

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEM PARAMETRELERİNİN AA6082 VE
AA6056 ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek DENİZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

KASIM 2023

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEM PARAMETRELERİNİN AA6082 VE
AA6056 ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK
ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dilek DENİZ

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. Nil TOPLAN

KASIM 2023

Dilek DENİZ tarafından hazırlanan “Sunı Yaşlandırma İşlem Parametrelerinin AA6082 ve AA6056 Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi ” adlı tez çalışması 30.11.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı :	Prof. Dr. Nil TOPLAN (Danışman) Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ Sakarya Üniversitesi
Jüri Üyesi :	Dr. Öğretim Üyesi Mustafa AKÇİL Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Sunı Yaşlandırma İşlem Parametrelerinin AA6082 ve AA6056 Alaşımlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi ” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(30/11/2023).

Dilek DENİZ



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince desteklerini, yardımlarını, hoşgörüsünü ve tecrübesini benden esirgemeyen değerli tez danışman hocam Prof. Dr. Nil TOPLAN'a en içten dileklerle teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca tecrübesi ile beni yönlendiren Prof. Dr. Hüseyin Özkan Toplan'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım süresince imkanlarından faydalandığım Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na ve SEM laboratuvarı çalışmalarım sürecinde her türlü yardımını gördüğüm Öğr. Gör. Fuat KAYIŞ'a teşekkür ederim.

Tez çalışmamı yapmama imkan sağlayan Sistem Alüminyum San. ve Tic. A.Ş.'ye başta üretim direktörümüz sayın Levent ŞENEL olmak üzere, üretim süreçlerinde ve laboratuvar çalışmalarımda sağladığı değerli katkıları ve destekleri için ekstrüzyon pres yöneticimiz Metin BAŞARAN'a ve ekstrüzyon pres üretim mühendisi Ahmet Berat AZAK'a teşekkürü borç bilirim. Çekme deneylerinde kullanılan numunelerin hazırlık sürecinde yapmış olduğu yardımlar için mekanik işlem yöneticimiz Onur ÇİFTELER'e teşekkür ederim. Ekibinin bir parçası olduğum ve yüksek lisans eğitimimi destekledikleri için kurumsal sürdürülebilirlik direktörümüz Fuat ORHAN, kalite müdürüm Yavuz ALAŞALVAR ve yöneticim İsmail SAN'a destekleri için teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında bilgilerini ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli arkadaşlarım Tuçe UYKUSUZ, Zeynep TUNCAY ve Tufan Korhan EKİNCİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Beni bu günlere getiren ve hayatımın her anında maddi manevi desteklerini benden esirgemeyen babam, annem ve kardeşime her zaman yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Dilek DENİZ



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLO LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI	3
2.1. Alüminyumun Tarihçesi	3
2.2. Alüminyumun Özellikleri	4
2.2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri	4
2.2.1.1. Atomik ve kristal yapı	4
2.2.1.2. Yoğunluk	5
2.2.1.3. Elektriksel iletkenlik ve öz direnç	6
2.2.1.4. Manyetik olmayan özellikler	6
2.2.1.5. Termal iletkenlik	6
2.2.1.6. Korozyon direnci	6
2.2.1.7. Ergime sıcaklığı	7
2.2.2. Alüminyumun olumlu özellikleri	7
2.2.3. Alüminyumun olumsuz özellikleri	7
2.3. Alüminyum Alaşımları	7
2.3.1. Dövme alüminyum alaşımları	8
2.3.1.1. 1xxx serisi alaşımlar	9
2.3.1.2. 2xxx serisi alaşımlar	9
2.3.1.3. 3xxx serisi alaşımlar	9
2.3.1.4. 4xxx serisi alaşımlar	10
2.3.1.5. 5xxx serisi alaşımlar	10
2.3.1.6. 6xxx serisi alaşımlar	10
2.3.1.7. 7xxx serisi alaşımlar	11
2.3.1.8. 8xxx serisi alaşımlar	11
2.3.1.9. 9xxx serisi alaşımlar	11
2.3.2. Döküm alüminyum alaşımları	11
2.4. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri	12
2.5. Alaşım Elementlerinin Etkileri	13
2.5.1. Silisyum	13
2.5.2. Bakır	14
2.5.3. Magnezyum	14
2.5.4. Magnezyum ve silisyum	14
2.5.5. Çinko	14
2.5.6. Demir	15

2.5.7. Krom.....	15
2.5.8. Mangan.....	15
2.5.9. Krom ve mangan	15
2.5.10. Titanyum	15
2.5.11. Titanyum ve bor	16
2.6. Alüminyumun Uygulama Alanları.....	16
2.6.1. Yapı ve inşaat uygulamaları.....	16
2.6.2. Konteynerler ve paketleme.....	16
2.6.3. Taşımacılık.....	17
2.6.3.1. Otomotiv.....	17
2.6.3.2. Kamyonlar ve otobüsler	17
3. ÇÖKELME SERTLEŞMESİ.....	19
3.1. Çözeltiye Alma.....	19
3.2. Su Verme (Ani Soğutma).....	20
3.3. Yaşlandırma	20
3.4. Ara Verilerek Yaşlandırma	22
3.5. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri	23
3.6. Mg ₂ Si.....	23
3.7. İntermetalikler	25
4. EKSTRÜZYON.....	27
4.1. Ekstrüzyonun Tarihçesi.....	27
4.2. Temel Parametrelerin Ekstrüzyona Etkisi.....	27
4.3. Malzemelere Uygulanan Mekanik Testler	30
4.3.1. Çekme testi.....	30
4.3.2. Sertlik testi.....	31
5. MALZEME VE YÖNTEM	33
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler	33
5.1.1. Deneyler için üretilen malzemelerin iş akışı.....	33
5.2. Sertlik Deneyi.....	36
5.3. Metalografik Çalışmalar.....	37
5.4. Çekme Deneyi	39
5.5. XRD Analizi.....	39
6. DENEYSEL SONUÇLAR.....	41
6.1. Sertlik ve Çekme Deneyi Sonuçları	42
6.1.1. Birinci grup numuneler	42
6.1.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler.....	43
6.1.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler	45
6.1.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler.....	46
6.1.2. İkinci grup numuneler	48
6.1.2.1. 150°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler	49
6.1.2.2. 165°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler	51
6.1.2.3. 180°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler	53
6.1.2.4. 195°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler	55
6.1.2.5. 210°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler	57
6.1.3. Üçüncü grup numuneler	59
6.1.4. Dördüncü grup numuneler	61
6.2. Optik Mikroyapı Analizleri	62
6.2.1. Birinci grup numuneler	62
6.2.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler.....	62
6.2.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler	63

6.2.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler.....	66
6.2.2. İkinci grup numuneler.....	66
6.2.2.1 150°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler.....	66
6.2.2.2. 165°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler.....	66
6.2.2.3. 180°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler.....	70
6.2.2.4. 195°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler.....	70
6.2.2.5. 210°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler.....	70
6.2.3. Üçüncü grup numuneler.....	70
6.2.4. Doğal yaşlandırma	71
6.3. SEM Mikroyapı Analizleri.....	76
6.3.1. Birinci grup numuneler	76
6.3.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler	76
6.3.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler	76
6.3.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler.....	76
6.3.2. İkinci grup numuneler.....	79
6.3.2.1 150°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler	79
6.3.2.2. 165°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler	80
6.3.2.3. 180°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler	80
6.3.2.4. 195°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler	80
6.3.2.5. 210°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler	85
6.3.3. Üçüncü grup numuneler.....	86
6.3.4 Dördüncü grup numuneler	86
6.4. EDS Analizleri	89
6.4.1. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	89
6.4.2. 165°C sıcaklıkta 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	89
6.4.3. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	92
6.4.4. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	93
6.4.5. 195°C sıcaklıkta 5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	93
6.4.6. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	96
6.5. MAP Analizleri	97
6.6. XRD Analizleri	101
6.6.1. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi	101
6.6.2. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi	102
6.6.3. 180 °C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi	103
6.6.4. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi	104
7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER	105
7.1. Genel Sonuçlar	105
7.2. Öneriler	107
KAYNAKLAR	109
EKLER.....	113

ÖZGEÇMİŞ.....	125
---------------	-----



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Ross, 2013).	5
Tablo 2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları Standart Gösterimi (Cardarelli, 2008)....	8
Tablo 2.3. Döküm Alüminyum Alaşımları Standart Gösterimi (Cardarelli, 2008)...	12
Tablo 2.4. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri (Cardarelli, 2008).	13
Tablo 3.1. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri (Kaufman, 2000; Habashi, 2008; Benedyk, 2010)	23
Tablo 5.1. TS EN 573-3 +A1 standardı ve AA6082 ve AA6056 numune analizleri.	33
Tablo 5. 2. Suni yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.....	36
Tablo 6. 1. Birinci grup numunelerin yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.	42
Tablo 6.2. Birinci grup numunelere ait sertlik değerleri, çekme ve akma mukavemetleri.....	43
Tablo 6. 3. İkinci grup numunelerin yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.	49
Tablo 6. 4. Üçüncü grup numunelerin suni yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.	60
Tablo 6.5. AA6056 ve AA6082 alaşımlarına ait üçüncü grup numunelerin sertlik ve çekme deneyi sonuçları.	60



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1. Alüminyumun atomik ve kristal yapısı (Cobden ve Alcan, & Lecture).	5
Şekil 2.2. Birim Ağırlık Başına Hacim (Cobden ve Alcan, & Lecture).	6
Şekil 2.3. Başlıca Alüminyum Alaşımları (Askeland ve Wright, 2018).	8
Şekil 2.4. a. Al_5FeSi yapısının levhasal yapısı b. $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ yapısının kübik morfolojisi (Rana ve ark., 2012).	15
Şekil 2.5. Tane küçültücü eklenmiş mikroyapı (Rana ve ark., 2012).	16
Şekil 3.1. Yaşlandırma ısıtma işlemi sıcaklık-zaman çevrim grafiği (Tekin, 2014).	19
Şekil 3.2. a. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti b. Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme (Tekin, 2014).	20
Şekil 3.3. Yaşlandırma aşamalarının gösterimi (Demirtaş, 2009).	21
Şekil 3.4. Malzeme yapısının değişimi (Demirtaş, 2009).	22
Şekil 3.5. Ara verilerek yaşlandırma işleminin şematik gösterimi (Tekin, 2014).	22
Şekil 4.1. Direkt ekstrüzyon prosesi ve indirekt ekstrüzyon prosesi (Sheppard, 2013).	27
Şekil 4.2. Direkt ekstrüzyon pres şeması (Saha, 2000).	28
Şekil 4.3. Ekstrüzyon temel parametreleri (Saha, 2000).	28
Şekil 5.1. a. Deneyler için üretilen malzemelerin iş akış şeması b. Numunelere uygulanan işlemler ve deneyler.	35
Şekil 5.2. a. Isıl işlem fırını b. Numunelerin ısıtma işlemi fırını içindeki dizilimi	36
Şekil 5.3. Makro sertlik cihazı	37
Şekil 5.4. a. Metalografik numune kesme cihazı b. Sıcak bakelite alma cihazı c. Zımparalama ve parlatma cihazı	38
Şekil 5.5. a. Optik mikroskop b. Taramalı elektron mikroskobu	38
Şekil 5.6. a. Çekme cihazı b. Çekme numunelerinin makro görüntüleri	39
Şekil 6.1. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait a. sertlik, b. çekme ve c. akma mukavemeti grafikleri	44
Şekil 6.2. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait a. sertlik, b. çekme ve c. akma mukavemeti grafikleri	46
Şekil 6.3. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait a. sertlik, b. çekme ve c. akma mukavemeti grafikleri	48
Şekil 6.4. 150°C sıcaklıkta a. 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımlarına ait sertlik grafikleri	50
Şekil 6.5. 150°C sıcaklıkta a. 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımlarına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri	51

Şekil 6.6. 165°C sıcaklıkta a. 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği.....	52
Şekil 6.7. 165°C sıcaklıkta a. 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri	53
Şekil 6.8. 180°C sıcaklıkta a. 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği.....	54
Şekil 6.9. 180°C sıcaklıkta a. 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri	55
Şekil 6.10. 195°C sıcaklıkta a. 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği.....	56
Şekil 6.11. 195°C sıcaklıkta a. 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri	57
Şekil 6.12. 210°C sıcaklıkta a. 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği....	58
Şekil 6.13. 210°C sıcaklıkta a. 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri	59
Şekil 6.14. Oda sıcaklığında 3 ay doğal yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 numunelere ait a. sertlik ve b. çekme ve akma mukavemeti grafikleri	62
Şekil 6.15. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat suni yaşlandırılan a. AA6082 ve b. AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri.....	64
Şekil 6.16. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat yaşlandırılan a. AA6082 ve b. AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri.....	65
Şekil 6.17. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat yaşlandırılan a. AA6082 ve b. AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüler.....	67
Şekil 6.18. 150°C sıcaklıkta a. 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri	68
Şekil 6.19. 165°C sıcaklıkta a. 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri	69
Şekil 6.20. 180°C sıcaklıkta a. 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri	72
Şekil 6.21. 195°C sıcaklıkta a. 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri	73
Şekil 6.22. 210°C sıcaklıkta a. 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve b. 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri	74
Şekil 6.23. a. AA6082 ve b. AA6056 alaşımlarına ait en yüksek, orta ve en düşük çekme mukavemetinin tespit edildiği suni yaşlandırma sıcaklık ve sürelerindeki optik mikroyapı görüntüleri.....	75
Şekil 6.24. 3 ay oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemi için bekletilen AA6056 ve AA6082 numunelerin optik mikroyapı görüntüleri	76
Şekil 6.25. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	77

Şekil 6.26. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	78
Şekil 6.27. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	79
Şekil 6.28. 150°C sıcaklıkta 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	81
Şekil 6.29. 165°C sıcaklıkta 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	82
Şekil 6.30. 180°C sıcaklıkta 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	83
Şekil 6.31. 195°C sıcaklıkta 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	84
Şekil 6.32. 210°C sıcaklıkta 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri	85
Şekil 6.33. AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait üçüncü grup numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri.....	87
Şekil 6.34. 3 ay oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemi için bekletilen AA6056 ve AA6082 numunelerin SEM görüntüleri.....	88
Şekil 6.35. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	90
Şekil 6.36. 165 °C sıcaklıkta 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	91
Şekil 6.37. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi	92
Şekil 6.38. 180 °C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	94
Şekil 6.39. 195 °C sıcaklıkta 5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	95
Şekil 6.40. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi	96
Şekil 6.41. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan MAP analizi	97
Şekil 6.42. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan MAP analizi	98
Şekil 6.43. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan MAP analizi	99
Şekil 6.44. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan MAP analizi	100
Şekil 6.45. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi	101
Şekil 6.46. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi	102
Şekil 6.47. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi	103

