarda AlSi10Mg alaşımasının mekanik özellikleri üzerinde etkisinin olmadığını göstermektedir. Aynı zamanda mikroyapı incelemelerinde öngörülen yatay tarama stratejisindeki gözenek boyutunun büyük olmasının mekanik özellikleri olumsuz yönde etkilemediği de görülmüştür.

Her iki tarama stratejisi için de oda sıcaklığındaki testlerde elde edilen sonuçlara göre alaşımın kopma esnasında orta sünek davranış gösterdiği görülmüştür. Sıcak çekme testinde alaşım, oda sıcaklığındaki teste kıyasla daha sünek davranış göstermektedir. Bu sonuç Tablo 5.3'teki artan test sıcaklıkları ile uzama miktarlarının doğru orantılı olarak artmasıyla ve çekme ve akma dayanımı ile ters orantılı olarak azalmasıyla açıklanabilmektedir.

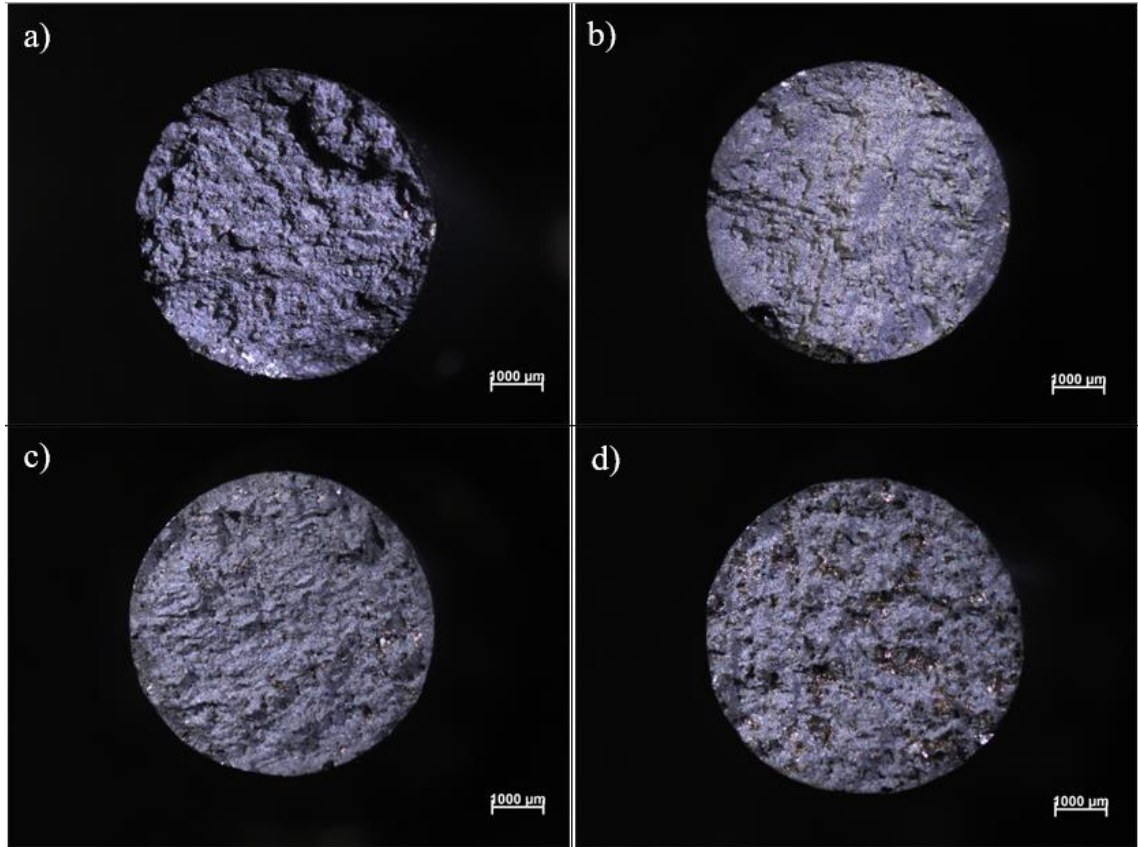
Çalışma esnasında, soğuk ve sıcak çekme testi sonucunda kopma bölgelerinin incelenmesi amacıyla stereo mikroskop ile görüntüler alınmıştır (Şekil 5.5, Şekil 5.6). Alınan görüntüler incelendiğinde; numunelerde boyun vermenin olmadığı doğrulanmıştır fakat kırılma yüzeylerinde, sünek kırılmanın bir özelliği olan küçük çukurlar olduğu görülmüştür.

SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımları için kırılma yönelimleri, tarama yönü boyunca en zayıf olduğu bölgelerdir ve bu nedenle kırılma meydana geldiğinde, kırılma yolu yönelimi tarama yönü sınırlarını takip etmektedir. Bununla birlikte dikey tarama yönünde üretilen numunelerde (Şekil 5.5a-b) numune eksenine dik kırılma yüzeyleri, derin çukurlar ve daha pürüzlü bir yüzey gözlemlenirken, yatay tarama yönünde üretilen numunelerde (Şekil 5.5c-d) kırılmanın bir uçtan başlayarak diğer uca doğru ilerlediği ve kopma yüzeyinin daha düzgün bir yüzeye sahip olduğu görülmüştür.

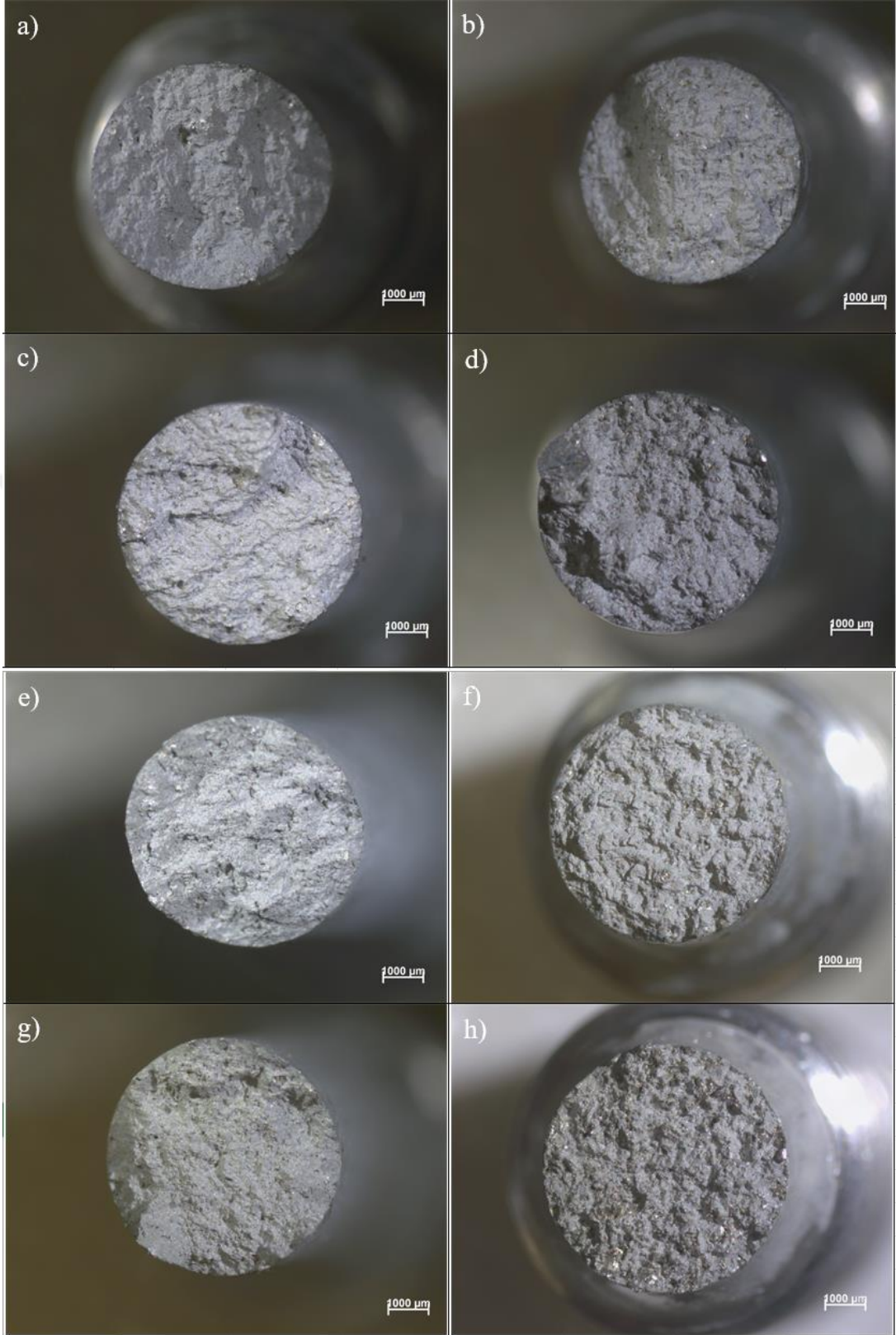


Şekil 5.5. a) 10x büyütmede b) 20x büyütmede dikey ısıt işlemsiz; c) 10x büyütmede d) 20x büyütmede yatay ısıt işlemsiz numunelerin kırılma bölgelerinin stereo mikroskop görselleri

Şekil 5.6b ve d’de gösterilen T6 ısıt işlem uygulanmış numunelerdeki çukurlu yapının derinliğinin, ısıt işlem uygulanmayan numunelerden daha az olduğu görülmektedir ve bu durum, T6 ısıt işlemi esnasında mikroyapının homojenize edilmesiyle ve katmanlar arası bağlanmaların güçlenmesiyle açıklanabilmektedir.