Şekil 6.48. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi.....	104
--	-----



SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEM PARAMETRELERİNİN AA6082 VE AA6056 ALAŞIMLARININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada ısıtıl işlem uygulaması yapılabilen AA6082 ve AA6056 serisi dövme alüminyum alaşımlarına uygulanan suni yaşlandırma işleminin mekanik özellikler ve mikroyapı üzerindeki etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır. Sanayide biyet olarak tanımlanan hammaddeler, 7 metre uzunluğunda ve 178 mm çapında yarı sürekli döküm yöntemiyle üretilmektedir. Yarı sürekli döküm yöntemi ile imal edilen AA6056 ve AA6082 alüminyum alaşımı biyetler ekstrüzyon yöntemi ile şekillendirilerek çalışmada kullanılan lama profillerin numuneleri üretilmiştir. Çözeltiliye alma işlemi üretilen biyetlere yapılan homojenizasyon ısıtıl işlemi ile başlamıştır. Biyetler; ekstrüzyon ile şekillendirilecek olan profilin geometrisine uygun olacak boyutlarda kesilmektedir. Ekstrüzyon işlemine geçilmeden önce kesilen biyetlere ön ısıtılma yapılır ve çözeltiliye alma işlemi tamamlanmış olur. Su verme işlemi ise sıcak iş takım çeliklerinden imal edilen kalıptan çıkan ve nihai şeklini alan alüminyum profilin 25°C sıcaklığa sahip olan su dolu havuzdan geçirilmesine dayanmaktadır. Su verme işlemi tamamlandıktan sonra profiller germe ve kesme uygulamalarından geçmiştir. Ekstrüzyon prosesinden 3000 mm olarak çıkan profiller yaşlandırma işlemi için 500 mm boya kesilmiştir. Suni yaşlandırma yapılmak üzere her bir alaşımdan 41 adet ve aynı sayıda yedek olmak üzere deney numuneleri hazırlanmıştır. Tüm numuneler biax kalem ile numaralandırılarak tanımlanmıştır. Her iki alaşıma da detayları deneysel çalışmalarda verilen sürelerde 150°C, 165°C, 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Her iki alaşımdan ikişer numune doğal yaşlanmanın mekanik özelliklere ve mikroyapıya etkilerinin araştırılması için 3 ay oda sıcaklığında bekletilmiştir. Yaşlandırılan numuneler çekme testi numune hazırlığı için hassas kesim işlemi ile 310 mm uzunluğa kısaltılmıştır. Çekme deneyi ile AA6056 ve AA6082 alaşımlarının çekme ve akma mukavemeti değerleri tespit edilmiştir. Numunenin kalan kısmı ise sertlik ölçümleri ve mikroyapı analizleri için kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri numunelerin ekstrüzyon yönüne paralel olan yüzeylerinden beşer adet ölçüm yapılarak ve yapılan ölçümlerin ortalamaları kaydedilerek tamamlanmıştır. Suni ve doğal yaşlandırılan numunelerin, kimyasal kompozisyonlarının belirlenmesi için spektral analiz yapılmıştır. Ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olacak şekilde metalografik numune hazırlama süreçlerinden geçen her iki alaşıma ait numunelerdeki çökelti dağılımı optik mikroskop ile incelenmiştir. Alüminyum matris yapısındaki değişimleri, oluşan çökelti ve çökeltilerin yapıdaki dağılımları SEM-EDS analizleri ile detaylandırılmış ayrıca seçilen numunelere MAP analizi de yapılmıştır. Suni ve doğal yaşlandırılan numunelerin faz yapıları ise XRD cihazı ile tanımlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, aynı sıcaklık ve sürede yaşlandırılan AA6056 alaşımı numunelerde AA6082 alaşımı numunelere göre daha yüksek mekanik özellikler elde edilmiştir. Suni yaşlandırma işleminde kullanılan süre

ve sıcaklığın etkisi ile mikroyapıda meydana gelen çökelti ve malzemelerin mekanik özelliklerine etkileri tartışılmıştır.



INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ARTIFICIAL AGING PROCESS PARAMETERS ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF AA6082 AND AA6056 ALLOYS

SUMMARY

This study was aimed to investigating the effects of artificial aging applied to 6XXX series wrought aluminum alloys, which can be heated and treated, on mechanical properties and microstructure.

Direct chill casting method and direct extrusion method were used to produce the samples to be used in the study. Raw materials, defined as billet in the industry, were produced by direct chill casting method with a length of 7 meters and a diameter of 178 mm. After the casting process was completed, the billet was homogenized and subsequently cooled. The main purpose of homogenization is to make the raw material extrudable by providing phase transformations in the microstructure of the billet.

AA6056 and AA6082 aluminum alloy billets manufactured by the direct chill casting method were shaped by the extrusion method and samples of the flat profiles used in the study were produced.

In extrusion production, billet front and back temperatures, extrusion beginning and end temperatures, press speed, bursting pressure, and billet length used was kept constant for both alloys. Since the aim of the study was to examine the effect of two different alloys on the mechanical properties and microstructure under different artificial aging conditions, the production parameters were kept constant.

The heat treatment processes used in the study consist of three stages. These are the processes of solution, quenching and aging, respectively.

The solution process started with the homogenization heat treatment of the produced billets. It continues until the aluminum starts to pass through the extrusion molds made of hot work tool steels, which is accepted as the beginning of the extrusion process. The quenching process is based on passing through a water-filled pool with a temperature of 25°C on profiles. After the quenching process was completed, the profiles went through tensioning and cutting applications. Profiles were cut to 3000 mm length. The profiles that came out of the extrusion process as 3000 mm were cut to 500 mm length for the aging process.

The aging process is basically divided into two artificial aging and natural aging. Heat treatment furnaces are used in artificial aging. It enables the production of materials in desired conditions by using different heat treatment recipes in heat treatment furnaces, which are called thermal furnaces in the industry. Natural aging, on the other hand, refers to the change in the mechanical properties of the material depending on time by natural means without any heat treatment after production by extrusion.

84 samples were prepared to be aged at different temperatures and times and their 84 spare samples were also prepared. All samples were numbered with a biax pen.

Both alloys were artificially aged at 150°C, 165°C, 180°C, 195°C and 210°C for the periods detailed in the experimental studies.

AA6082 and AA6056 samples were subjected to artificial aging in heat treatment furnaces at 150°C for 12, 16, 20, 24, 28, 32, 36 and 40 hours. In the aging process at 165°C, aging heat treatment was applied for 8, 10, 12, 14, 16, 18 and 20 hours. While periods of 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 and 12 hours were used in the artificial aging process at 180°C; Periods of 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10 hours at 195°C were used. Finally, artificial aging heat treatment was applied at 210 °C for 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4 and 4.5 hours.

Samples 83 and 84 were kept at room temperature for 3 months to investigate the effects of natural aging on mechanical properties and microstructure.

Mechanical properties change in samples that are subjected to aging heat treatment. The samples were expected to exhibit different mechanical properties for each temperature and time. In order to determine this, mechanical tests should be applied to the samples. Some of the mechanical properties that are expected to change are tensile strength and yield strength .

The tensile strength and yield strength of the material will be determined by applying the tensile test. The aged samples were shortened to 310 mm in length by fine cutting for tensile test sample preparation. The remaining part of the sample was used for hardness measurements and microstructure analysis. Hardness measurements were completed by making 3 measurements from the cross-section of the flat profile and from the same points in each sample and recording the averages of the measurements made.

Hardness measurements of the test samples were made with a Brinel device using 2.5mm diameter balls, applying 10 kg preload and 62.5 kg total load. According to the data obtained, the highest hardness value was obtained as 130 HB in 7 hours in the aging process at 180°C for the AA6056 alloy; The highest hardness for AA6082 alloy was obtained as 109.33 HB in 16 hours at 165°C. The highest hardness value in AA6056 alloy was obtained in the sample that was aged for 7 hours. This value is also the highest hardness value obtained at all temperatures and times used for both alloys.

The hardness values of the samples subjected to natural aging for 3 months at room temperature were recorded as 91.53 HB for the AA6056 alloy and 78.43 HB for the AA6082 alloy. Higher hardness values were obtained in the artificially aged samples compared to the naturally aged samples.

Tensile tests were performed on AA6082 and AA6056 alloy samples. Tensile test was applied to samples which were kept for natural aging process at room temperature for 3 months. When the tensile strength values of the AA6056 alloy samples were compared, it was found that the sample aged for 7 hours at 180 °C had the highest tensile strength; it was observed that, which underwent 4,5 hours at 210 °C, had the lowest tensile strength value. When the tensile strength values of the AA6082 alloy samples were compared, it was found that the sample aged for 36 hours at 150 °C had the highest tensile strength value; the lowest tensile strength value was observed, which underwent 4,5 hours at 210°C. In the AA6056 sample, where the tensile strength was recorded as the highest value, the yield strength also had the highest yield value of the study. The lowest yield strength value belongs to the sample, which was

naturally aged for 3 months at room temperature. As a result of the tensile test applied to AA6082 alloy samples, the highest value of yield strength was seen in aged for 8 hours at 180°C. The lowest yield strength value was make firm in the sample, which was subjected to natural aging.

As a result of the artificial aging process applied to the AA6056 alloy samples; it was observed that the sample showing the highest mechanical properties was the sample aged at 180°C for 7 hours. It's tensile strength is 417.30 MPa, yield strength is 385.00 MPa and hardness value is 130 HB. The tensile strength of the sample, which was aged at 210 °C for 4.5 hours, was recorded as 356.81 MPa, yield strength of 322.20 MPa and hardness value of 109.33 HB. This shows the lowest strength result obtained by the artificial aging process applied to AA6056 alloy.

When two different alloys aged at the same temperature and time are compared, it is seen that the AA6056 alloy has a higher hardness value than the AA6082 alloy. AA6056 alloy has a higher hardness value than AA6082 in the samples applied natural aging process.

Tensile stress and yield stress values obtained by the tensile test were compared for AA6056 and AA6082 alloys. The chemical compositions of the samples, which were aged using different temperatures and times, were analyzed by a spectrometer, macro, and microstructural analyzes were made using an optical microscope and SEM microscope, and phase structures were made by XRD phase analysis. As a result of the experiments, when the AA6056 and AA6082 samples aged at the same temperature and time were compared, higher mechanical properties were obtained in the AA6056 alloy samples than in the AA6082 alloy samples.



1. GİRİŞ

Yeryüzünde en çok bulunan ikinci metal element olan alüminyum, ambalaj folyosundan en zorlu mühendislik uygulamalarına uzanan geniş kullanım alanlarına sahip olduğu için 19. yüzyılın sonlarına doğru mühendislik uygulamalarında ekonomik bir rakip haline gelmiştir (Johnson, 1990; Davis, 1993). Dünyada en çok tüketilen demir dışı metal olan alüminyum yüksek mukavemeti, hafifliği ve korozyona karşı direnci ile geleneksel uygulamalarda ve yeni uygulamalarda tercih edilme sebebidir (Totten ve MacKenzie, (2023a)).

En karakteristik özelliği düşük ergime noktası ve düşük özgül ağırlık olan alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemleri ile alaşımların mekanik özellikleri önemli ölçülerde geliştirilebilmektedir (Kvackaj, 2011). Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıtma işlemleri en genel ifade ile alaşımların mekanik özelliklerini ve metalurjik yapılarını değiştirmek için yapılan ısıtma ve soğutma işlemleri olarak tanımlanabilir (ASM-International, 1991).

Bu çalışmada doğal ve suni yaşlandırma ısıtma işlem parametrelerinin AA6056 ve AA6082 alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerine, mikroyapılarına ve faz yapılarına etkileri incelenmiştir. Bölüm 2.'de alüminyumun tarihçesi, alüminyumun özellikleri, alüminyum alaşımları, alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemleri, alaşım elementlerinin etkileri ve alüminyumun uygulama alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 3.'te çökelme sertleşmesi aşamaları olan çözeltiye alma, su verme ve yaşlandırma işleminden bahsedilmiştir. Alüminyum alaşımlarının temper gösterimleri detaylı olarak aktarılmıştır. Bölüm 4.'te ekstrüzyon, ekstrüzyonun tarihçesi ve ekstrüzyon parametreleri hakkında bilgiler verilmiştir. Malzemelere uygulanan mekanik testler aktarılmıştır. Bölüm 5.'te malzeme ve yöntem; deneyde kullanılan malzemeler, deneyler için kullanılan malzemelerin iş akış şeması, sertlik deneyi, çekme deneyi ve metalografik çalışmalar detaylandırılmıştır. Bölüm 6.'daki deneysel sonuçlar kısmında ise her iki alaşımların sertlik ve çekme deneyi sonuçları, mikroyapı incelemeleri (optik, SEM-EDS,MAP) ve faz analizleri yer almaktadır. Bölüm 7.'de çalışmaya ait bulunan tüm sonuçlar ve öneriler aktarılmıştır.



2. ALÜMİNYUM VE ALAŞIMLARI

2.1. Alüminyumun Tarihçesi

Alüminyum, yer yüzünde en yaygın bulunan üçüncü elementtir ve yer kabuğunun yüzde sekizini oluşturmaktadır (Cobden, R., Alcan, B., & Lecture). Alüminyum doğada element halinde bulunmaz, her zaman kimyasal bir bileşik halinde bulunur (Lumley, 2010).

Alüminyumun varlığı ilk kez 1808 yılında Sir Humphrey Davy tarafından kanıtlanmıştır (Cobden, R., Alcan, B., & Lecture). Sir Humphry Davy tarafından icat edilen alüminyum ismi Latince alümen kelimesine dayanarak ortaya konmuştur (Dwight, 1998). Alüminyum metali ilk kez 1825 yılında Hans Christian Oersted tarafından küçük miktarlarda üretilmiştir. Bundan iki yıl sonra Freidrich Wöhler, susuz alüminyum klorür ile potasyumun reaksiyonundan bir toz alüminyum üretimi gerçekleştirmiştir (Cobden, R., Alcan, B., & Lecture). Bu gelişmelerin ardından 1845 yılında Alman bilim adamı Wöhler tarafından alüminyumun özgül ağırlığı belirlenmiştir. Özgül ağırlığının belirlenmesiyle birlikte alüminyumun hafifliği, kolay şekillendirilebilir olması ve havada stabil olması gibi önemli özellikleri de keşfedilmiştir. 1854 yılında Henri Sainte-Claire Deville tarafından Wöhler'in ürettiği bu süreç geliştirilmiştir. 1886 yılında Charles Martin Hall ve Paul Louis Toussaint Heroult, aynı zamanlarda elektrolitik bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu üretim süreci alüminyumun üretiminde önemli bir yöntem olarak belirlenmiş ve birincil alüminyum endüstrisinin temelini oluşturmuştur (Lumley, 2010). Alüminyum metalinin endüstride kullanılmaya başlanması modern ergitme işleminin icat edildiği 1886 yılına dayanmaktadır (Dwight, 1998).

Birincil alüminyum üretimi günümüzde birçok ülkenin alüminyum ergiterek ürün elde etmesini sağlamıştır. Önemli özellikleri sayesinde alüminyum üretimi gün geçtikçe katlanarak artmaktadır ve alüminyum üretimindeki bu talep üretim kapasitesinin artmasını sağlamaktadır. 1914-1919 yılları arasında alüminyum üretimindeki bu artış 70.800 tondan 132.500 tona kadar yükselmiştir. Bu artış İkinci Dünya Savaşı'nın ardından daha da hızlanmıştır. 1939 yılında 704.000 ton olan üretim 1943 yılında

1.950.000 tona kadar yükselmiştir ve sonrasında üretim önemli ölçüde azalmıştır. 1950-1970 yılları arasında alüminyum içeren ürünlerin tüketimi oldukça artmıştır ve alüminyum hafiflik, şekillendirilebilirlik ve dayanıklılık gibi özellikleri sayesinde çok aranan bir ürün haline gelmiştir (Cobden, R., Alcan, B., & Lecture).

2.2. Alüminyumun Özellikleri

Alüminyum kimyasal sembolü Al olan, atom numarası 13 ve atom ağırlığı 27 olan bir elementtir. Metalik bir element olan alüminyumun çekirdeği 13 proton ve 14 nötron içermektedir. Saf alüminyum oldukça dayanıksızdır. Uygulanan temper işlemine bağlı olarak 90 ila 140 MPa arasında değişen bir çekme mukavemetine sahiptir. Alaşımlandırılarak çekme mukavemeti 500 MPa'nın üzerine çıkabilir (Dwight, 1998).

2.2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri

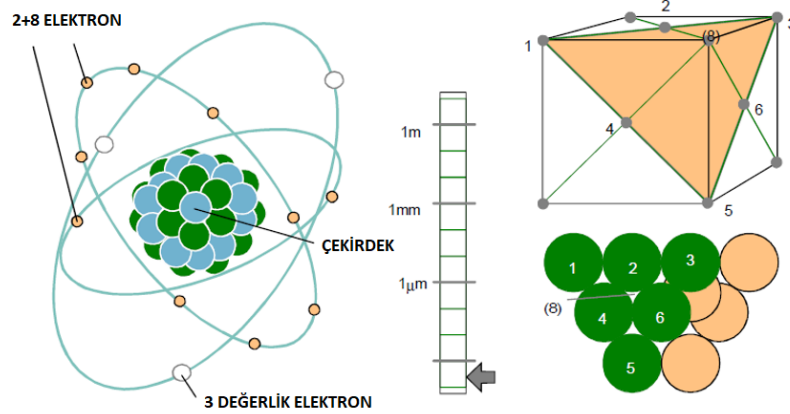
Saf alüminyum $2,70 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa ve nispeten düşük elastisite modülüne sahiptir. Yapısal çeliklerde 205 kN/mm^2 olan elastisite modülü, saf alüminyum için 69 kN/mm^2 'dir. Elastisite modülü sıcaklık ile azalan bir eğilim gösterir. Ergime noktası 660°C olan saf alüminyumun kaynama noktası ise 1800°C 'dir. Oda sıcaklığında saf alüminyumun özgül ısısı $22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ 'dir. Saf alüminyumun oda sıcaklığında termal iletkenliği $240 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ 'dir. (Dwight, 1998). Tablo 2.1.'de alüminyumun fiziksel özellikleri verilmiştir.

2.2.1.1. Atomik ve kristal yapı

Alüminyum elementinin kimyasal sembolü Al'dir ve atom numarası 13'tür (Cobden ve Alcan, & Lecture). Metaller katılaşma sırasında en basit tanımı ile atomlar arası tekrarlı düzeni ifade eden kristal yapılara dönüşürler. Aynı zamanda kafes yapıları olarak da tanımlanan bu düzenli yapı alüminyum elementi için yüzey merkezli kübik yapı olarak karşımıza çıkmaktadır. YMK kafes yapısına sahip olan alüminyum elementinin atomik yapısı Şekil 2.1.'de verilmiştir (Cobden ve Alcan, & Lecture).

Tablo 2.1. Alüminyumun Fiziksel Özellikleri (Ross, 2013).

Atom numarası	13
Atomik ağırlık	26,97 g/mol
Kristal yapısı	Yüzey Merkezli Kübik
Renk	Mavimsi beyaz
Özgül ağırlık	2,7 g/cm ³
Yoğunluk	2700 kg/m ³
Ergime noktası	658°C
Kaynama noktası	2270°C
Özgül ısı	0,90 J/g °C
Isıl iletkenlik	210W/m °C
Lineer genleşme katsayısı	24 x 10 ⁻⁶ /°C
Erime gizli ısı	386,9 J/g
Buharlaşma ısı	9462 J/g
Elektrik iletkenliği	62-62.9% IACS (copper 100%)
Özgül direnç	27,8-27,4 microhm.mm
Elektrik direncinin sıcaklık katsayısı	0,0041/°C
Elektrokimyasal eşdeğer	0,3354 g/A/h
Elektrot potansiyeli	-1,69 V



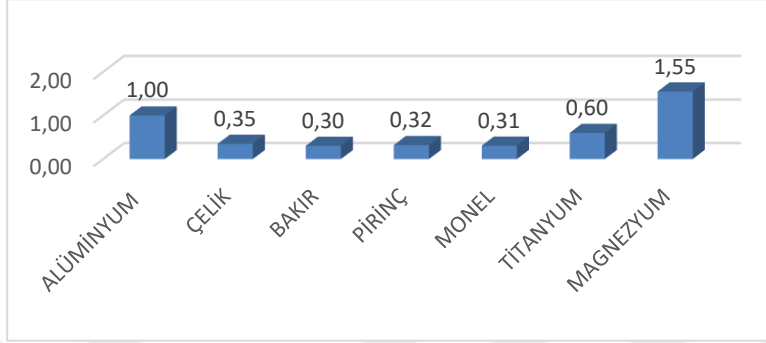
Şekil 2.1. Alüminyumun atomik ve kristal yapısı (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.2. Yoğunluk

Alüminyum hafif bir metal olduğu için tercih sebebidir. Atomik ağırlığı 26,97 ve özgül ağırlığı 2,70 g/cm³ olan alüminyum; magnezyum ve titanyum haricinde olan metallerin ağırlığının üçte biri kadar ağırlığa sahiptir.

Alüminyuma ilave edilen diğer elementler, alüminyumun yoğunluğunu majör miktarlarda etkilemez. Sahip olduğu düşük yoğunluk, yüksek mukavemeti sayesinde alüminyum havacılık sektöründe önemli bir metal haline gelmiştir. Metallerin alım

satım işlemleri ağırlık birimi ile yapılmaktadır fakat hacim bazında kullanılmaktadır. Bu sebeple alüminyum birim ağırlık başına düşen hacim miktarı olarak diğer elementlerden ayrılmaktadır. Bu da alüminyumu düşük maliyetli kılmaktadır. (Cobden ve Alcan, & Lecture). Şekil 2.2.'de alüminyumun birim ağırlık başına hacminin diğer elementlerle karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 2.2. Birim Ağırlık Başına Hacim (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.3. Elektriksel iletkenlik ve öz direnç

Düşük özgül ağırlığı sebebi ile kütle elektrik iletkenliği diğer metallerden daha fazla olan alüminyumun 20°C'deki öz direnci 2,69 mikrohm.cm'dir. Alüminyumun bileşiminin ve alüminyuma uygulanan ısı işlemlerin değişmesi ile beraber alüminyumun elektrik iletkenliği de değişir. Saf alüminyumun elektrik iletkenliği daha yüksektir (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.4. Manyetik olmayan özellikler

Alüminyum pratik uygulamalar için manyetik olmayan bir metal olarak kabul edilir. Düşük manyetik özellikler sergileyen alüminyum, hafifliği ve düşük maliyeti gibi avantajlara da sahip olduğu için, manyetik özellikler sergilemeyen diğer metallere oranla askeri gemi uygulamalarında daha çok tercih edilmektedir (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.5. Termal iletkenlik

Alüminyum yüksek termal iletkenliğe (210W/m°C) sahip bir metaldir (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.6. Korozyon direnci

Yüzeyinde bulunan koruyucu oksit tabakası sayesinde yüksek korozyon direncine sahip olan alüminyuma uygulanan eloksal yüzey işlemi ile korozyon direnci geliştirilebilir. Elokсал filmin sahip olduğu boya emici özellik sayesinde, alüminyum

yüzeyine uygulanan boyama işlemleri daha kalıcı olarak renklendirilmesine olanak sağlar (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.1.7. Ergime sıcaklığı

Saf alüminyumun (%99,99) ergime sıcaklığı 660°C iken alüminyuma eklenen alaşım elementi ilaveleri ile ergime sıcaklığı 635°C'ye kadar düşebilmektedir (Cobden ve Alcan, & Lecture).

2.2.2. Alüminyumun olumlu özellikleri

- Alüminyum çeliğin üçte biri ağırlığına sahip olan hafif bir metaldir.
- Paslanmaz özellik gösterir. Kaplama olmadan kullanılabilir.
- Ekstrüde edilebilir, kaynaklanabilir ve işlenebilir.
- İmalat maliyetleri çelikten düşüktür.
- Kriyojenik uygulamalar için uygundur (Dwight, 1998).

2.2.3. Alüminyumun olumsuz özellikleri

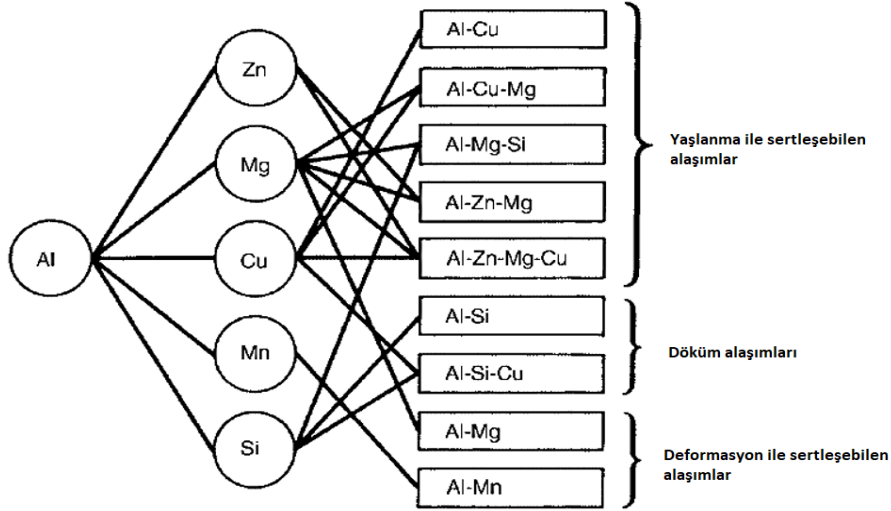
- Alüminyum metalinin maliyeti çelikten fazladır.
- Bazı alüminyum alaşımları yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında mukavemetini kaybetmeye başlar.
- Yorulma dayanımı çelikten düşüktür (Dwight, 1998).

2.3. Alüminyum Alaşımları

Alüminyuma eklenen alaşım elementleri ile saf alüminyumun mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri önemli ölçüde artar. Bu sebeple alüminyum uygulamalarında bir veya daha fazla elementin ilavesi gerekmektedir. Alüminyuma eklenen başlıca elementler bakır, mangan, silisyum, magnezyum ve çinkodur (Davis, 1998).

Alüminyum alaşımları için en yaygın kullanılan standart gösterim, Alüminyum Birliği'nin (Aluminium Association), Arlington, VA tarafından tanıtılan ve birçok ülkede yaygın olarak kullanılan gösterimdir. Bu standarda göre alüminyum alaşımları dövme alaşımları (yani mekanik olarak işlenmiş) ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana gruba ayrılır (Cardarelli, 2008). Dövme (işlem) ve döküm alaşımları kendi içinde ısıtılabilir alaşımlar ve ısıtılmayan alaşımlar olmak üzere iki alt

başlıға ayrılır (Hussey ve Wilson, 2013). Plastik deformasyonla şekillendirilen işlenmiş alaşımlar, imalat sürecinin farklı gereksinimlerini yansıtan döküm alaşımlarından önemli ölçüde farklı bileşimlere ve mikroyapılara sahiptir (Askeland ve Wright, 2018). Şekil 2.3.'te başlıca alüminyum alaşımları verilmiştir.



Şekil 2.3. Başlıca Alüminyum Alaşımları (Askeland ve Wright, 2018).

2.3.1. Dövme alüminyum alaşımları

Alaşım elementlerinin türüne göre tanımlanan dövme alüminyum alaşımları Tablo 2.2.'de verilmiştir. Tabloda yer alan 1xxx serisi alaşımlar; %99,00 saf alüminyuma veya daha fazlasına karşılık gelir. Bu seride, ikinci hane özel saflık kontrollerini gösterir ve son iki hane %99,00'un üzerindeki minimum alüminyum içeriğini gösterir (örn. 1030 alüminyum, %99,30 Al içerir). Diğer serilerde ikinci basamak alaşım modifikasyonlarına atıfta bulunur ve son iki basamak alaşımı tanımlamaktadır (Cardarelli, 2008).

Tablo 2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları Standart Gösterimi (Cardarelli, 2008).

Simge	Açıklama
1xxx	Saf alüminyum (%99 veya daha fazla Alüminyum)
2xxx	Al-Cu ve Al-Cu-Mg alaşımlar
3xxx	Al-Mn alaşımlar
4xxx	Al-Si alaşımlar
5xxx	Al-Mg alaşımlar
6xxx	Al-Mg-Si alaşımlar
7xxx	Al-Zn-Mg ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımlar
8xxx	Diğer alaşım elementleri
9xxx	Kullanılmayan seriler

Özetle; dövme alüminyum alaşımlarının standart gösterimlerinde ilk basamak ana alaşım elementini, ikinci basamak ilk alaşımın varyasyonlarını, son iki basamak ise bireysel alaşım varyasyonlarını temsil eder (Cardarelli, 2008).