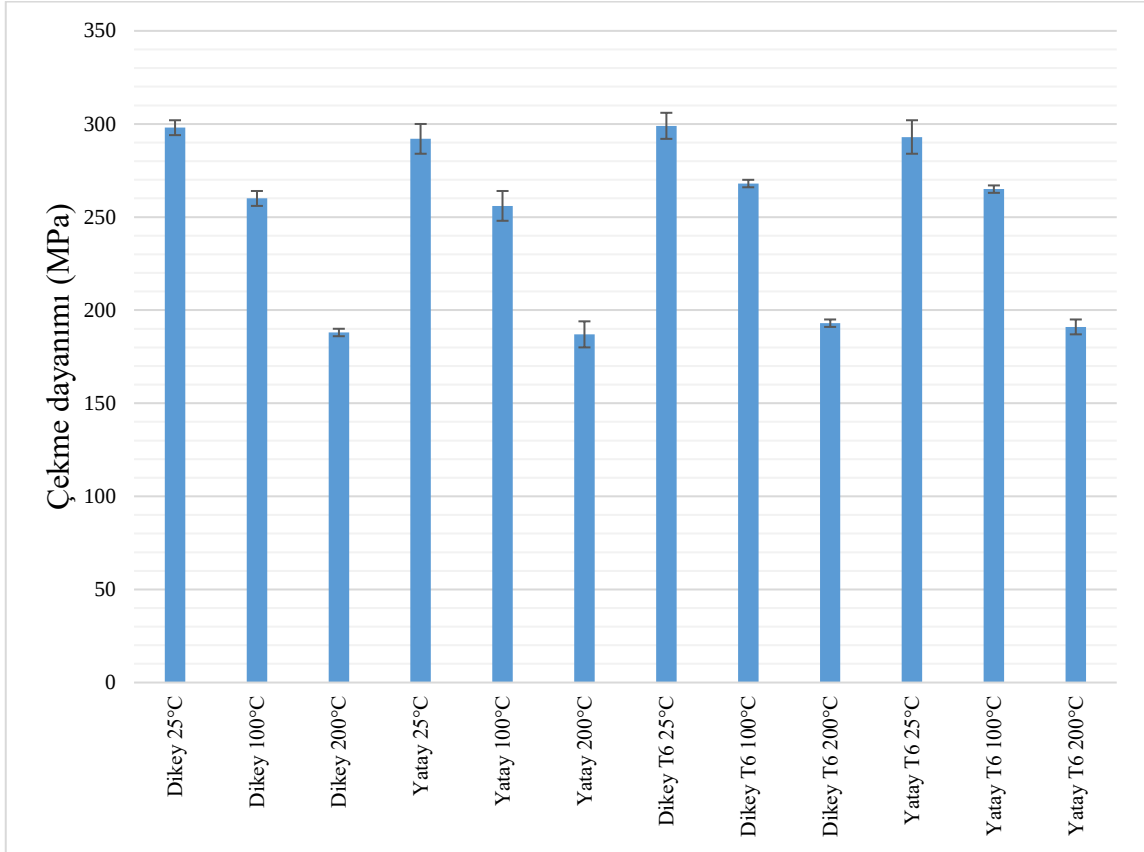


Şekil 5.6. 10x büyütmede; a) dikey ısıt işlemsiz b) dikey T6 ısıt işlem uygulanmış c) yatay ısıt işlemsiz d) yatay T6 ısıt işlem uygulanmış numunelerin soğuk çekme testi sonrası kırılma yüzeyi görselleri

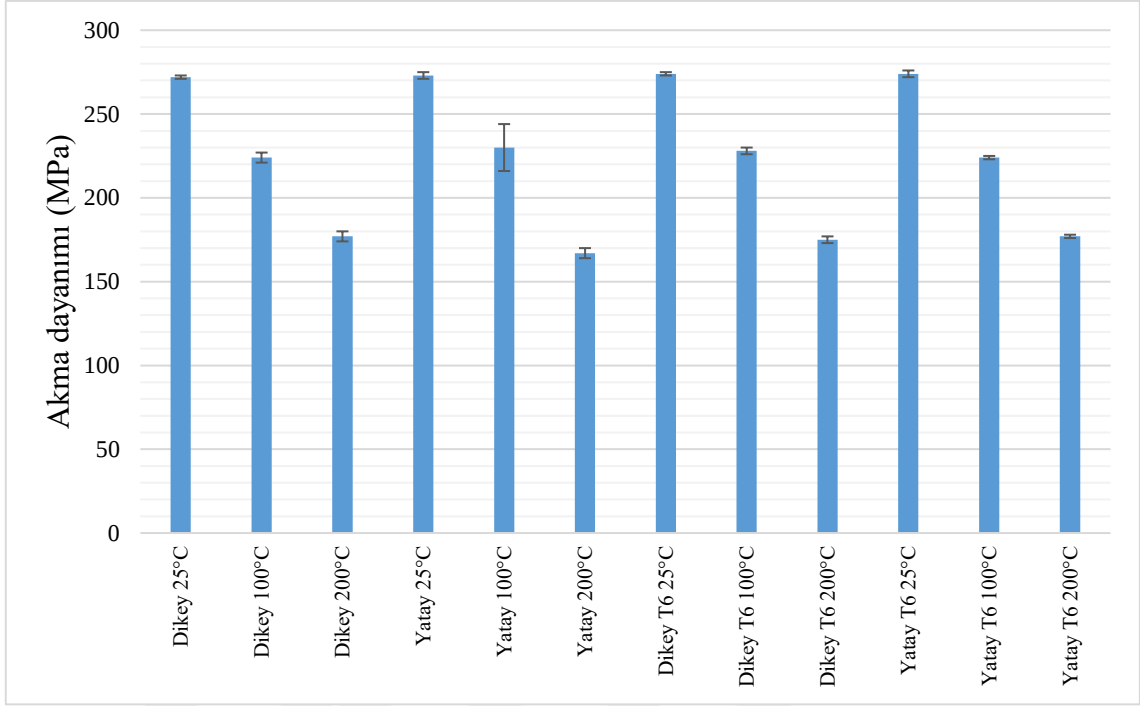


Şekil 5.7. 10x büyütmede; a) 100°C b) 200°C dikey ısı işlemsiz, c) 100°C d) 200°C dikey T6 ısı işlem uygulanmış, e) 100°C f) 200°C yatay ısı işlemsiz, g) 100°C h) 200°C yatay T6 ısı işlem uygulanmış numunelerin sıcak çekme testi sonrası kırılma yüzeyi görselleri

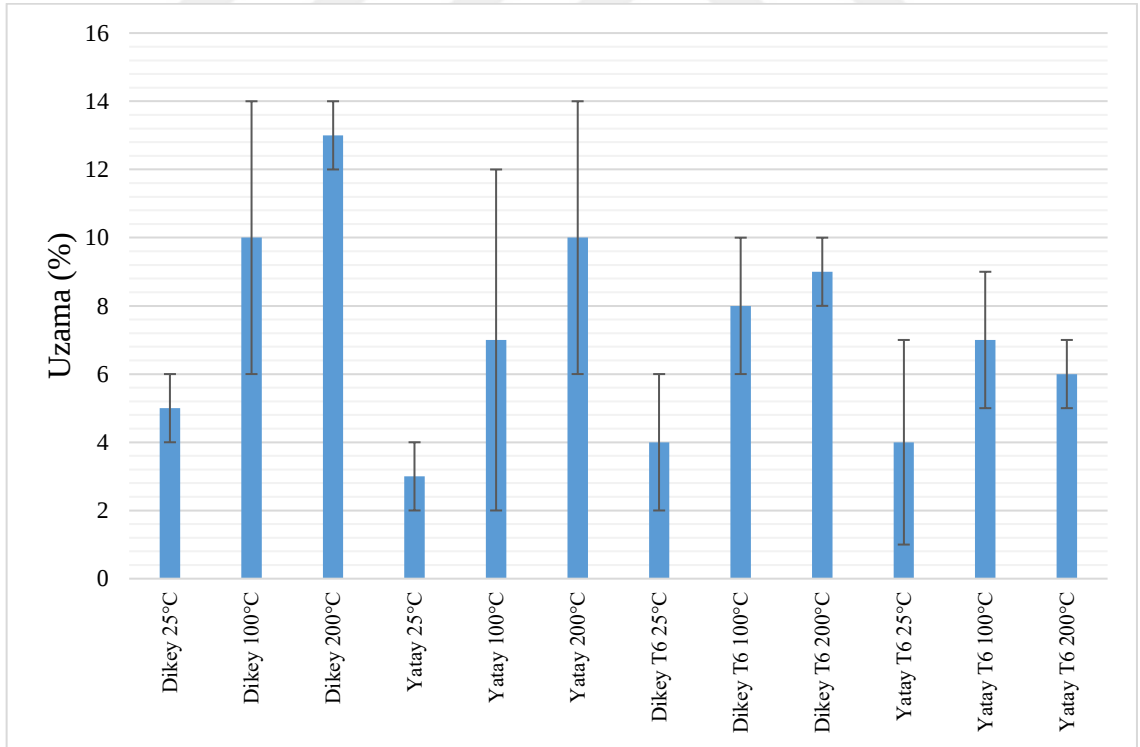
100°C ve 200°C’de sıcak çekme testi uygulanan numunelerin kopma yüzeylerinin görselleri Şekil 5.7’de verilmiştir. Görseller incelendiğinde oda sıcaklığındaki görsellere kıyasla numunelerin kopma yüzeylerinde daha derin çukurların oluştuğu görülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda daha derin çukurlaşmanın oluşumu, malzemenin sünekliğinde artış olduğunu göstermektedir. Çekme testlerinden elde edilen sonuçlar Şekil 5.8- 5.10’da özetlenmiştir.