1xxx ve 3xxx serileri, küçük inklüzyonlar veya intermetalik bileşikler dışında tek fazlı alaşımlardır. Özellikleri; gerinim sertleştirilmesi, sınırlı katı çözelti güçlendirmesi ve tane boyutu kontrolü ile belirlenir. 2xxx, 6xxx, 7xxx ve 8xxx serileri yaşlandırılabilir alaşımlardır ve mükemmel dayanımlar elde etmek için ısıtılabilir ve ısıtılabilirler (Hussey ve Wilson, 2013). 1xxx, 3xxx, 4xxx ve 5xxx serisi alüminyum alaşımlarına ısıtılabilir uygulama yapılamaz (Asa, 2010).

2.3.1.1. 1xxx serisi alaşımlar

%99.00 veya daha yüksek saflıkta alüminyum iktiva ederler. Yüksek korozyon direnci, yüksek termal ve elektrik iletkenlikleri ve mükemmel işlenebilirlik kabiliyetlerinin yanında düşük mekanik özelliklere sahip olan alaşımlardır. Düşük mekanik özellikleri gerinim sertleştirilmesi ile iyileştirilebilir. Ana safsızlıkları demir ve silisyumdur. Elektrik ve kimya endüstrileri tarafından tercih edilirler (Davis, 1993).

2.3.1.2. 2xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi bakır olan 2xxx serisinin ikincil alaşım elementi magnezyumdur. Çözelti ısıtılabilir uygulama durumunda mekanik özellikleri düşük karbonlu çeliklere benzerlik gösterir ve bazı durumlarda düşük karbonlu çeliklerden yüksektir. Mekanik özelliklerde daha fazla artış sağlamak için yaşlandırma yapılabilir. 2xxx serisi alüminyum alaşımlarının korozyon dirençleri diğer alüminyum alaşımlarına oranla daha azdır. Genel kullanım yerleri; kamyon ve uçak tekerlekleri, kamyon süspansiyon parçaları, uçak gövdesi, kanat kaplamaları ve yapısal parçalardır (Davis, 1993).

2.3.1.3. 3xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi mangan olan 3xxx serisinde dayanıklılık 1xxx serisine göre %20 oranda daha yüksektir. 3xxx serisi genellikle ısıtılabilir işlem görmez. 3003 alaşımı işlenebilirlik ve orta mukavemet gerektiren uygulamalarda kullanılır. Mimari uygulamalarda tercih edilir (Davis, 1993).

2.3.1.4. 4xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi silisyumdur. Silisyum kırılğanlık oluşturmadan ergime aralığının önemli ölçüde düşürölmesine neden olduğu için kaynak telinde ve ana metalden daha düşük bir ergime aralığının gerekli olduğu alüminyumun birleştirilmesi için lehimleme alaşımları olarak kullanılır (Davis, 1993).

2.3.1.5. 5xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi magnezyumdur. Deniz atmosferlerinde korozyona karşı oldukça iyi direnç gösteren 5xxx serisi alaşımlar tekne gövdelerinde, iskelelerde ve deniz ortamlarına maruz kalan diğerk ürünlerde kullanılır. Aynı zamanda iyi kaynak özelliklerine de sahiptir (Davis, 1993).

2.3.1.6. 6xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi magnezyum ve silisyum olan 6xxx serisi yapıda magnezyum silisit (Mg_2Si) oluşumu için gerekli oranlarda silisyum ve magnezyum içerir, bu nedenle ısıl işlem görebilirler. 6xxx serisi alaşımlar iyi şekillendirilebilirlik, kaynaklanabilirlik, makinede işlenebilirlik ve korozyon direncine sahiptir. Mimari sistemler ve otomotiv bileşenleri için yaygın olarak kullanılırlar (Davis, 1993).

2.3.1.6.1. AA6082 alaşımı

Isıl işlemle sertleştirilebilen Al-Mg-Si ailesinin bir üyesi olan AA6082 alüminyum alaşımı çeşitli büyük yapı elemanlarının yanı sıra gemi, otomobil ve demiryolu taşımacılığına yönelik bileşenlerde sıklıkla kullanılır. Bu alaşım, çözeltiye alma, su verme ve suni yaşlandırma sürecinden geşitikten sonra en uygun mekanik davranışı sağılar (Zhang ve ark, 2020). Ekstrüzyon yöntemi ile imal edilen parçalarda da tercih edilen AA6082 alaşımı, yüksek korozyon direncine ve iyi kaynak kabiliyetine sahiptir (Tekin, 2014). Hafiflik ve yüksek mukavemet özelliğı sayesinde otomotiv sektöründe araç çarpışma traversinin bir parçası olan tamponlarda sıklıkla tercih edilmektedir. Otomotiv endüstrilerinde 300 MPa'yı aşan çekme mukavemeti gerektiren bölümler için kullanılır (Bırol, 2006). AA6082 alaşımı ürünler bu özellikleri sayesinde ve otomobillerin hafiflemesi ile birlikte, otomobil bileşenlerinde çeliğın yerini almak üzere yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır (Chang ve ark., 2019).

2.3.1.6.2. AA6056 alaşımı

Isıl işlem ile sertleştirilebilen ve kaynaklanabilen bir Al-Mg-Si-Cu alaşımı olan AA6056, yüksek korozyon direnci ve mukavemeti sayesinde otomotiv endüstrisinde, havacılık ve uzay sanayiinde kullanılmaktadır. Çeliğin yerine daha hafif olan alüminyum alaşımlarının tercih edilmeye başlanması ile bu alaşım bağlantı elemanlarının üretiminde sıklıkla tercih edilmektedir (Zhao ve ark., 2021). Aynı zamanda uçak gövdeleri için aday alaşımlardan biri olarak kabul edilen bir alaşımdır (Staron ve ark., 2009). 6xxx serisi Al-Mg-Si-Cu alaşımları, esas olarak şekillendirme sonrasında yaşlandırma yoluyla mekanik özelliklerinin artırılabilmesi yeteneklerinden dolayı uçak gövde kaplamasında ve otomotiv gövde panellerinde kullanılmaktadır (Olea ve ark., 2007). AA6056 alaşımı eşdeğer statik ve dinamik özelliklere, taneler arası korozyona karşı geliştirilmiş bir dirence ve kaynaklanabilir özelliğe sahip olması ile havacılık ve uzay endüstrisinin gereksinimlerini karşılamaktadır (Pakdil ve ark., 2011).

2.3.1.7. 7xxx serisi alaşımlar

Ana alaşım elementi çinko olan 7xxx serisi, magnezyum ilavesi ile orta ila çok yüksek mukavemete sahip ve ısıyla işlenebilen özellikler gösterir. Gövde yapılarında, uçak yapısal bileşenlerinde, mobil ekipmanlarda ve diğer yüksek gerilimli parçalarda kullanılır (Davis, 1993).

2.3.1.8. 8xxx serisi alaşımlar

Farklı alaşım elementleri kombinasyonu ile çok çeşitli kimyasal bileşim oluştururlar. 8xxx serisi alaşımlar önemli miktarlarda kalay, lityum ve/veya demir içerebilir (Davis, 1993).

2.3.1.9. 9xxx serisi alaşımlar

İleride kullanılmak üzere kodlandırılıp literatürde yer almaktadır (Davis, 1993).

2.3.2. Döküm alüminyum alaşımları

Döküm alüminyum alaşımlarının çoğu ötektik reaksiyona neden olacak kadar silisyum içeren gruptan gelir. Bu özellikle düşük ergime noktalarına sahip alaşımlar, iyi akışkanlık (kalıpta erken katılaşmadan akış) ve iyi dökülebilirlik sağlar. 2xx.x, 3xx.x ve 7xx.x serisi döküm alüminyum alaşımlarına ısı işlem uygulanabilir. (Davis, 1993; Hussey ve Wilson, 2013).

Döküm alüminyum alaşımlarının standart gösterimleri Tablo 2.3.'de verilmiştir. Döküm alüminyum alaşımlarının gösterimleri dövme alüminyum alaşımlarının standart gösterimine benzerdir. Tablo 2.3.'te verilen standart gösterime göre birinci basamak ana alaşım elementini gösterir. İkinci ve üçüncü basamaklar özel alaşım gösterimi iken, noktadan sonra gelen dördüncü basamak döküm (0) veya külçe (1,2) bilgilerini verir (Cardarelli, 2008).

Tablo 2.3. Döküm Alüminyum Alaşımları Standart Gösterimi (Cardarelli, 2008).

Simge	Açıklama
1xx.x	Saf alüminyum (%99 veya daha fazla Alüminyum)
2xx.x	Al-Cu alaşımlar
3xx.x	Al-Si-Cu-Mg alaşımlar
4xx.x	Al-Si alaşımlar
5xx.x	Al-Mg alaşımlar
6xx.x	Al-Mg-Si alaşımlar
7xx.x	Al-Zn alaşımlar
8xx.x	Al-Sn alaşımlar
9xx.x	Diğer alaşım elementleri

2.4. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemleri

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıt işlemler ile alaşımların dayanımları, aşınma dirençleri ve diğer mekanik özelliklerini iyileştirmek mümkündür. Alüminyum alaşımlarında en çok kullanılan ısıt işlem türü yaşlandırma ısıt işlemidir. Yaşlandırma ısıt işlemi ile mikroyapı içinde ikincil faz çökeltileri oluşur. İkincil faz çökeltileri sıcaklık ve zamana bağlı olarak malzemenin mekanik özelliklerini arttırmaktadır (Onur, 2014).

Yaşlandırma ısıt işlemi doğal yaşlandırma ve suni (yapay) yaşlandırma olarak ikiye ayrılır. Doğal yaşlandırma oda sıcaklığında gerçekleşirken suni yaşlandırma yüksek sıcaklıklarda gerçekleşir (Banhart ve ark., 2011). Ticari alüminyum alaşımlarının büyük çoğunluğu için yapay yaşlandırma 150°C ile 190°C arasında gerçekleştirilir. Yapay yaşlandırmada doğal yaşlandırmaya göre genellikle daha yüksek sertlik ve mukavemet seviyelerine ulaşılır (Saga ve ark., 1996). Dövme (işlem) ve döküm alüminyum alaşımları için kullanılan temper tanımlamaları Tablo 2.4.'te verilmiştir.

Tablo 2.4. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri (Cardarelli, 2008).

Simge	Açıklama
F	Malzemenin imal edildiği halindeki kondisyondur. Bu yüzden herhangi bir standardı yoktur. Ekstrüzyon, dövme, haddeleme gibi şekillendirme işlemi görmüş dövme alüminyum alaşımları için kullanılır. F harfi tek başına kullanılır (Kaufman, 2000 ; Habashi, 2008).
O	Alaşım ekstrüzyon, dövme, haddeleme gibi şekil değiştirme proseslerinin herhangi bir noktasında ısıtılma maruz kaldığındaki kondisyondur. Bazı döküm alaşımlarında yapısal kararlılığı ve süneklik özelliğini artırmak için malzemeye ısıtılma işlemi uygulandığında da kullanılır. O harfinin yanında sıfır dışındaki rakamlar kullanılır (Kaufman, 2000 ; Habashi, 2008; Benedyk, 2010).
H	Isıtılma işlemi uygulanmayan alaşımların mukavemetlerini gerinim sertleşmesi uygulanarak artırıldığında kullanılan kondisyondur. H harfinin yanında 2 veya daha fazla rakam kullanılır (Kaufman, 2000 ; Habashi, 2008).
W	Çözeltiye alma ısıtılma işlemi uygulanan alaşımlar için kullanılan kondisyondur. Alaşım çözeltiye alma ısıtılma işlemi takiben bir ısıtılma işlemi görmez, doğal yaşlanmaya bırakılır. W harfinin yanına eğer doğal yaşlandırma süresi biliniyorsa yazılır (Kaufman, 2000 ; Habashi, 2008; Benedyk, 2010).
T	F, O ve H standartlarından farklı olarak, alaşıma kararlı mukavemet özelliği sağlamak için kullanılan kondisyondur. T gösterimi çözeltiye alma işlemi takiben su verme ve doğal veya yapay yaşlandırma uygulanabilen her alaşım için kullanılabilir. T harfinin yanına bir veya birden fazla rakam kullanılır (Kaufman, 2000 ; Habashi, 2008).

2.5. Alaşım Elementlerinin Etkileri

Alüminyum çoğu saf metal gibi düşük mukavemete sahip olduğu için deformasyon ve kırılma gibi hasarlara direncin önemli olduğu uygulamalarda tek başına kullanılamaz. Bu sebeple alüminyumun mukavemetini artırmak amacıyla alaşımlandırma işlemi yapılır. Düşük yoğunluk ve yüksek mukavemet, alüminyum alaşımlarını özellikle yüksek dayanım gerektiren uygulamalarda en çok tercih edilen malzeme haline getirmiştir. Yapısal kullanımlar için korozyon direnci, süneklik, tokluk gibi özelliklerden ziyade malzemenin mukavemeti çok daha büyük önem arz ettiğinden alaşım kompozisyonunun seçimi için ilk ve en önemli amaç mukavemet artırmak olmuştur. Alüminyumun ana alaşım elementleri silisyum, magnezyum, bakır, mangan ve çinkodur (Rana ve ark., 2012; Sivasankaran, 2017; Totten ve MacKenzie, (2023b)).

2.5.1. Silisyum

Alüminyum silisyum ile alaşımlandırıldığında, yüksek akışkanlığından dolayı malzemeye dökülebilirlik özelliği kazandırır. Ayrıca düşük yoğunluğa ($2,34 \text{ g/cm}^3$) sahip olduğundan dolayı toplam malzeme ağırlığını aşağı çeker. Silisyumun alüminyumdaki çözünürlüğü az olduğundan yapıda gözle görülür şekilde saf halde bulunabilir ve sert yapısından dolayı malzemenin aşınma direncini artırır. Al-Si

alaşımlarının termal genleşme katsayısını düşürür. Alüminyumdaki oranı arttıkça işlenebilirlik azalır. Alaşımın ergime sıcaklığını düşürür. Alüminyumla tek başına alaşımlandırıldığında ısıtıl işlem uygulanmaz, magnezyumla birlikte eklendiğinde ise ısıtıl işlem uygulanabilir alaşımlar oluşturur. Alüminyuma eklenme oranlarına göre Al-Si alaşımları üçe ayrılır:

- Ötektikaltı Alaşımlar (< ağı.12% Si)
- Ötektik Alaşımlar (ağı.12-13 % Si)
- Ötektiküstü Alaşımlar (ağı.14-25 % Si) (Rana ve ark., 2012; Sivasankaran, 2017).

2.5.2. Bakır

Bakır elementi alüminyum alaşımlarının sertlik ve mukavemetine katkıda bulunur. Matris yapısının sertliğini artırdığı için de alaşıma iyi işlenebilirlik özelliği sağlar. Bununla beraber malzemenin korozyon direncini ve sünekliğini azaltır (Rana ve ark., 2012; Sivasankaran, 2017).

2.5.3. Magnezyum

Magnezyum, alüminyumun mukavemet ve deformasyon sertleşmesi özelliklerini iyileştirir. Alaşımın korozyona dayanıklı, kaynaklanabilir ve yüksek mukavemetli olmasını sağlar (Rana ve ark., 2012).

2.5.4. Magnezyum ve silisyum

Alüminyuma magnezyum ve silisyum elementi eklendiğinde yapıda Mg_2Si bileşiği oluşur. 6xxx serisinde, bu bileşiğin oluşumuyla ısıtıl işlem görebilirlik sağlanır (Sivasankaran, 2017).

2.5.5. Çinko

Çinko elementi 7xxx serisi hariç diğer alaşım gruplarında empürite olarak tanımlanır ve yapıda istenmez. Alüminyum ve çinkonun diğer elementlerle (magnezyum ve bakır gibi) karışımı sonucu elde edilen alaşımlar ısıtıl işlem görebilen, mukavim yapılara sahiptir. Ek olarak; bu alaşımlardan bazıları gerilmeli korozyon çatlağına maruz kaldıklarından dolayı, bu alaşımlara füzyon kaynak yöntemiyle kaynak işlemi yapılmaz (Rana ve ark., 2012).

2.5.6. Demir

Alüminyumda en yaygın bulunan empürite olan demir elementi, bazı saf alaşımlara mukavemeti artırmak amacıyla ilave edilmektedir (Rana ve ark., 2012).

2.5.7. Krom

Alüminyuma krom elementinin eklenme amacı tane yapısını kontrol etmek, Al-Mg alaşımlarında kontrolsüz tane büyümesini engellemek ve Al-Mg-Si veya Al-Mg-Zn alaşımlarının ısıtıl işlemlerinde yeniden kristalleşmeyi önlemektir (Sivasankaran, 2017).

2.5.8. Mangan

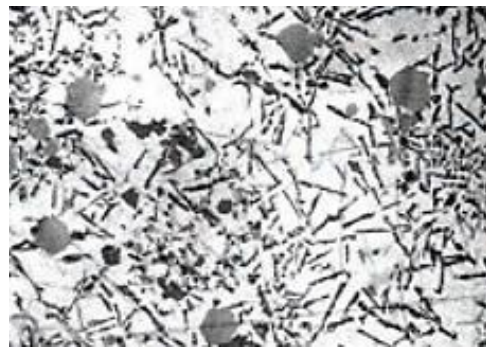
Alüminyum alaşımlarına mangan eklemek, alaşımın çekme gerilmesini ve düşük çevrimli yorulma direncini artırır. Mangan, alaşımın korozyona karşı direncini de artırmaktadır (Rana ve ark., 2012).

2.5.9. Krom ve mangan

Alüminyuma mangan ve krom elementi eklenmesi demir yönünden zengin olan Al_5FeSi fazının morfolojisini levhasal yapıdan daha kübik bir yapı olan $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ yapısına çevirerek alaşımın sünekliğini artırır. Şekil 2.4.'te Al_5FeSi ve $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ faz yapısına ait optik mikroyapı görüntülerinde levhasal ve kübik morfolojiye sahip oldukları görülmektedir (Rana ve ark., 2012).



(a)



(b)

Şekil 2.4. a. Al_5FeSi yapısının levhasal yapısı **b.** $Al_{15}(MnFe)_3Si_2$ yapısının kübik morfolojisi (Rana ve ark., 2012).

2.5.10. Titanyum

Titanyum alüminyuma eklendiğinde yapıda tane küçültücü işlevi görür. Titanyumun Al-Si alaşımlarına eklendiğinde yapıda oluşan Al_3Ti fazından dolayı mikro sertlikte bir artış gerçekleşir. Al_3Ti fazı sert bir faz olduğundan alaşımlarda aşınmaya karşı

direnci de artırır ve ısıtıl işlem uygulanarak bu özellik daha da iyileştirilebilir (Rana ve ark., 2012; Sivasankaran, 2017).

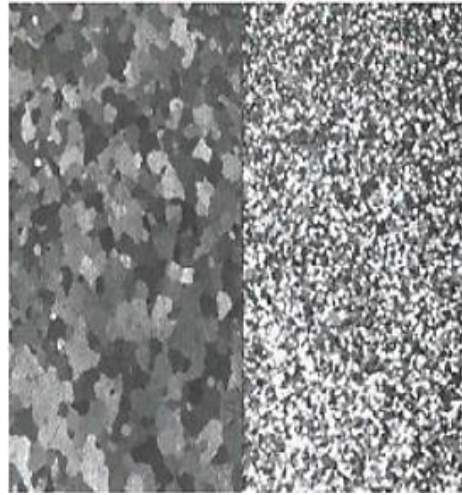
2.5.11. Titanyum ve bor

Titanyumun tane küçültücü etkisi, yapıda bor elementinin de varlığıyla daha da etkili hale gelmekte olup; her iki element yaygın olarak master alaşım şeklinde %5 Ti ve %1 B kombinasyonunda alaşıma eklenmektedir. Titanyum ve bor TiB_2 ve $AlTi_3$ oluşturur. Tane küçültücü olarak TiB_2 yapısı $AlTi_3$ yapısına göre daha etkilidir. Şekil 2.5.'teki mikroyapıda sol tarafta tane küçültücü kullanılmamış, sağ tarafta ise tane küçültücü kullanılmıştır (Rana ve ark., 2012; Sivasankaran, 2017).

2.6. Alüminyumun Uygulama Alanları

2.6.1. Yapı ve inşaat uygulamaları

Hafifliği ve korozyon direnci sayesinde alüminyum alaşımları binalarda, köprülerde, kulelerde ve depolama tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Statik yapılarda, binaların kapı, çerçeve ve korkuluk sistemlerinde, köprülerde kullanım alanı bulunmaktadır. İskele, merdivenler, elektrik trafo yapıları ve diğer yardımcı yapılarda haddelenmiş alüminyum ürünler çok fazla tercih edilmektedir (ASM International Handbook Committee, 1990).



Şekil 2.5. Tane küçültücü eklenmiş mikroyapı (Rana ve ark., 2012).

2.6.2. Konteynerler ve paketleme

Alüminyum sahip olduğu kıvılcım çıkartmama özelliği ile yangın ve patlama riski olan tesislerde kullanılmaktadır. Yiyecek kapları, ev folyosu, şişe kapakları, yiyecek ve

içecek kutularında kullanılmaktadır. Diş macunu ve merhem tüpleri gibi katlanabilir tüplerde tercih edilmektedir (ASM International Handbook Committee, 1990).

2.6.3. Taşımacılık

2.6.3.1. Otomotiv

Motor blokları, pistonlar, silindir kafaları, emme manifoldları, karterler, karb rat rler, şanzıman muhafazaları ve külbütör kollarında alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Otomotivde yaygın olan jantlar dövme alüminyum alaşımları ile üretilmektedir (ASM International Handbook Committee, 1990).

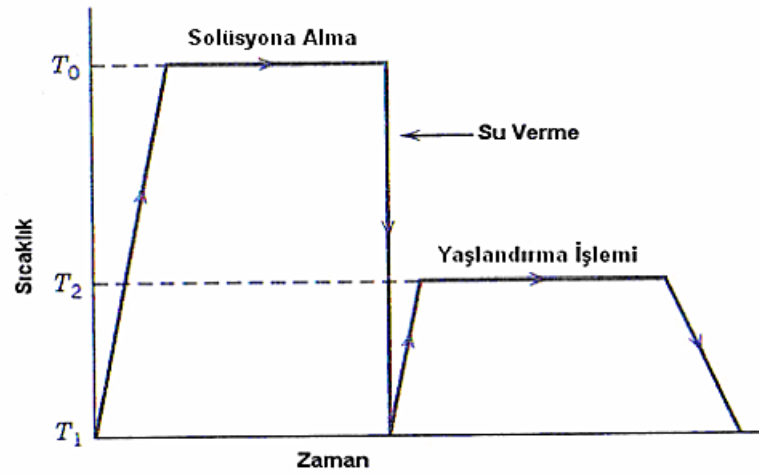
2.6.3.2. Kamyonlar ve otobüsler

Alüminyum hafif bir metal olduğu için y k sınırlamaları olan kamyon tasarımlarında kullanılmaktadır. Aynı zamanda otobüslerde de ağırlığı en aza indirmek için alüminyum alaşımlarından imal edilen gövde aksamaları ve tamponlar kullanılmaktadır. Alüminyum demiryolu araçlarında yolcu taşıma vagonlarında kullanılmaktadır. Gemi tanklarında alüminyum alaşımlı levhalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Motorlar, jeneratörler ve transformatörlerde, alüminyum reflektör, floresan ve aydınlatma sistemleri, kapasitörlerde, dayanıklı tüketim malları, elektrikli ev aletleri, elektrikli süpürgeler, elektrikli  t ler, mutfak robotları, portatif bulaşık makineleri, buzdolabı ve dondurucular, sandalye tabanları, makine ve ekipmanlar, petrol ürünleri taşıyan alüminyum boru hatlarında, petrol endüstrisinde depolama tanklarında, tekstil makine ve ekipmanlarında alüminyum borular, sac ve levhalar, kömür madeni makinelerinde kullanılmaktadır (ASM International Handbook Committee, 1990).



3. ÇÖKELME SERTLEŞMESİ

Isıl işlemin uygulanma amacı, malzemelerin istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri göstermesini sağlamaktır. Alüminyum alaşımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştirmek için çökelme sertleşmesi ısıl işlemi uygulanmaktadır. Çökelme sertleşmesi işlemi, kullanım sıcaklığında minimum iki faz bulunduran yapıların ani soğutma işlemine tabi tutularak tek fazlı yapıya dönüşebilmesiyle gerçekleşir. İşlem sonunda yapıda çökelen intermetalik fazlar, malzemenin yüksek sertlik ve mukavemete sahip olmasını sağlar (Tekin, 2014; Darıdereli, 2010). Şekil 3.1.'de yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman çevrim grafiği görülmektedir (Tekin, 2014).



Şekil 3.1. Yaşlandırma ısıl işlemi sıcaklık-zaman çevrim grafiği (Tekin, 2014).

Çökelme sertleşmesi işlemi 3 aşamadan oluşur. Bunlar çözeltiye alma (solüsyona alma), ani soğutma (su verme) ve son olarak yaşlandırma aşamalarıdır (Tekin, 2014).

3.1. Çözeltiye Alma

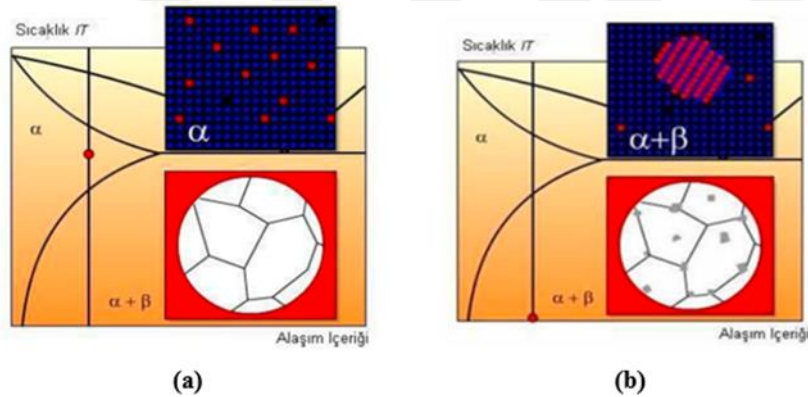
Çözeltiye alma işleminde alaşım, denge diyagramında solvüs eğrisinin birkaç derece üzerine ısıtılır ve bekletilir. Buradaki amaç, malzemeyi katı çözelti oluşturacak sıcaklığa kadar ısıtmaktır. Belirlenen sıcaklık ötektik sıcaklığı aşmamalıdır; aksi takdirde malzemedeki tane sınırı ergimesi gerçekleşir ve amaç dışı bir şekilde malzemenin mekanik özelliklerinde kayıp yaşanır. Bu aşamada dikkat edilmesi gereken konulardan biri ısıtma hızı diğeri bekleme süresidir. Aşırı hızlı ısıtmada

malzemede kontrolsüz ergimeler meydana gelebilir, tam tersi bir durumda yani aşırı yavaş ısıtmada ise fazlar tamamen çözünemeyebilir. Tavsiye edilen ortalama bekleme süresi her 25 mm kalınlık için 1 saattir (Tekin, 2014; Demirtaş, 2009).

3.2. Su Verme (Ani Soğutma)

Malzemenin solüsyona alma işleminin ardından oluşan homojen yapı, hızlı bir şekilde soğutularak aşırı doymuş bir katı eriyik oluşturulur. Ani bir şekilde soğutma gerçekleştirmenin amacı, katı eriyik halde oluşan yapıyı ve yüksek sıcaklıkta artan atom boşluğu miktarını korumaktır (Tekin, 2014; Darıdereli, 2010).

Malzeme aniden soğutulduğunda yapıda denge fazları oluşmasına fırsat verilmez ve denge durumuna göre yapıda daha fazla olan atom boşluklarının fazlası bir araya gelme eğilimindedir. Yapıda oluşan bu bölgelerde çökelti fazı heterojen olarak çekirdeklenir. Şekil 3.2.'de çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti ve alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme yapısı verilmiştir (Tekin, 2014).



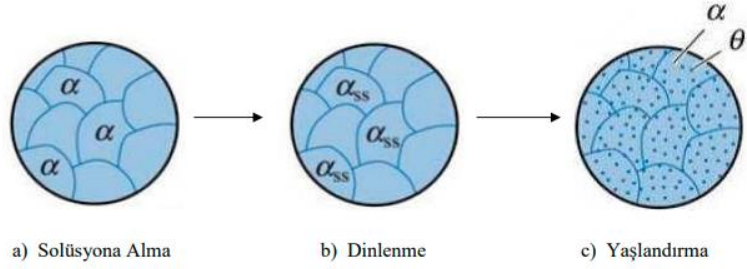
Şekil 3.2. a. Çözeltiye alma işlemi sonucunda tek faz halindeki katı çözelti **b.** Alaşımın kendiliğinden soğuması durumunda oluşan heterojen çekirdeklenme (Tekin, 2014).

Su verme işleminde önem arz eden 2 kritik parametre bulunur. Bunlar su verme aralığı denilen malzemenin fırından çıkıp suya daldırılışına kadar geçen süre ve su verme ortamıdır. Su verme aralığı (10-20 saniye tavsiye edilir) ne kadar azaltılırsa elde edilen özellikler o kadar iyileşmiş olur (Tekin, 2014).