Şekil 5.8. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre çekme dayanımı (MPa) grafiği



Şekil 5.9. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre akma dayanımı (MPa) grafiği



Şekil 5.10. Dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin soğuk (25°C) ve sıcak (100°C ve 200°C) çekme testi sonuçlarına göre uzama (%) grafiği

5.5 Korozyon Testleri

5.5.1 NaCl çözeltisi

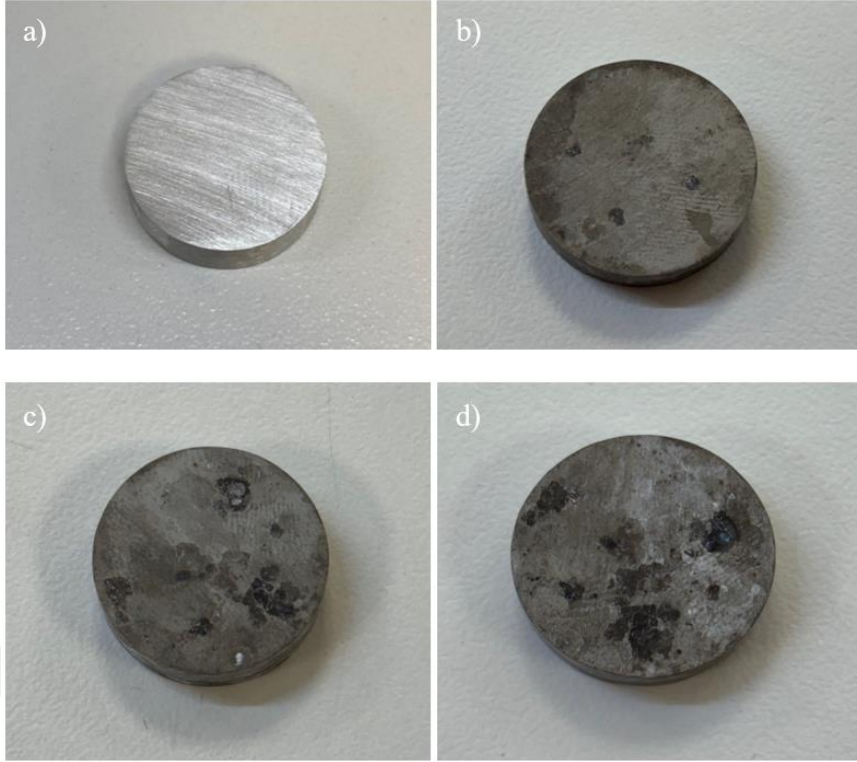
Isıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlem uygulanmış dikey ve yatay tarama yönündeki numunelere 30 gün boyunca NaCl çözeltisi içerisinde korozyon testi uygulanmıştır ve numuneler 10 günde bir test kabininden çıkartılarak yüzeyleri görsel olarak incelenmiştir.

30. gün sonunda korozyona uğratılmış numuneler görsel olarak incelediğinde, korozyonun dikey tarama yönünde yüzeyde küçük noktasal halde merkezden kenarlara doğru sık bir şekilde ve derine doğru, yatay tarama yönünde ise yüzeyde geniş alanlar halinde kenardan merkeze doğru seyrek ve yüzeye paralel sık bir şekilde ilerlediği görülmüştür (Şekil 5.11-5.14).

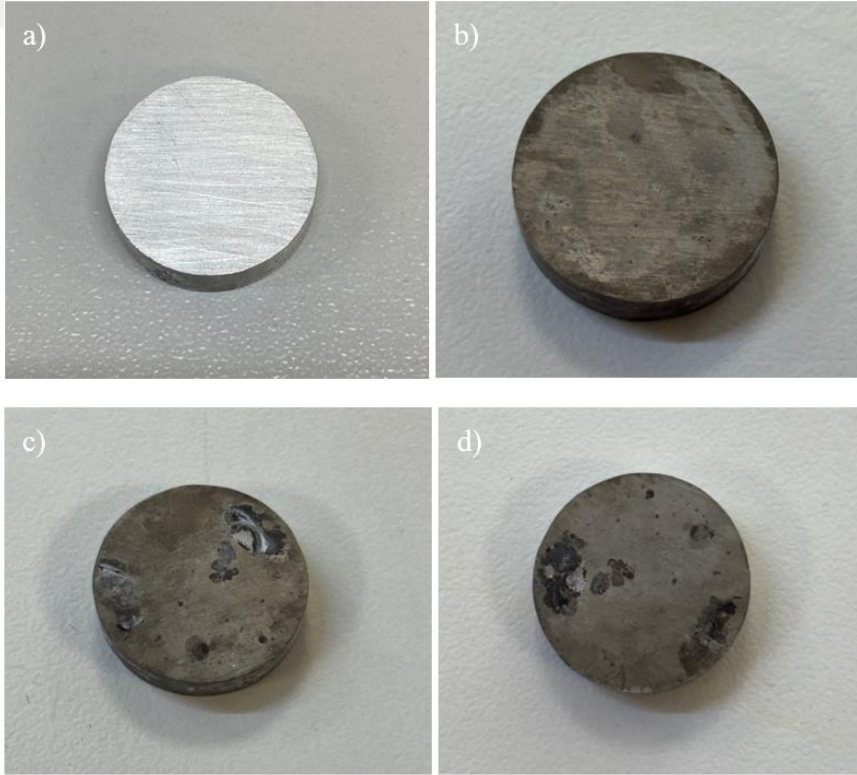
Ek olarak numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçülmüş olup dikey tarama yönündeki numuneler yüksek yüzey pürüzlülüğüne sahipken yatay tarama yönündeki numunelerin daha düşük yüzey pürüzlülüğüne sahip olduğu görülmüştür (Tablo 5.4).

Tablo 5.4. *AlSi10Mg dikey ve yatay tarama yönündeki ısıtıl işlemsiz ve T6 ısıtıl işlemi uygulanan numunelerin korozyon testi sonrası yüzey pürüzlülüğü sonuçları*

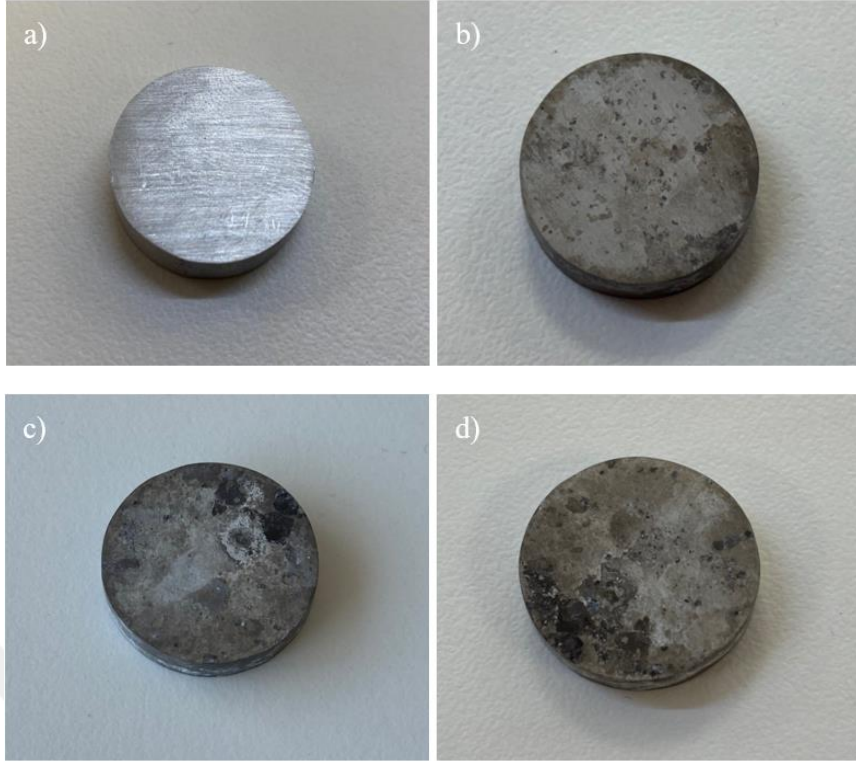
	Yüzey pürüzlülüğü Ra (μm)
Dikey ısıtıl işlemsiz	2
Yatay ısıtıl işlemsiz	0,8
Dikey T6 ısıtıl işlemli	1,8
Yatay T6 ısıtıl işlemli	0,5