3.3. Yaşlandırma

Yaşlandırma aşaması, çökelme sertleşmesinin son aşaması ve malzemenin asıl mukavemetini kazandığı aşamadır (Tekin, 2014). Bu aşamada malzemeler solvüs

sıcaklığının altında bir sıcaklıkta, çözeltiye alma işlemine göre nispeten daha uzun sürelerde tutulur (Tekin, 2014; Demirtaş, 2009). Atomlar belirlenen bu sıcaklık ve sürelerde kısa mesafelerde çekirdeklenme bölgelerine doğru hareket eder ancak malzeme yapısında bulunan çökeltiler atomların hareketlerini sınırlar. Böylece mukavemet artar. Şekil 3.3.'te yaşlandırma aşamalarının gösterimi verilmiştir (Demirtaş, 2009).



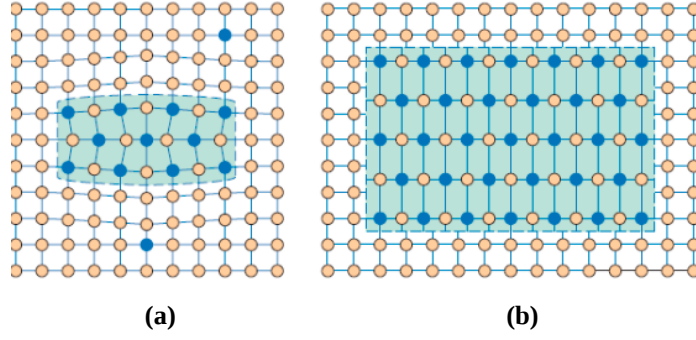
Şekil 3.3. Yaşlandırma aşamalarının gösterimi (Demirtaş, 2009).

Yapıda hareket ederek bir araya gelen atomlar matris kristal yapısındaki atom boyutlarıyla uyumlu veya uyumsuz olabilmektedir. Uyumsuz olduğu durumlarda yapıda gerilme meydana gelmekte ve oluşan bu gerilme de dislokasyon hareketine engel olarak malzemenin daha mukavemetli olmasıyla sonuçlanmaktadır (Tekin, 2014).

Yaşlandırma işleminin başlangıcında ikinci faz ile bir kristal yapı daha oluşur ve bu durum atom dizilişine göre katı eriyiği distorsiyona uğratabilir. Bu bölgeler GP bölgeleri olarak adlandırılır ve θ yapısının oluşumu şu şekilde bir yol izler (Tekin, 2014):



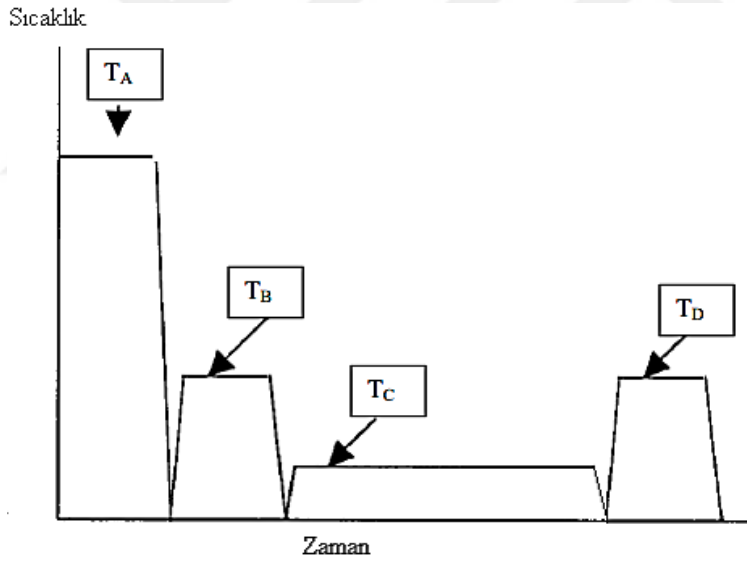
GP-I, GP-II ve θ' çökeltileri dengesiz fakat kafes yapısıyla uyumludur. Bu yapılar büyüdükçe malzemenin mukavemeti yaşlandırma işleminin süresi arttıkça artar. Ancak θ yapısı dengeli ve uyumsuz bir faz olduğundan, bu fazın oluşması aşırı yaşlandırma olarak adlandırılır ve malzeme zamanla mukavemet kaybetmeye başlar (Tekin, 2014; Demirtaş, 2009). Şekil 3.4.'te malzeme yapısının değişimi verilmiştir.



Şekil 3.4. Malzeme yapısının değişimi **a.** uyumlu ve **b.** uyumsuz çökelti (Demirtaş, 2009).

3.4. Ara Verilerek Yaşlandırma

Bu işlem kısa bir süre yaşlandırılmış malzemenin daha düşük sıcaklıklarda bekletilmesi ardından tekrar yaşlandırma işleminin uygulanmasıdır. Alaşımların mekanik özellikleri bu yöntemle daha da artırılabilir Şekil 3.5.'te ara verilerek yaşlandırma işleminin şematik gösterimi verilmiştir (Tekin, 2014).



Şekil 3.5. Ara verilerek yaşlandırma işleminin şematik gösterimi (Tekin, 2014).

TA: Solüsyona alma TB: Yapay yaşlandırma TC: Ara verilerek yaşlandırma işlemi

TD: Ara verilerek yaşlandırma işleminden sonraki yaşlandırma işlemi (Tekin, 2014).

3.5. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri

Tablo 3.1. Alüminyum Alaşımlarının Temper Gösterimleri (Kaufman, 2000; Habashi, 2008; Benedyk, 2010)

Isıl İşlem	Isıl İşlem Kodu	Açıklama
H	F	Malzemenin imal edildiği hali (Kaufman, 2000).
	O	Tavlanmış (Habashi, 2008).
	H1	Sadece gerinim sertleşmesi uygulanan alaşımlarda kullanılır (Kaufman, 2000).
	H2	İstenen sertlik değerinin üstünde bir değer elde edip sonrasında bu değeri istenen seviyeye çekilmesi için uygulanan kısmi ısıtım işlemi belirtir (Benedyk, 2010).
	H3	Alaşımların gerinim gidermeden sonra düşük sıcaklıkta ısıtım işlemi uygulayarak kararlı hale getirildiğini belirtir (Habashi, 2008; Benedyk, 2010).
	H4	Malzemeye gerinim gidermeden sonra boya veya vernik uygulama sırasındaki kürelemede uygulanan ısıtım işlemi belirtir (Kaufman, 2000).
	W	Çözeltiliye alma ısıtım işlemi (Kaufman, 2000).
	T1	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten hemen sonra soğutulmuş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T2	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten hemen sonra soğutulmuş, soğuk işlem görmüş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T3	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş, soğuk işlem görmüş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
T	T4	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş ve doğal yaşlanmaya bırakılmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T5	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten hemen sonra soğutulmuş ve suni yaşlandırma işlemi uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T6	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş ve suni yaşlandırma işlemi uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T7	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş ve suni olarak aşırı yaşlandırma işlemi uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T8	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş, soğuk işlem görmüş ve suni yaşlandırma işlemi uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T9	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten sonra çözeltiliye alma işlemi görmüş, soğutulmuş ve suni yaşlandırma işlemi uygulandıktan sonra soğuk işlem uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).
	T10	Alaşımların yüksek sıcaklıkta şekil değiştirme işlemi gördükten hemen sonra soğutulmuş, soğuk işlem görmüş ve suni yaşlandırma işlemi uygulanmış olduğunu belirtir (Kaufman,2000; Benedyk, 2010).

3.6. Mg₂Si

Alaşımlarının mekanik özelliklerini arttırmak için yaşlandırma ısıtım işlemi yapılmaktadır. Çözeltiliye alma, su verme ve suni yaşlandırma aşamalarından oluşan yaşlandırma ısıtım işlemindeki ilk adım olan homojenizasyon (çözeltiliye alma) işlemi ekstrüzyon prosesi için büyük önem taşımaktadır. Homojenizasyon işleminin önemli olmasının üç nedeni

bulunmaktadır. İlk olarak yarı sürekli döküm yöntemiyle üretilen biyetlerin mikroyapısı dendritiktir. Dendritik kollar arasında kaba intermetalik Mg/Si fazlar (π fazı veya Mg_2Si fazı) ve levhasal $\beta-Al_5FeSi$ fazları bulunmaktadır. Bu kaba intermetalik fazlar, ekstrüde edilebilirlik ve şekillendirilebilirlik üzerinde negatif etkilere sahiptir. İkinci nedeni; homojenizasyon işlemi ekstrüzyon sırasında çatlaklara neden olabilen kırılğan ve levhasal $\beta-Al_5FeSi$ fazının $Al_{15}(FeMnCr)_3Si_2$ fazına dağılmış küresel yapılara dönüşmesini sağlar. Son olarak; homojenizasyon aynı zamanda katılaşma sırasında oluşan kaba Mg_2Si partiküllerinin çözünmesini de sağlar. Kaba Mg/Si fazının çözünmesiyle aşırı doymuş katı çözültiden çözültülen nano boyutlu Mg_2Si parçacıklarının yoğunluğunu artırabilir ve bu da nihai ekstrüzyon ürününün daha iyi mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır (Li ve ark, 2014).

Tesch ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada, 6013 alaşımının yorulma ve çentik darbe testleri yapılarak çatlak oluşumu araştırılmıştır. Yapılan çalışmalarda, alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemlerinde alaşımda bulunan Mg ve Si'nin etkisiyle mikroyapıda Mg_2Si intermetalik fazların oluştuğu rapor edilmiştir. Akyüz ve ark, (2014) yaptıkları çalışmada bu fazların oluşması ile alaşımın korozyon direncini ve dayanımını artırdığını belirtilmişlerdir.

6xxx serisi alüminyum alaşımlarında Mg_2Si çökeltisinin oluşması için gereken oran 1.73:1'dir. Çökeltideki silisyumun bileşiği oluşturacak olan orandan fazla olması durumunda mekanik özelliklerde artışa, magnezyumun fazla olması durumunda ise mekanik özelliklerde düşüşe sebep olmaktadır. Silisyumun artışı ile silisyumun alaşımda çökelme ihtimali olduğu için yapıda dark spots olarak adlandırılan hatalar meydana gelebilmektedir (Onurlu, 1993).

6xxx serisi alüminyum alaşımlarında çözeltiye alma işleminden sonra uygulanan su verme işlemi sırasında tüm alaşım elementleri çözeltiye alınır ve aşırı doymuş α katı eriyiği elde edilir. Yaşlandırma işlemi sırasında oluşan aşırı doymuş Mg_2Si fazının çökelme süresi $\alpha \rightarrow GP (MgSi) \rightarrow \beta^{11}(Mg_5Si_6) \rightarrow \beta^1(Mg_9Si_5) \rightarrow \beta(Mg_2Si)$ denklem kademeleri ile açıklanır. Denklemden yer alan β^{11} fazının elde edilmesi ile alaşımda maksimum mekanik özellikler elde edilirken; β^{11} fazının tamamen β fazına dönüşmesi aşırı yaşlanma olarak tanımlanır. Yüzey merkezli kübik kristal yapılı denge fazı olan β fazı, alaşımda mekanik özelliklerin düşmesine sebep olmaktadır.

İğnesel formda bulunan β^{11} fazı suni yaşlandırma sıcaklığının artması ile daha kısa sürede çökelirken; suni yaşlandırma sıcaklığında bekleme süresi arttıkça çubuk formundaki β^1 fazına dönüşmekte ve bu durum mekanik özelliklerde düşüşe sebep olmaktadır. Suni yaşlandırma işleminde kullanılan farklı yaşlandırma sıcaklıklarında β^{11} fazının tamamen çökmesine kadar geçen sürede mekanik özelliklerde artış meydana gelirken β^1 ve β fazına dönüşümünde ise mekanik özelliklerde düşüş yaşanır. Bekleme süresinin daha fazla olması ile β^1 fazı β (Mg_2Si) fazına dönüşür ve mekanik özelliklerdeki düşüş gittikçe artar (Yüksel, 2017).

3.7. İntermetalikler

İntermetalikler; klasik mühendislik malzemelerinden farklı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikler göstermeleri sebebi ile bilimsel araştırmalara konu olmaktadır (Cebulski, Lalik, 2005).

Alüminyum alaşımlarında bulunan Fe, Mn ve Cr gibi geçiş metalleri safsızlıklar olarak nitelendirilir. Bu safsızlıkların küçük miktarlarda bulunması bile yeni fazların oluşumuna sebep olur. Alüminyum alaşımının bileşimine bağlı olarak yapıda $CuAl_2$, Mg_2Si , $CuMgAl_2$ ve $Al(Fe,Mn)Si$ fazları oluşabilir (Mrówka-Nowotnik, 2009).

Alüminyum alaşımlarında safsızlık olarak bulunan demir; alüminyum ve silisyum ile birleşerek yapıda Al-Fe ve Al-Fe-Si intermetaliklerini oluşturmaktadır. Bu intermetaliklerin kristal yapıları ve bileşimleri ürünün mekanik özelliklerini de etkilemektedir.

Alüminyum yapısında bulunan bakır sünekliği arttırırken, silisyumun fazla olması sünekliği azaltan bir etki göstermektedir. Alaşıma yapılan bakır ilaveleri çökelti morfolojisini de etkilemekte ve bu durum yaşlanma özelliğini olumlu yönde etkilemektedir. Silisyum Mg_2Si morfolojisini incelttiği için dayanımı artırmaktadır.

Homojenizasyon işlemi dendritik yapıdaki konsantrasyon farklarını azaltmakta, katılaşma sırasında meydana gelen kararsız fazların çözünmesini sağlamakta ve ekstrüzyon parametrelerini önemli ölçüde iyileştirmesini sağlayan kararlı çökelti oluşturur. Homojenleştirme işlemi ile yapıda bulunan ve çözünmeyen kararlı fazların da boy/en oranı azalarak iyileştirme meydana getirmektedir.

Alaşıma uygulanan ısıtma işlemi ile yapıda bulunan Al-Fe-Si intermetaliklerinin hacimsel oranlarında değişme gözlenmez fakat bu yapılar ısıtma işlemi sonucunda parçalanır. İnce

ve uzun yapıda olan β -Al-Fe-Si fazları ısıtıl işlem ile parçalanarak α -Al-Fe-Si'lere dönüşür ve ekstrüzyon yapılabilirlik artmaktadır (Onurlu, 1993).

AA6056 alaşımında oluşan intermetalik fazları Mg_2Si , $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$, $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$, $AlFe(MnCr)Si$ olarak özetleyebiliriz. $AlFe(MnCr)Si$ yapısı Al_2Cu yapısının çekirdeklenme noktasıdır. $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$ yapısı da Al_2Cu yapısının etrafında çekirdeklenmeye başladığından dolayı, yapı içinde Mg, Si, Cu ve Fe elementlerinin hepsinin bulunduğu alanlarda $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$ fazının oluştuğu düşünülebilir. Yüksek sıcaklık fazı olan $AlFe(MnCr)Si$ yapısı matris içinde çözünmez. Ancak Cu içeren fazlar; yani $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ yapısı ince partiküller halinde matrisin içine dağılır, $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$ yapısı ince partiküller halinde matris içinde çöker. Bu yüzden işlem sonrası yapıda Cu oranını azalmış olarak görülebilmektedir (Zhao ve ark., 2021).

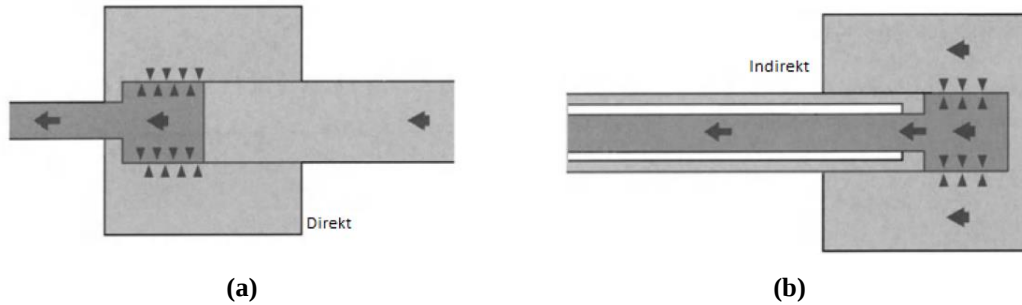
4. EKSTRÜZYON

4.1. Ekstrüzyonun Tarihçesi

Ekstrüzyon prosesi modern bir proses olarak kabul edilmesine rağmen, 1886 yılında Hall & Heroult tarafından endüstriyel alüminyumun boksit cevherinden elektrolitik prosesle elde edilmesinden öncesine dayanmaktadır.

Alüminyum biyetlerini çok karmaşık şekillere dönüştürebildiği için endüstriyel yöntemler arasında rakipsizdir. Bu sebep ile endüstriyel süreç olarak kendisini ciddi anlamda kabul ettirmiştir. Ekstrüzyon yöntemi; alüminyum biyetin, presin sağladığı kuvvet ile kalıbın içerisinden akmaya zorlanarak, sürekli uzunlukta enine bir kesite dönüştürülmesidir. Genellikle biyet yumuşaklık ve süneklik derecesine kadar ısıtılır, ancak bazı durumlarda bu seviyeye kadar ısıtma işlemi gerekmebilir. Modern proseste, bir silindir içerisine yüklenen biyet, hidrolik olarak çalışan zımba tarafından uygulanan basınç ile kalıptan ekstrüde edilir.

Şekil 4.1. sürecin temel ilkesini ve bununla beraber, direkt (ileri) ve indirekt (geri) ekstrüzyon olarak adlandırılan iki çalışma yöntemi arasındaki farkı göstermektedir. Bunlar parçaların düzenine bağlıdır. Direkt ekstrüzyonda, biyet kalıba doğru itilir. İndirekt ekstrüzyon durumunda, kalıp, ekstrüde edilecek bölümün geçişine izin vermek için delinmiş zımbanın ucuna yerleştirilerek hareket etmektedir (Sheppard, 2013).

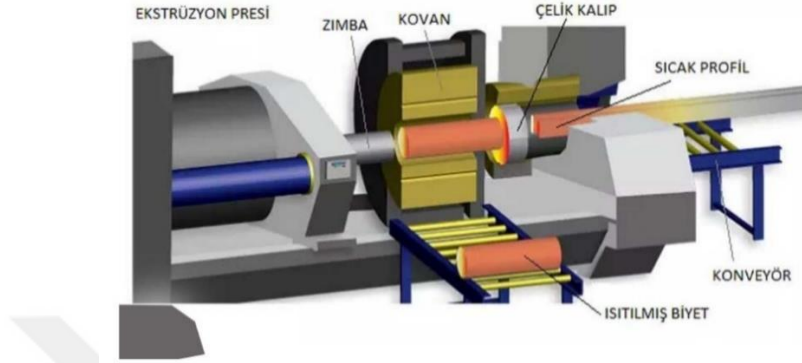


Şekil 4.1. Direkt ekstrüzyon prosesi ve indirekt ekstrüzyon prosesi (Sheppard, 2013).

4.2. Temel Parametrelerin Ekstrüzyona Etkisi

Ekstrüzyon için gerekli olan yük kullanılacak presin yük kapasitesini aştığında ya da ekstrüzyon sıcaklığı kullanılan biyetin ergime sıcaklığını aştığı zaman ekstrüzyon

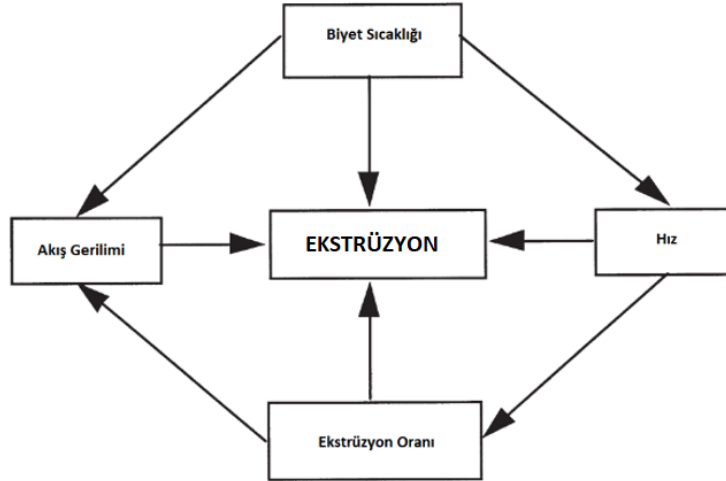
imkânsız hale gelebilir veya çıkacak ürünün istenilen özelliklere sahip olmamasına yol açabilir. Ekstrüzyon makinelerinin doğru ve ekonomik olarak kullanılması isteniyorsa, biyet sıcaklığı, gerinim hızı, kullanılan biyetin akma gerilmesi ve ekstrüzyon oranı hakkında bilgi sahibi olunması gerekir. Şekil 4.2.'de direkt ekstrüzyon pres şeması, Şekil 4.3.'te ekstrüzyon temel parametreleri görülmektedir (Saha, 2000).



Şekil 4.2. Direkt ekstrüzyon pres şeması (Saha, 2000).

Ekstrüzyon için pres ve kalıptan çıkan kesitin kalitesini etkileyen ana faktörler;

- 1- Ekstrüzyon oranı, 2. Sıcaklık, 3. Şekil değiştirme hızı ve 4.Malzeme akma gerilmesidir.



Şekil 4.3. Ekstrüzyon temel parametreleri (Saha, 2000).

- **Ekstrüzyon oranı**

Ekstrüzyon oranı şu şekilde tanımlanır;

$$ER = \frac{A_c}{n(A_E)}$$

AC= Kovan alanı

AE = Ekstrüzyon alanı

n = Kalıptaki figür sayısı

Bir kesitin ekstrüzyon oranı, bu kesitin ekstrüde edilmesi sırasında harcanacak mekanik enerji miktarını doğrudan gösterir.

Bir profilin ekstrüzyon oranı düşük olduğunda plastik şekil değiştirme miktarı da düşük olacaktır. Bu nedenle ekstrüzyon sırasında uygulanan güç miktarı da az olacaktır. Düşük ekstrüzyon oranında ekstrüzyon yapmak alüminyum ekstrüde yapısından ziyade döküm yapısına benzer (büyük taneli) olacaktır. Ekstrüzyon oranı düşük olan profiller düşük mekanik özelliklere sahiptir ve bu oranın 10'dan düşük olduğu profiller fiziksel ve mekanik olarak standartların verdiği değerlere uymayabilir.

Ekstrüzyon oranı yüksek olduğunda bu durum tam tersini almaktadır. Biyeti kalıptan itmek için gereken basınç kuvveti, daha yüksek plastik şekil değiştirme sebebiyle yüksek olacaktır. Normalde sert alaşımlar için 10-35 arasındaki oranlar kullanılırken, yumuşak alaşımlar için 10-100 arasındaki ekstrüzyon oranları kullanılmaktadır. Bu değerler kesin olmamakla beraber kesitin şekline göre değişebilmektedir (Saha, 2000).

- **Ekstrüzyon sıcaklığı**

Ekstrüzyon işlemi oda sıcaklığında yeterli şekil değiştirme kabiliyeti olmayan metal ve alaşımlar için yüksek sıcaklıklara çıkartılarak yapılan bir işlemdir. Böylelikle ekstrüzyon için gerekli kuvvet azaltılmaktadır.

Sıcaklık en önemli ekstrüzyon parametrelerinden biridir. Sıcaklık yükseldikçe şekil değiştirme kabiliyeti artacağından kesit oluşturma işlemi daha kolaylaşacaktır. Ancak basınç yükseldikçe bölgesel sıcaklık artışlarından kaynaklı olarak kısmi ergimeler meydana geleceğinden ekstrüzyon hızı azalacaktır. Ekstrüzyon sırasındaki sıcaklık parametresindeki değişiklikler;

- biyet sıcaklığına
- biyet ve kovan arasındaki ısı transferine
- plastik deformasyon ve sürtünmeden dolayı oluşan ısıya bağlıdır (Saha, 2000).

- **Ekstrüzyon hızı**

Bir metalin ekstrüzyon işlemine vereceği tepki, deformasyon hızından etkilenebilmektedir. Zımba hızındaki artış ekstrüzyon basıncını ve proses sıcaklığını artıracaktır. Zımba hızı ne kadar düşük ise metal akışı için gerekli ısının oluşumuna daha fazla zaman olacaktır. Alüminyum ısı iletkenliği yüksek bir element olduğu için bu durum alüminyumda daha görünür bir hale gelmektedir (Saha, 2000).

- **Malzemenin akma gerilmesi**

Plastik şekillendirme sırasında uygulanan yük parçanın geometrisine, sürtünmeye ve malzemenin akma gerilmesine bağlı olduğundan bu parametre de önemli bir parametredir. Malzemenin akma gerilmesini aşağıdaki faktörler belirlemektedir:

- 1- Malzemenin geometrik yapısı ve bileşimi
- 2- Şekil değiştirme sıcaklığı, şekil değiştirme miktarı $\bar{\epsilon}$

Sıcak şekillendirilen metallerin akma gerilimleri şekil değiştirme hızından büyük oranda etkilendiği için akma gerilmesini ölçmeye özel bir yöntem bulunmamaktadır. Biyetin akma gerilmesi hem şekil değiştirme hızına hem de sıcaklığa bağlıdır. Sıcaklık arttıkça akma gerilmesinin düştüğü ve şekil değiştirmenin arttığı durumlarda akma gerilmesinin de arttığı pek çok kez gözlemlenmiştir. Akma gerilmesini ölçmek için kullanılan yaygın yöntemler çekme, basma ve burulma testleridir (Saha, 2000).

4.3. Malzemelere Uygulanan Mekanik Testler

Malzemelere uygulanan mekanik testler atomik kusurlar hakkında bilgi vermesinin yanı sıra sanayide kullanım amacı ise ürünlerin kalitesinin ilgili standardın spesifikasyonlarını karşılayıp karşılamadığına bakmaktır (Smallman ve Bishop, 1999). Bazen de farklı iki malzemenin özelliklerinin karşılaştırılabilmesi için mekanik testler uygulanır (Meyers ve Chawla, 2008). Bu iki amaç doğrultusunda malzemelere çekme, sertlik, darbe, sürtünme ve yorulma gibi mekanik testler uygulanabilir (Saha, 2000).

4.3.1. Çekme testi

Çekme testi uygulanacak olan malzemenin her iki tarafındaki uçları, çekme cihazının çenelerine sabitlenir. Makineye bağlanan numune uzadıkça çekme kuvvetinin nasıl değiştiği kaydedilir (Smallman ve Bishop, 1999; Meyers ve Chawla, 2008).

Bir malzemenin plastik deformasyon başlangıcına sebep olacak gerilim düzeyi akma dayanımı olarak adlandırılır. Malzemelerin taşıdığı maksimum çekme gerilmesi ise çekme mukavemeti olarak adlandırılır. Malzemenin kopmadan önce ne kadar deforme olabileceğini de süneklik ile açıklayabiliriz.

Çekme yükleri ile malzemede meydana gelen düşük gerinimler elastik deformasyon yüksek gerinimler ise plastik deformasyon olarak tanımlanır. Malzemeye uygulanan çekme yükü ortadan kaldırıldığında malzeme eski haline dönüyor ise elastik deformasyon, malzeme eski haline dönmüyor ise plastik deformasyon gerçekleşmiştir. Bir diğer tabirle elastik deformasyondaki şekil değişimi kalıcı değil iken plastik deformasyondaki şekil değişimi kalıcıdır (Hosford, 2010). Gerilim uzama eğrisinin lineerlikten sapma gösterdiği ilk an plastik deformasyonun başlangıcıdır. Malzemede akma noktasına kadar olan şekil değişimleri elastik deformasyon bölgesi, akma noktasından kopma noktasına kadar olan şekil değişimleri plastik deformasyon bölgesidir (Hosford, 2010).

Çekme mukavemeti sünek malzemelerde boyun vermenin başladığı noktaya karşılık gelir. Daha az sünek özellik sergileyen malzemeler boyun verme noktasına gelmeden önce kırılırlar. Gevrek malzemeler ise akma noktasına gelmeden önce kırılırlar. Bu sebeple gevrek malzemelerde akma gerilmeleri yoktur fakat çekme dayanımları vardır (Hosford, 2010).

4.3.2. Sertlik testi

Sertlik ölçümleri sabit bir yüzeye sert bir girinti bastırıldığında oluşan deformasyon miktarının ölçülmesine dayanır. Brinell sertlik ölçümü, bilya tarafından sabit bir yük altında numuneye uygulanan basma kuvvetidir. Ölçünün çapı bir göz merceği ile ölçülür ve sertliğe dönüştürülür (Hosford, 2010).



5. MALZEME VE YÖNTEM

5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada farklı sıcaklık ve sürelerde suni yaşlandırılan ve oda sıcaklığında 3 ay doğal yaşlandırmaya bırakılan AA6082 ve AA6056 numunelerin mekanik özellikleri ve mikroyapısal değişimleri incelenmiştir. Çalışmada kullanılan AA6082 ve AA6056 alaşımlarından ekstrüde edilen profil numunelerinin kimyasal analiz sonuçları ve TS EN 573-3 +A1 standardı verileri Tablo 5.1.'de verilmiştir (TSE, 2022). Spektral analiz işlemi optik emisyon spektrometresi (Arun Techonolgy Spektrometre Artus 8) kullanılarak yapılmıştır.