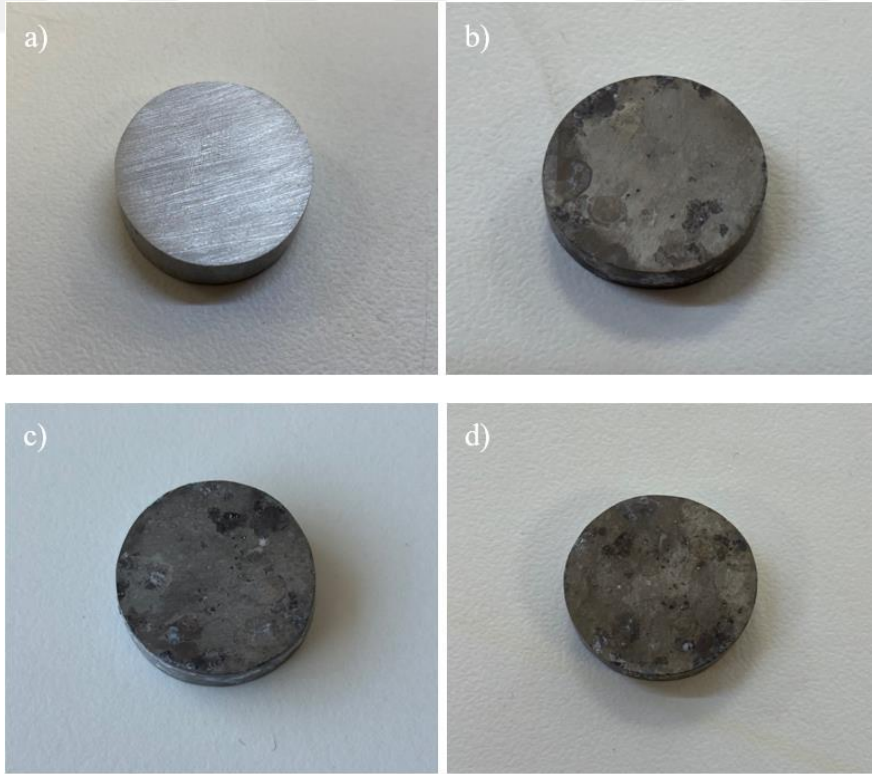
Şekil 5.11. Dikey tarama yönündeki ısıt işlemsiz numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün



Şekil 5.12. Yatay tarama yönündeki ısıt işlemsiz numunenin korozyon testi görselleri; a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün

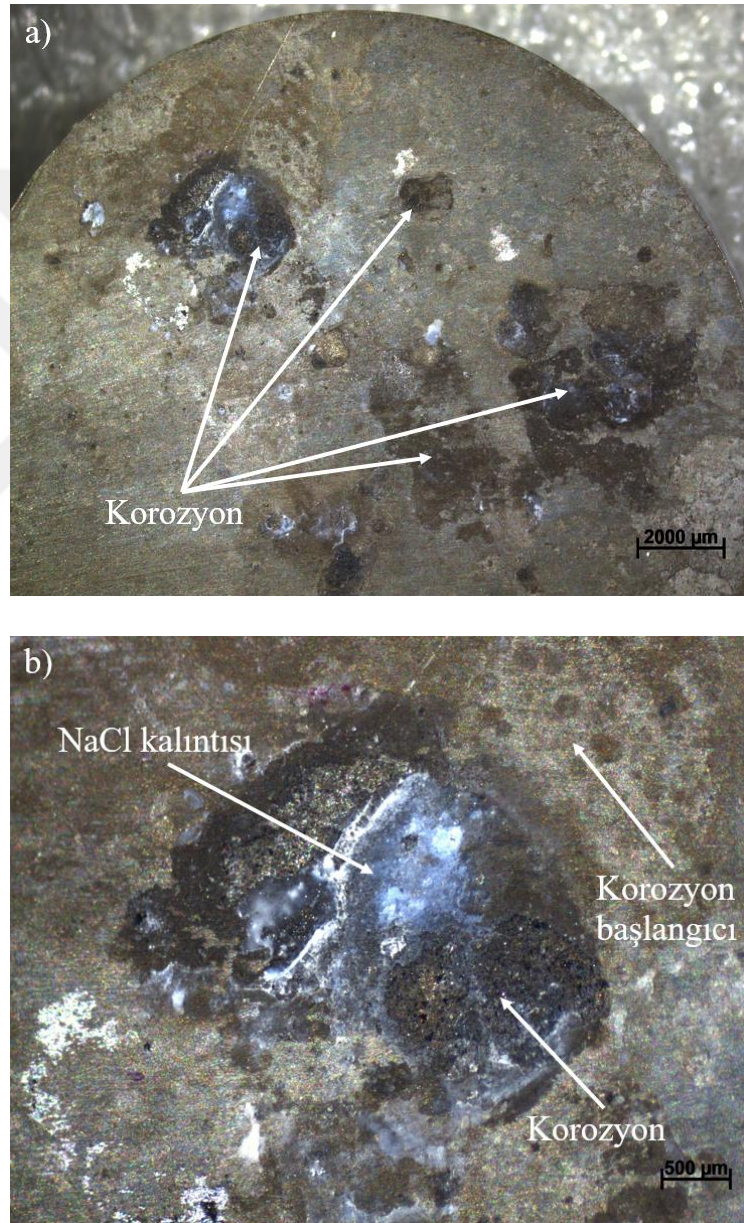


Şekil 5.13. Dikey tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış numunenin korozyon testi görselleri;
a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün

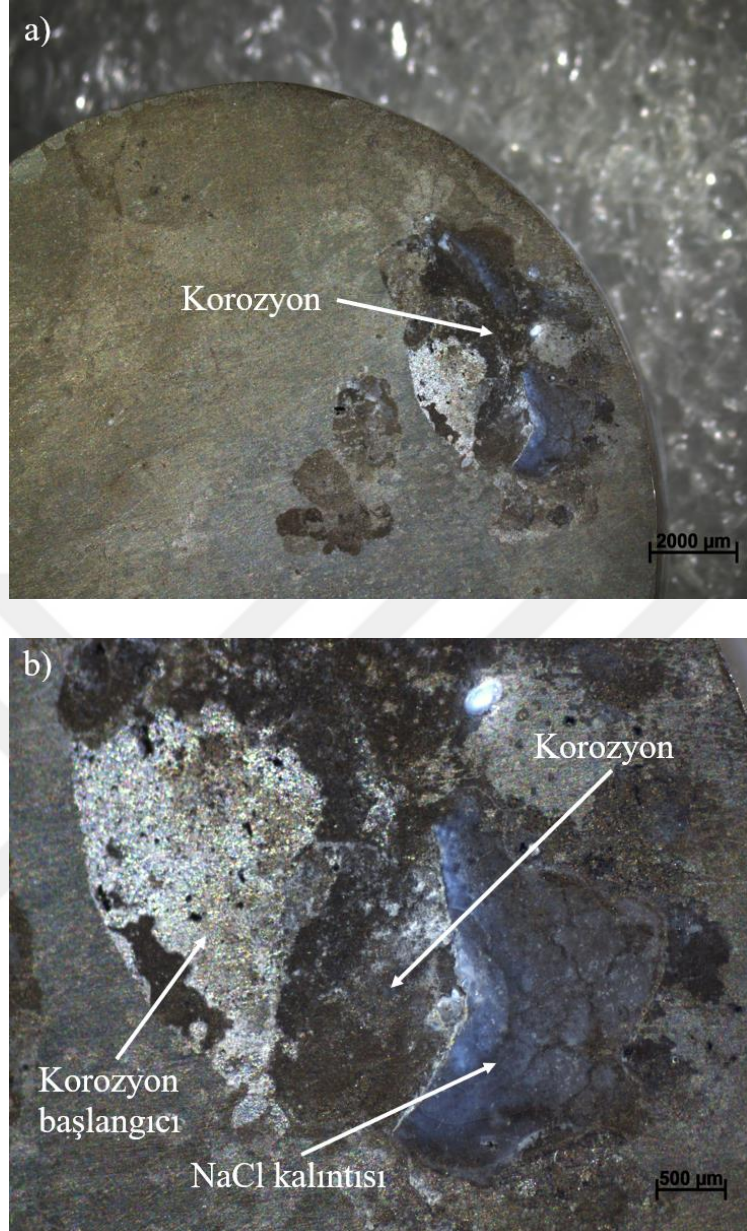


Şekil 5.14. Yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlem uygulanmış numunenin korozyon testi görselleri;
a) teste başlamadan önce b) 10.gün c) 20.gün d) 30.gün

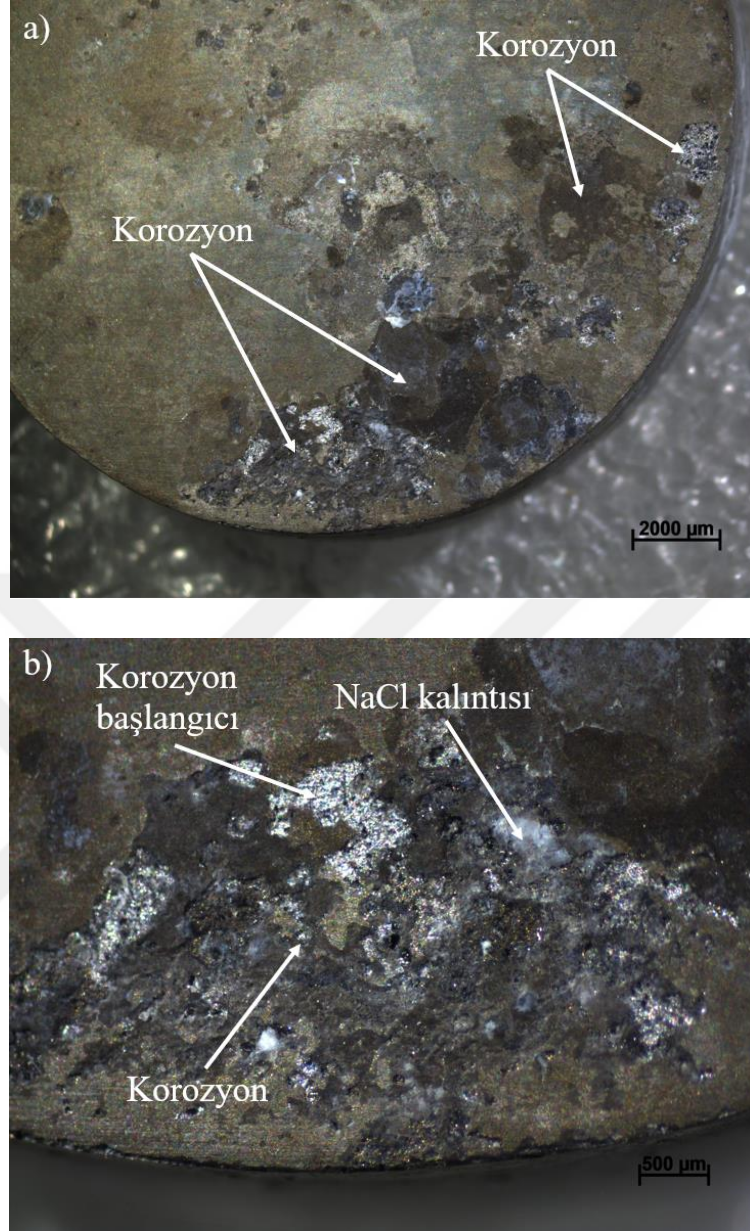
Görsel incelemedeki korozyon ilerleyişini ve elde edilen çıkarımları doğrulamak amacıyla numunelerden stereo mikroskop ile 6,3x ve 20x büyütmede görüntüler alınmıştır. Şekil 5.15-5.18’de korozyona uğramış bölgeler, korozyon sebebiyle oluşan çukurların içerisindeki NaCl çözeltisi kalıntıları ve korozyona uğramış bölgelerden daha açık renkte olan korozyon başlangıç bölgeleri belirtilmiştir. Alınan görüntüler görsel incelemeleri destekler niteliktedir ve yapılan incelemeler sonucunda dikey tarama yönündeki numunelerin korozyona daha yatkın olduğu tespit edilmiştir.



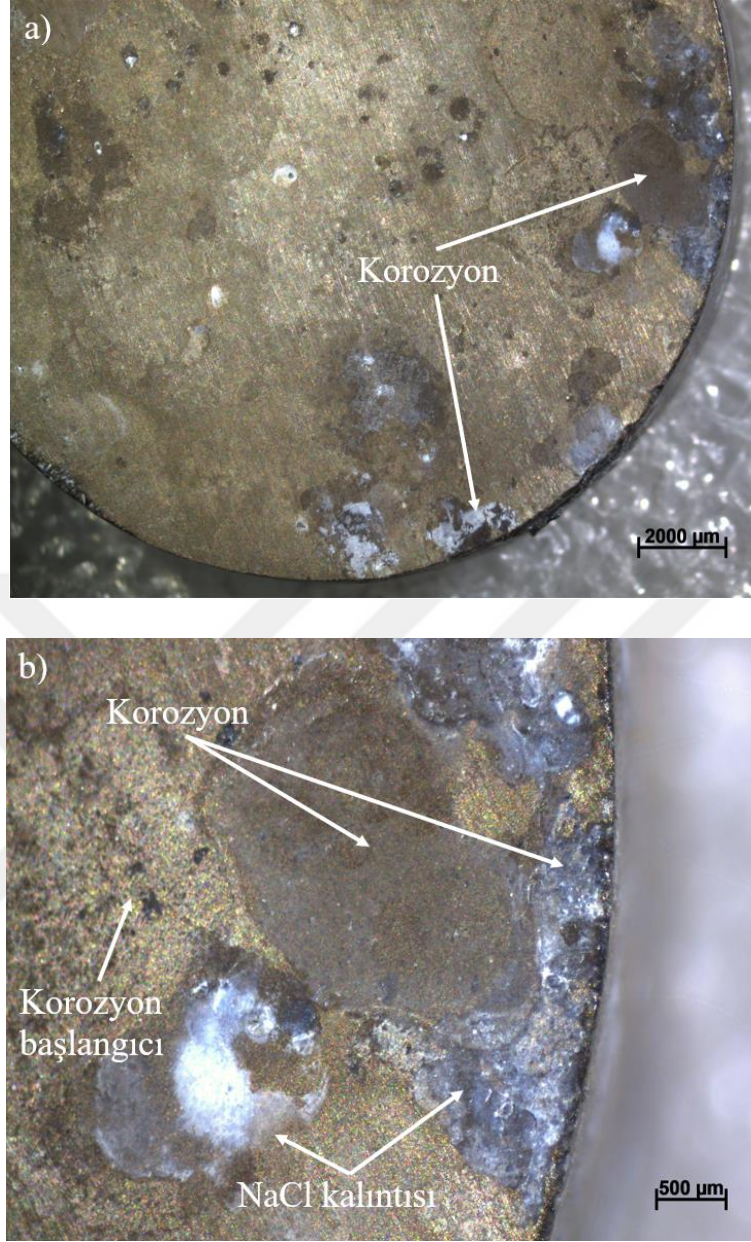
Şekil 5.15. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan dikey tarama yönündeki ısıtılmış işlemsiz numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede



Şekil 5.16. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan yatay tarama yönündeki ısıtılmış numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede

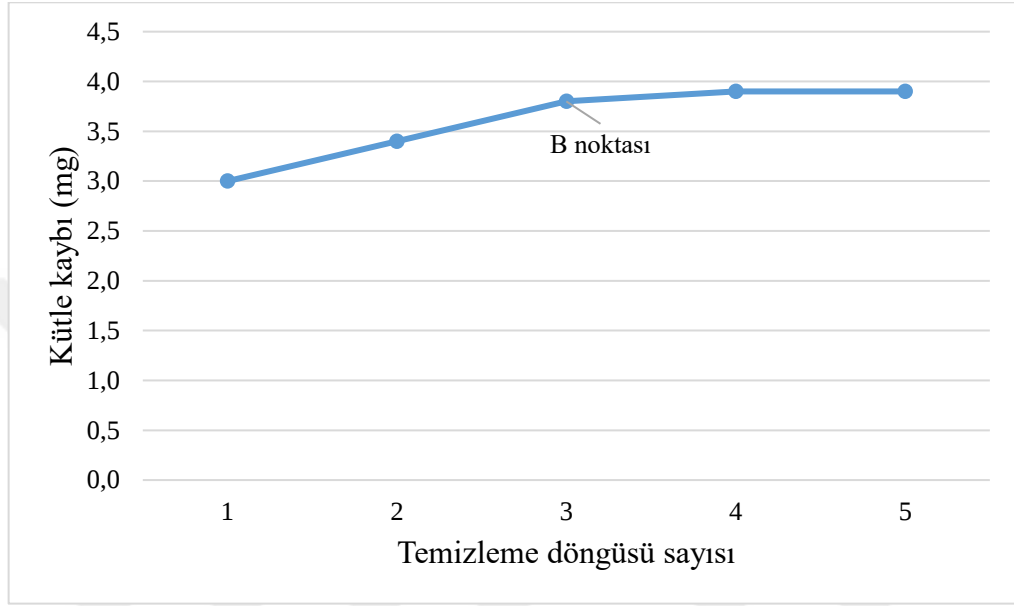


Şekil 5.17. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan dikey tarama yönündeki T6 ısıtılmış işlem uygulanmış numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede

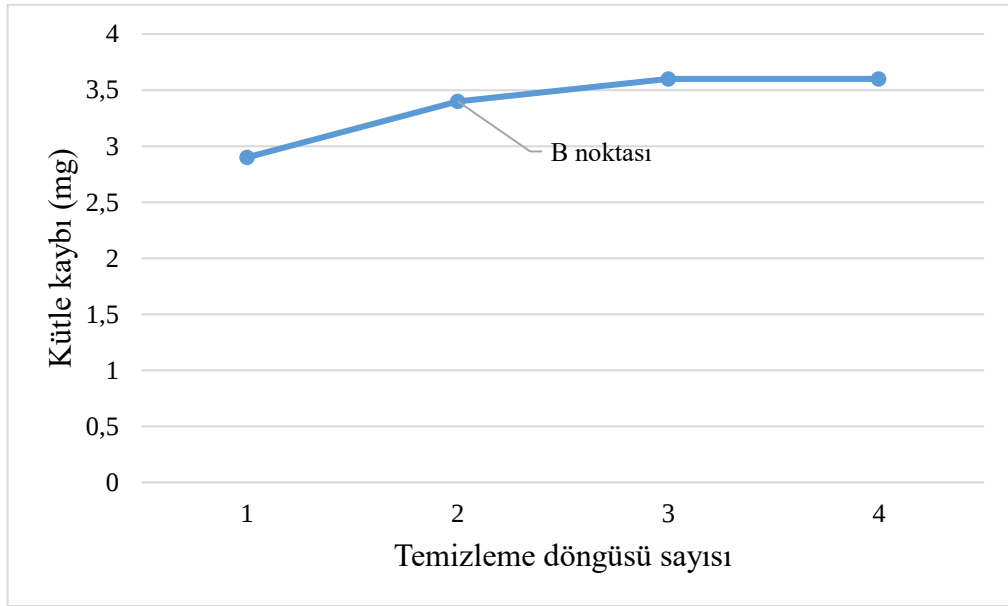


Şekil 5.18. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan yatay tarama yönündeki T6 ısıtma işlemi uygulanmış numunenin stereo mikroskop görüntüleri; a) 6,3x b) 20x büyütmede

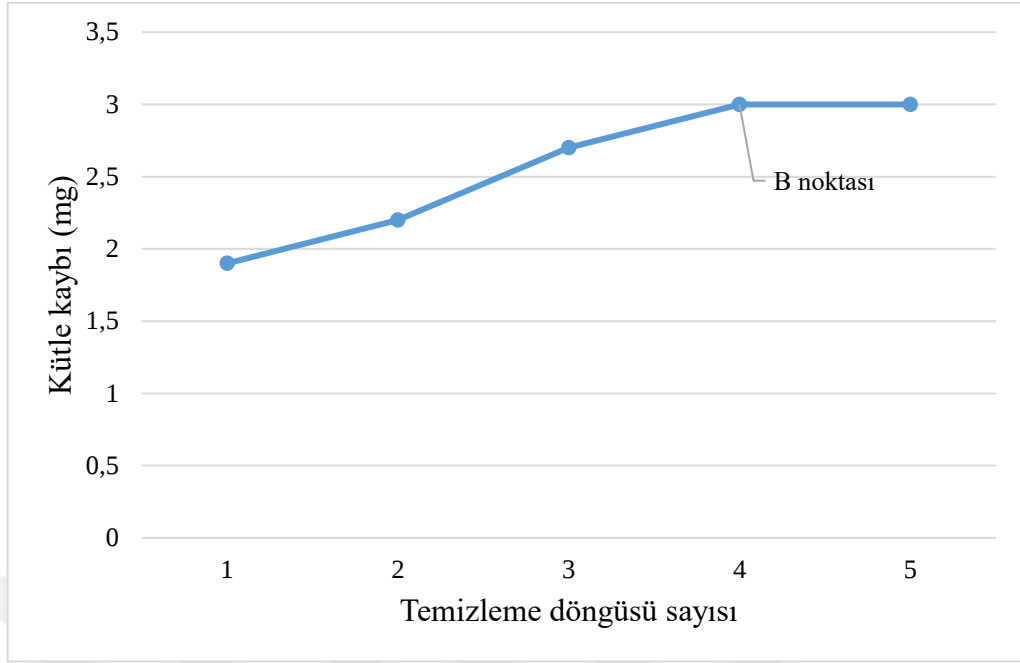
Görsel incelemeden sonra korozyon sonucunda numunelerdeki kütle kaybını belirlemek için numuneler temizlenerek Eşitlik 3.1’de verilen denkleme göre korozyon hızı hesaplanmıştır. Hesaplama öncesi ise numunelerin temizliği esnasında kütle kaybı-temizlik döngüsü grafiği çizdirilerek Eşitlik 3.1’deki kütle kaybında (W) kullanılacak olan değerlerin yakınsama (B) noktası bulunmuştur. (Şekil 5.19-5.22)



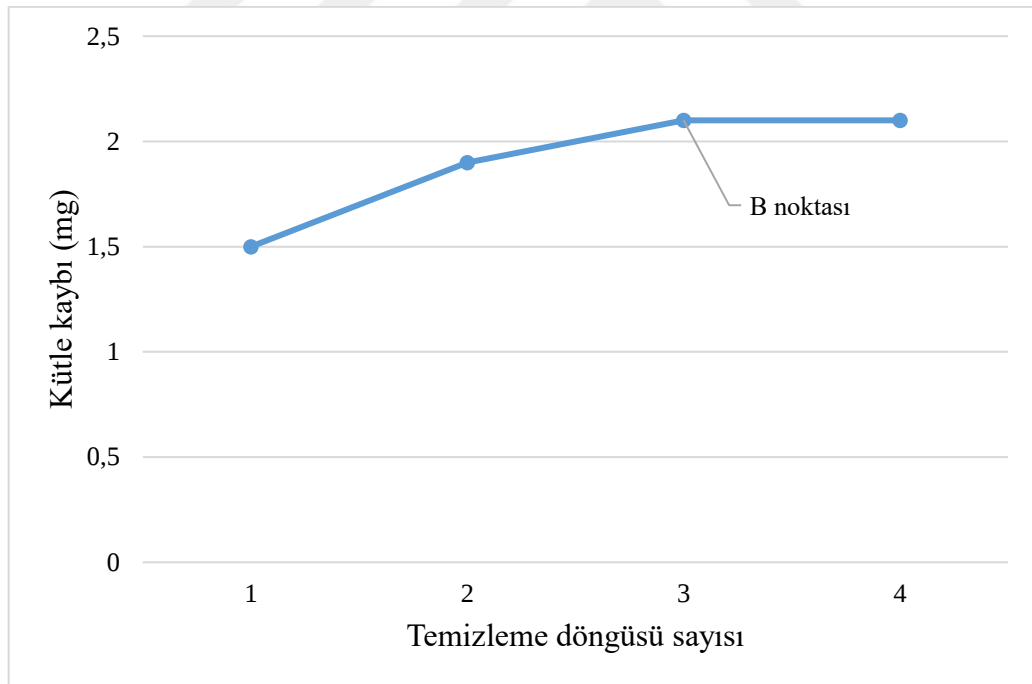
Şekil 5.19. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan ısıt işlem uygulanmayan dikey tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği



Şekil 5.20. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan ısıt işlem uygulanmayan yatay tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği

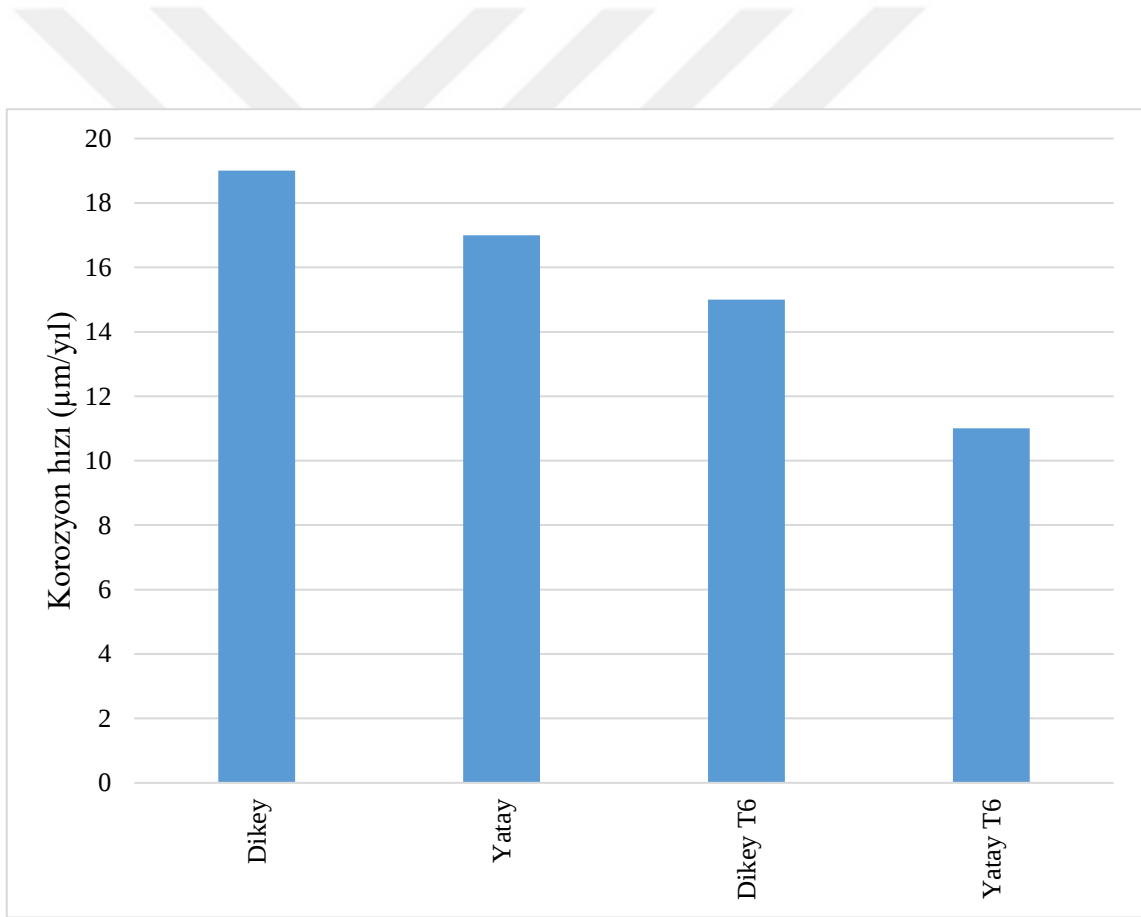


Şekil 5.21. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan T6 ısıt işlem uygulanmış dikey tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği



Şekil 5.22. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan T6 ısıt işlem uygulanmış yatay tarama yönündeki numunenin kütle kaybı-temizleme döngüsü grafiği

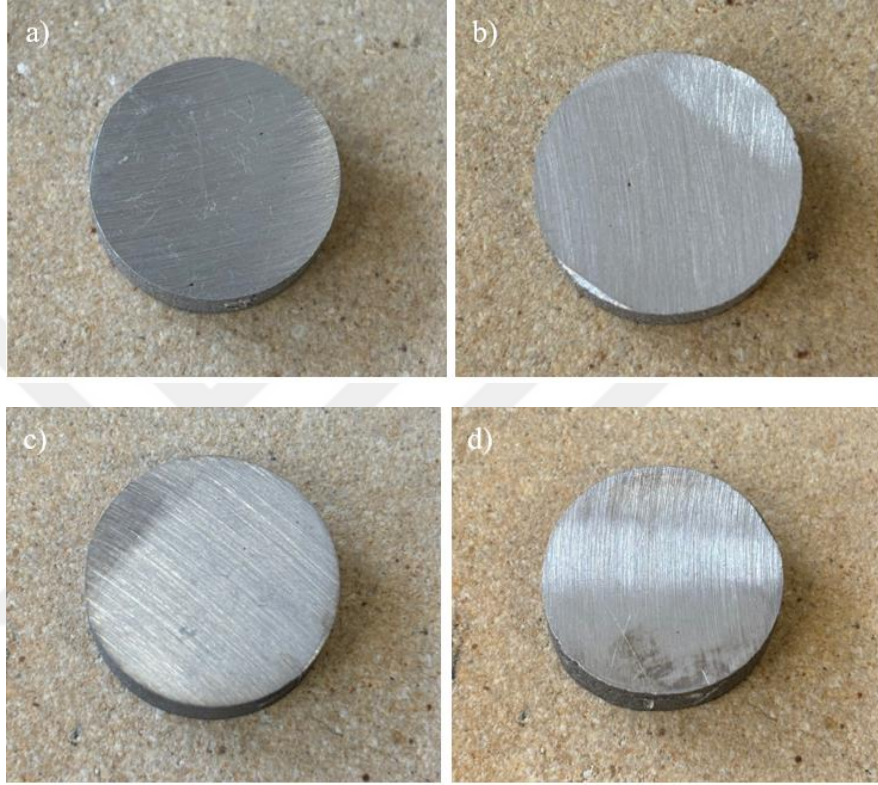
Hesaplanan sonuçlara göre ısıtıl işlem uygulanmamış dikey tarama yönündeki numune en yüksek korozyon hızına, T6 ısıtıl işlem uygulanmış yatay tarama yönündeki numune ise en düşük korozyon hızına sahip olma eğilimindedir. Dolayısıyla T6 ısıtıl işlem uygulanmış yatay tarama yönündeki numune korozyona en dirençli olanıdır. Dikey tarama yönündeki numunenin korozyona en dirençsiz olmasının sebebi; korozyonun yüzeyden malzemenin içine doğru dikey tarama yönünü takip etmesidir. Yatay tarama yönündeki numunenin korozyona en dirençli olan numune olmasının sebebi ise korozyonun üretim kaynaklı oluşan katmanlar arasında kolaylıkla ilerleyememesi ve T6 ısıtıl işlem uygulanması ile mikroyapının homojenleşmesidir. Hesaplanan korozyon hızları Şekil 5.23’de verilmiştir.



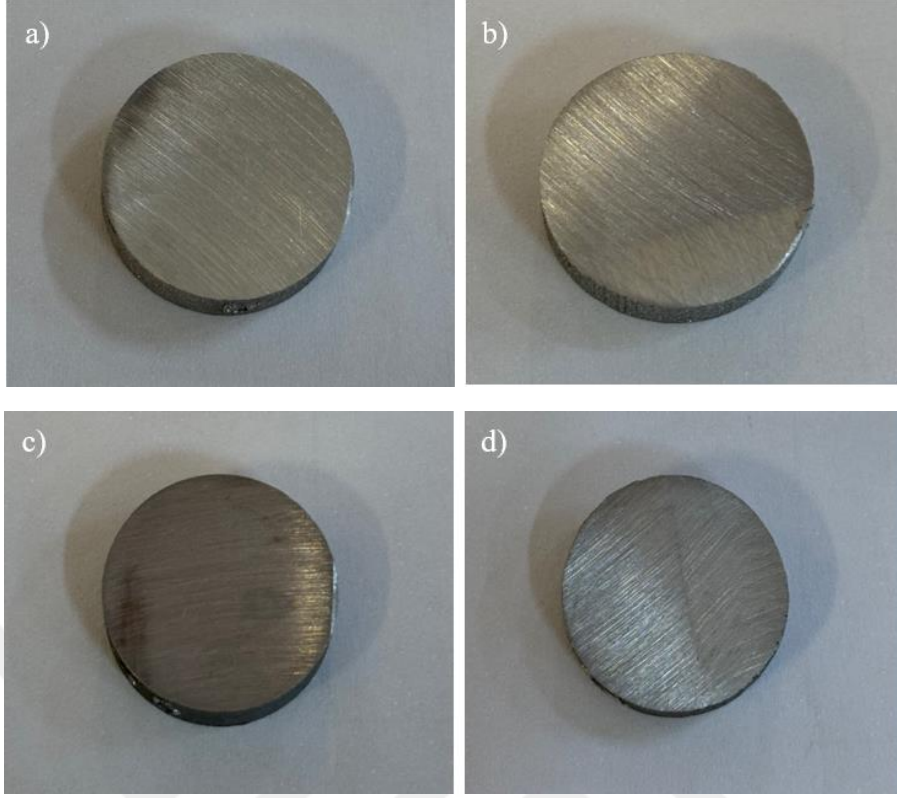
Şekil 5.23. 30 gün boyunca NaCl kabinde korozyon testi uygulanan numunelerde tarama yönüne ve kondisyona bağlı korozyon hız (µm/yıl) grafiği

5.5.2 Fırın ve Aeroshell 555 yağı

30 gün boyunca 200°C sıcaklıktaki fırında (Şekil 5.24) ve oda sıcaklığındaki Aeroshell 555 yağı içerisinde (Şekil 5.25) korozyon testi uygulanan dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerde belirgin bir korozyon gözlemlenmemiştir.



Şekil 5.24. 30 gün boyunca 200°C sıcaklıktaki fırında korozyon testi uygulanan; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış, c) dikey d) yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlemli numunelerin görselleri



Şekil 5.25. 30 gün boyunca Aeroshell 555 yağı içerisinde korozyon testi uygulanan; a) dikey b) yatay tarama yönündeki ısıt işlem uygulanmamış, c) dikey d) yatay tarama yönündeki T6 ısıt işlemli numunelerin görselleri

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmanın amacı, eklemeli imalat yöntemlerinden biri olan seçici lazer ergitme yöntemiyle dikey ve yatay tarama yönünde üretilen AlSi10Mg alaşımının korozyon davranışını ve mekanik performansını ısıtıl işlem uygulanmayan ve T6 ısıtıl işlem uygulanmış numuneler üzerinden incelemektir.

Çalışmada yapılan sertlik testlerinde alaşımın, dikey veya yatay tarama yönünde üretilmesi fark etmeksizin T6 ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde daha iyi performans sergilediği görülmüştür.

Oda sıcaklığındaki çekme testlerinde alaşımın, dikey veya yatay tarama yönünde üretilmesi fark etmeksizin T6 ısıtıl işlem uygulanmış numunelerde en iyi performans gösterdiği ve yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça alaşımın daha sünek davranış sergilediği görülmüştür.

NaCl çözeltisi içerisinde tuz kabininde yapılan korozyon testlerinde, ısıtıl işlem uygulanmamış dikey tarama yönündeki numunenin korozyon direncinin en düşük olduğu ve T6 ısıtıl işlem uygulanmış yatay tarama yönündeki numunenin korozyon direncinin en yüksek olduğu görülmüştür. Fırın ve Aeroshell 555 yağı içerisinde uygulanan korozyon testi için ise ileride yapılacak olan çalışmalar için referans bilgiler verilmiştir.

Literatürdeki çalışmalarda SLE yöntemiyle üretilen AlSi10Mg alaşımının mikroyapısının ve dolayısıyla mekanik performansının, tarama yönü ve ısıtıl işlem koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirtilmiştir. Ancak yapılan çalışma sonucunda, dikey ve yatay tarama yönündeki numunelerin farklı içyapılara sahip olmakla birlikte benzer mekanik performans gösterdiği görülmüştür. Buna ilaveten yatay tarama yönündeki numunelerin korozyon direncinin dikey tarama yönüne kıyasla daha iyi olduğu göz önünde bulundurulduğunda yatay tarama yönünün daha avantajlı sonuçlar doğurduğu söylenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Bhagat RB, (2013). Advance Aluminum Powder Metallurgy Alloys and Composites. In: ASM Handbook, Volume 7: Powder Metal Technologies And Applications. OH, USA: ASM Digital Library.
- [2] Liao J, Tan M-J, (2011). Mixing Of Carbon Nanotubes (CNTs) And Aluminum Powder For Powder Metallurgy Use.
- [3] Vaidya M, Muralikrishna GM, Murty BS, (2019). High-Entropy Alloys By Mechanical Alloying: A Review. Journal Of Material Research.
- [4] Suryanarayana C, Al-Aqeeli N, (2013). Mechanically Alloyed Nanocomposites. Progress In Materials Science.
- [5] Moghimian P, Poirie T, Habibnejad-Korayem M, Zavala J.A, Kroeger J, Marion F, Larouche F (2021). Metal Powders In Additive Manufacturing: A Review On Reusability and Recyclability Of Common Titanium, Nickel And Aluminum Alloys. Additive Manufacturing.
- [6] Davis, J.R., (2001). Alloying: Understanding The Basics. ASM International.
- [7] Z.Y. Ma, A.H. Feng, D.L. Chen, J. Shen (2017). Recent Advances in Friction Stir Welding/Processing of Aluminum Alloys: Microstructural Evolution and Mechanical Properties.
- [8] Mustafa Türkmen, Oğuzhan Akdemir, Yusuf Taşpınar, Murat Yıldız, Süleyman Gündüz (2014). The Effect Of Cooling Rate On Microstructure And Mechanical Properties Of Al-Mg-Si (6063) Alloy
- [9] Hüccet Kahramanzade, Yaşar Sert, Tevfik Küçükömeroğlu (2021). Sürtünme Karıştırma İşleminin Eklemeli İmalat Yöntemi ile Üretilen AlSi10Mg Alaşımının Tribolojik Özelliklerine Etkisi
- [10] N. Tabatabaei, A. Zarei-Hanzaki, A. Moshiri, H.R. Abedi (2022). The Effect Of Heat Treatment On The Room And High Temperature Mechanical Properties Of AlSi10Mg Alloy Fabricated By Selective Laser Melting
- [11] Manoj Singh Bisht, Vidit Gaur, I.V. Singh (2022). On Mechanical Properties Of SLM Al-Si Alloy Role Of Heat Treatment-Induced Evolution Of Silicon Morphology
- [12] J.de Damborenea, A. Conde, M. Gardon, G.A. Ravi, M.A. Arenas (2021). Effect of Growth Orientation and Heat Treatment On The Corrosion Properties Of AlSi10Mg Alloy Produced By Additive Manufacturing.
- [13] ASTM F2792-12a. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies
- [14] Saad Saleh Alghamdi, Sabu John, Namita Roy Choudhury and Naba K.Dutta (2021). Additive Manufacturing of Polymer Materials: Progress, Promise and Challenges.
- [15] H.Bikas, P. Stavropoulos, G. Chryssolouris (2015). Additive Manufacturing Methods and Modelling Approaches: A Critical Review.

- [16] K. Satish Prakash, T. Nancharaih, V.V. Subba Rao (2017). Additive Manufacturing Techniques In Manufacturing – An Overview.
- [17] Eklemeli İmalat Föyü, Bursa Teknik Üniversitesi
- [18] Tomasz Grzegorz Gawel (2020). Review Of Additive Manufacturing Methods
- [19] Yusuf Siyambaş, Yakup Turgut (2022). Defects, Mechanical Properties and Surface Roughness of AlSi10Mg Alloy Parts Produced by Selective Laser Melting (SLM) Method-A Review
- [20] S. Sun, M. Brandt, M. J. L. A. M (2017). Easton, Powder Bed Fusion Processes: An Overview, Laser Additive Manufacturing.
- [21] Burhan Duman, M. Cengiz Kayacan (2017). Doğrudan Metal Lazer Sinterleme/Ergitme Yöntemi İle İmal Edilecek Parçanın Mekanik Özelliklerinin Tahmini
- [22] Özgür Poyraz, Melih Cemal Kuşhan (2017). Investigation Of The Effect Of Different Process Parameters For Laser Additive Manufacturing Of Metals.
- [23] Gong H. (2013). Generation And Detection Of Defects In Metallic Parts Fabricated By Selective Laser Melting And Electron Beam Melting And Their Effects On Mechanical Properties.
- [24] ASTM F3318. Standard For Additive Manufacturing – Finished Part Properties – Specification For AlSi10Mg With Powder Bed Fusion – Laser Beam
- [25] AMS 2771 Revision F. Heat Treatment Of Aluminum Alloy Castings.
- [26] L.F. Wang, J. Sun, X.L. Yu, Y. Shi, X.G. Zhu, L.Y. Cheng, H.H. Liang, B. Yan, L.J. Guo (2018). Enhancement In Mechanical Properties Of Selectively Laser-Melted AlSi10Mg Aluminum Alloys By T6-Like Heat Treatment.
- [27] ASTM G4. Standard Guide For Conducting Corrosion Tests In Field Applications
- [28] ASTM B117. Standard Practice For Operating Salt Spray (Fog) Apparatus
- [29] ASTM G31-72. Standard Practice For Laboratory Immersion Corrosion Testing Of Metals
- [30] ASTM G1-03. Standard Practice For Preparing, Cleaning, And Evaluating Corrosion Test Specimens
- [31] ASTM E8/E8M. Standard Test Methods For Tension Testing Of Metallic Materials
- [32] ASTM E21. Standard Test Methods For Elevated Temperature Tension Tests Of Metallic Materials
- [33] ASTM E407. Standard Practice For Microetching Metals And Alloys
- [34] Nesma T. Aboulkhair, Ian Maskery, Chris Tuck, Ian Ashcroft, Nicola M. Everitt (2016). The Microstructure And Mechanical Properties Of Selectively Laser Melted AlSi10Mg: The Effect Of A Conventional T6-Like Heat Treatment
- [35] K. Kempen, L. Thijs, J. Van Humbeeck and J.P. Kruth (2012). Mechanical Properties Of AlSi10Mg Produced By Selective Laser Melting

- [36] Wei Li, Shuai Li, Jie Liu, Ang Zhang, Yan Zhou, Qingsong Wei, Chunze Yan, Yusheng Shi (2016). Effect Of Heat Treatment On AlSi10Mg Alloy Fabricated By Selective Laser Melting Microstructure Evolution, Mechanical Properties And Fracture Mechanism.
- [37] Shahir Mohd Yusuf, Mathias Hoegden, Nong Gao (2019). Effect Of Sample Orientation On The Microstructure And Microhardness Of Additively Manufactured AlSi10Mg Processed By High-Pressure Torsion.
- [38] Xianglong Yu, Lianfeng Wang (2018). T6 Heat-Treated AlSi10Mg Alloys Additive-Manufactured By Selective Lazer Melting
- [39] Pei Wei, Zhen Chen, Shuzhe Zhang, Xuwei Fang, Bingheng Lu, Lijuan Zhang, Zhengying Wei (2021). Effect Of T6 Heat Treatment On The Surface Tribological And Corrosion Properties Of AlSi10Mg Samples Produced by Selective Laser Melting
- [40] Le Zhoua, Abhishek Mehta, Esin Schulz, Brandon McWilliams, Kyu Cho, Yongho Sohn (2018). Microstructure, Precipitates And Hardness Of Selectively Laser Melted AlSi10Mg Alloy Before And After Heat Treatment
- [41] Catherine Dolly Clement , Julie Masson, Abu Syed Kabir (2022). Effects Of Heat Treatment On Microstructure And Mechanical Properties Of AlSi10Mg Fabricated By Selective Laser Melting Process

İnternet kaynakları;

http-1: <https://met3dp.com/tr/aluminum-alsi10mg-powder-a-technical-overview/>

(Erişim tarihi: 26.04.2024)

http-2: <https://www.metalpowderreport.com/content/products/new-al-powder-developed/>

(Erişim tarihi: 26.04.2024)

http-3: <https://en.wikipedia.org/wiki/AlSi10Mg>

(Erişim tarihi: 26.04.2024)

ÖZGEÇMİŞ

ORCID NO: 0009-0009-0490-5169

Adı Soyadı : Umut OĞUZ

Yabancı Dil : İngilizce

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2016, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü (Lisans)
- 2021, Uzman Kalite Mühendisi, Alp Havacılık (Alp Aviation), Helikopter İş Merkezi Kalite Müdürlüğü, Eskişehir