Tablo 5.1. TS EN 573-3 +A1 standardı ve AA6082 ve AA6056 numune analizleri.

		Element (%)									
MALZEME			Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Diğer	Al
EN AW-6056	EN AW-Al Si1MgCuMn	TS EN 573-3 +A1 Standart	0,7–1,3	0,5	0,50–1,1	0,40–1,0	0,6–1,2	0,25	0,10–0,7	0,15	Kalan
		Numune Analizi	0,932	0,224	0,647	0,507	1,143	0,0429	0,173	0,11	96,22
EN AW-6082	EN AW-Al Si1MgMn	TS EN 573-3 +A1 Standart	0,7–1,3	0,5	0,1	0,40–1,0	0,6–1,2	0,25	0,2	0,15	Kalan
		Numune Analizi	0,876	0,265	0,043	0,507	0,611	0,0254	0,0318	0,091	97,55

5.1.1. Deneyler için üretilen malzemelerin iş akışı

Deneylerde kullanılacak numuneler yarı sürekli döküm yöntemi ile AA6082 ve AA6056 alaşımlarına sahip 178 mm çapında biyet formunda üretilmiştir. Biyetlerin üretimi için rejeneratif reverber tipli ergitme fırınlarında alaşımlar hazırlanmış ve AA6082 alaşımı 720°C’de; AA6056 alaşımı ise 718°C’de dökülmüştür. AA6082 ve AA6056 alaşımlarındaki biyetler sırası ile 7280 mm ve 7250 mm boylarında dökülmüş olup, biyet kesim testeresinde her iki alaşımın biyetleri de 7000 mm uzunluğa kesilmiştir. Kesilen biyetler homojenizasyon fırınında çözeltiye alma işlemine tabi tutulmuştur. Homojenizasyon işlemi sonrasında biyetler ekstrüde edilmek üzere 700 mm boyutlarına kesilmiş ve bu biyetler ön ısıtma işlemi yapılarak ekstrüzyon prosesi

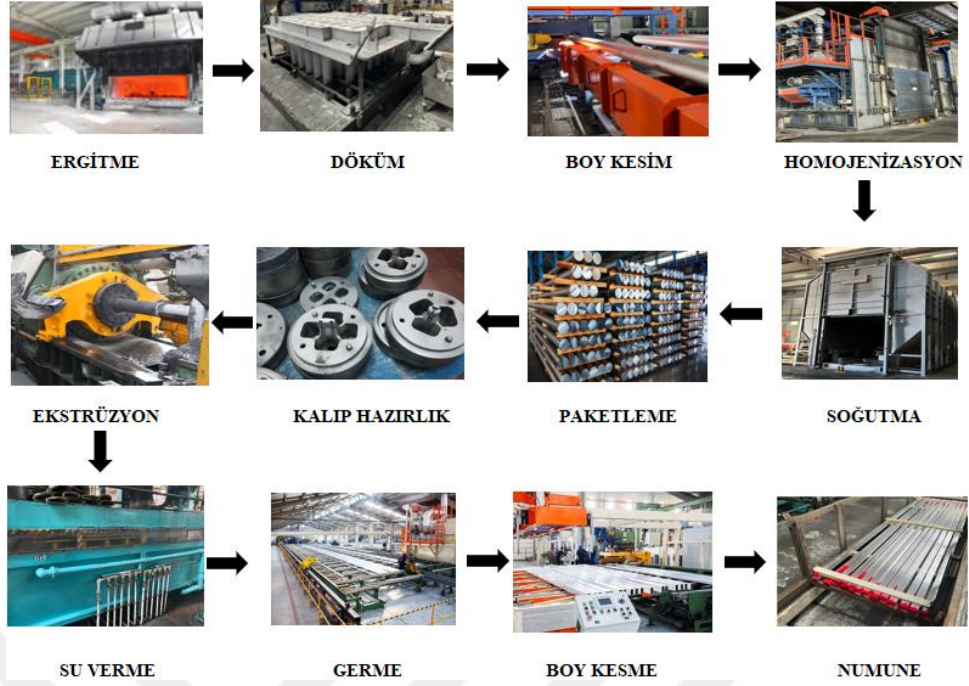
için hazır hale gelmiştir. Her iki alaşım için biyet n sıcaklığı 470-485°C ve arka sıcaklığı ise 475-485°C aralığında tutulmuştur. Profil ıkış sıcaklığı ekstrüzyon işleminin başlarında 525-530°C arasındaki sıcaklık değerlerindeyken; ekstrüzyon kalıbı sürtünme ile ısındıkça ekstrzyon işlemi sonlarında 535-545°C seviyelerine çıkmıştır. Su verme ortamı olarak su kullanılmış olup, su verme sonrasında profillerin nihai sıcaklığı 19°C'ye dşmştir.

Solüsyona alma (zeltiye alma) işlemi alüminyum biyetlere uygulanan homojenizasyon işlemi ile başlayıp profilin kalıptan çıktığı ilk ana kadar devam etmektedir. Ekstrüzyon ile imalat yöntemlerinde su verme (quench) işlemi ise profilin sıcak iş takım çeliğinin içinden çıktığı ilk anda başlar. Üretim tamamlandığında, alüminyum alaşımı olan profilden beklenen mekanik özelliklere göre belirlenen sıcaklık ve sürelerde ısıl işlem fırınlarında suni yaşlandırma işlemi yapılır. Deneyler için üretilen malzemelerin iş akış şeması şekil 5.1.a.'da, numunelere uygulanan işlemler ve deneyler ise şekil 5.1.b.'de verilmiştir.

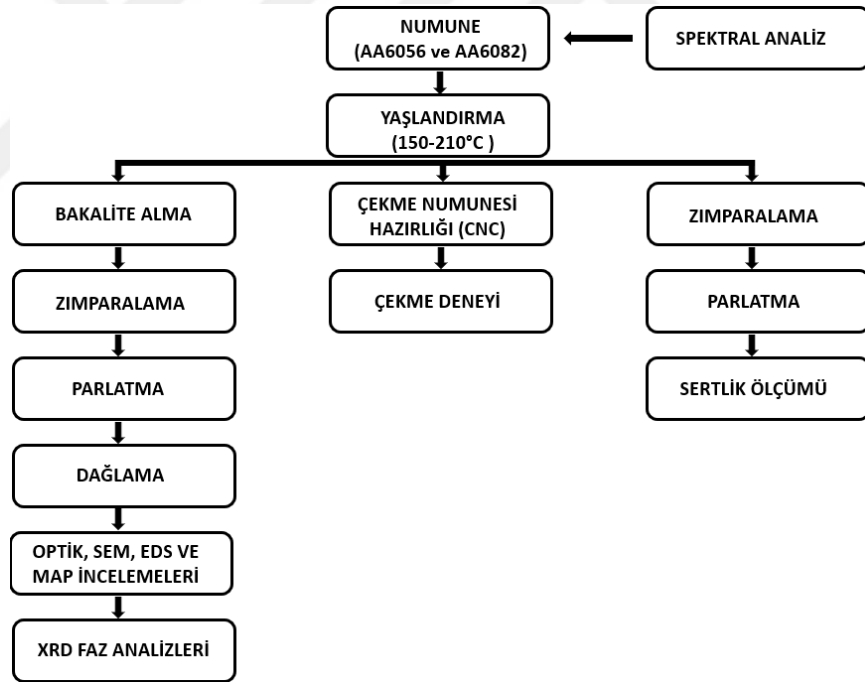
AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ısıl işlem fırınlarında 150-210°C sıcaklık aralığında her bir sıcaklık için belirlenen farklı sürelerde suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Suni yaşlandırma işlemi için Nabertherm marka NA120/650 tip ısıl işlem fırını kullanılmıştır. Kullanılan ısıl işlem fırını ve her bir sıcaklık ve süre için seçilen 2'şer adet numunenin fırın içindeki yerleşimi şekil 5.2.'de gösterilmiştir.

Alaşımlara uygulanan yaşlandırma işleminde kullanılan sıcaklık ve süreler Tablo 5.2.'de detaylı olarak verilmiştir. Her iki alaşım için de aynı sıcaklık ve süreler kullanılmış olup, alaşımlar eř zamanlı olarak aynı fırında yaşlandırılmıştır. Deney numunelerinin soğuma işlemi oda sıcaklığında gerçekleşmiştir.

Doğal yaşlandırma için hazırlanan numuneler ise 3 ay boyunca oda sıcaklığında bırakılmıştır.



a)



(b)

Şekil 5.1. a. Deneyler için üretilen malzemelerin iş akış şeması **b.** Numunelere uygulanan işlemler ve deneyler



(a)



(b)

Şekil 5.2. a. Isıl işlem fırını b. Numunelerin ısıl işlem fırını içindeki dizilimi

Tablo 5. 2. Suni yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.

210 °C	195 °C	180 °C	165 °C	150 °C
1h	2h 3h	4h	8h	12h
1,5h	4h	5h	10h	16h
2h	5h	6h	12h	20h
2,5h	6h	7h	14h	24h
3h	7h	8h	16h	28h
3,5h	8h	9h	18h	32h
4h	9h	10h	20h	36h
4,5h	10h	11h		40h
		12h		

5.2. Sertlik Deneyi

Doğal ve suni yaşlandırılan deney numunelerine Emcotest Duravision markalı makro sertlik cihazı ile Brinell sertlik ölçümleri yapılmıştır. Sertlik ölçümleri 2.5 mm çapına sahip olan bilye, 10 kg ön yük ve 62,5 kg toplam yük kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Sertlik ölçümü için kullanılan makro sertlik cihazının görseli Şekil 5.3.'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Makro sertlik cihazı

Sertlik ölçümleri için numuneler 600 numaralı zımpara ile zımparalanmış ve yüzey hazırlıkları yapılmıştır. Her bir deney numunesine 5 defa ölçüm yapılmış olup; ortalamaları alınmış ve değerler kaydedilmiştir. Atılan her bir iz arasında en az bilye çapının 4 katı olacak şekilde mesafe bırakılmıştır.

5.3. Metalografik Çalışmalar

Metalografik incelemeler için numuneler ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olacak şekilde Struers marka DISCOTOM10 tip metalografik numune kesme cihazında bakalite alma işlemi için uygun boyutlarda (1 cm^3) kesilmiştir. Şekil 5.4.'te metalografik numune kesme, sıcak bakalite alma, zımparalama ve parlatma cihazları verilmiştir.

Numuneler kesildikten sonra Struers marka CITOPRES15 tip sıcak bakalite alma cihazı kullanılarak bakalite alınmıştır. Her bir yaşlandırma süre ve sıcaklığı için bir bakalit hazırlanmış olup, ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olan yönler aynı bakalitte yer almıştır. Bakalite alma işlemi için 29 g sıcak bakalit tozu kullanılmıştır. 4,5 dakika, $175 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve 250 bar sıkıştırma basıncı ile prosesin ilk adımı gerçekleşmiş olup, soğutma işlemi 2,5 dakika yapılmıştır.



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.4. a. Metalografik numune kesme cihazı b. Sıcak bakalite alma cihazı c. Zımparalama ve parlatma cihazı

Bakalite alma işlemi tamamlandıktan sonra bakalitlerin hangi numuneye ait olduğunun tayin edilebilmesi için biax kalem kullanılarak bakalitin arka tarafına ve bakalitte yer alan ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olan numuneler için de tanımlama yapılmıştır. Bakalite alma işlemi tamamlandıktan sonra numuneler sırasıyla 320, 400, 600, 1200 ve 2500 numaralı SiC zımparalarla Struers marka LABOFORCE100 tip zımparalama, parlatma cihazı ile zımparalanmıştır. İlk parlatma işlemi için 3 µm elmas tane boyutuna sahip süspansiyon kullanılmış olup; final parlatma işlemi için 50 nm alkaline koloidal silika kullanılmıştır. Dağlama işlemi için ise %2'lik HF çözeltisi kullanılmıştır. Dağlanmış numunelerin optik mikroskop incelemeleri NIKON ECLIPSE MA200 marka optik mikroskobunda yapılmıştır. SEM incelemeleri JEOL JSM 6060 LV model taramalı eletron mikroskobunda yapılmıştır. (Şekil 5.5.)



(a)



(b)

Şekil 5.5. a. Optik mikroskop b. Taramalı eletron mikroskobu

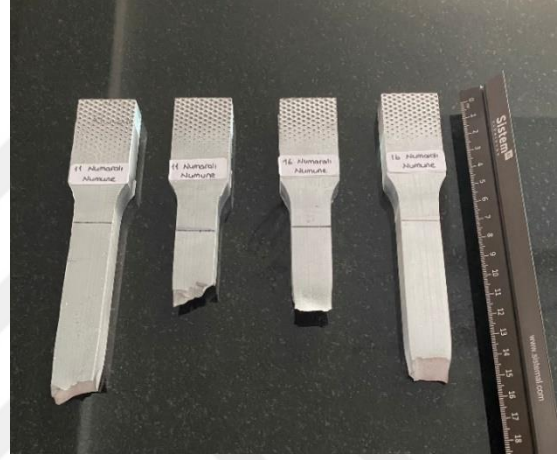
5.4. Çekme Deneyi

Çekme deneyi için farklı sıcaklık ve sürelerde suni yaşlandırmaya maruz bırakılan ve doğal yaşlandırılan deney numunelerinden CNC ile papyon şeklinde çekme numuneleri hazırlanmıştır.

Numunelere oda sıcaklığında, ALŞALAB MCK300 marka cihaz ile çekme testi uygulanmıştır. Yapılan çekme deneyi sonucunda malzemelerin akma ve çekme mukavemetleri her bir numune için ayrı ayrı kaydedilmiştir. Şekil 5.6.'da çekme cihazı ve numunelerinin makro görüntüleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 5.6. a. Çekme cihazı b. Çekme numunelerinin makro görüntüleri

5.5. XRD Analizi

XRD analizleri AA6056 ve AA6082 alaşımlarında en yüksek ve en düşük çekme mukavemetleri elde edilen numunelere uygulanmıştır. Seçilen numuneler XRD cihazının numune odasına yerleştirilmiştir. Faz analizleri Rigaku Ultima marka X-Işınları difraktometresi ve Cu K α radyasyonu kullanılarak, 2°C/dk hızla yapılmıştır. XRD analizleri sonucunda numunelerde oluşan faz yapıları tanımlanmıştır.



6. DENEYSEL SONUÇLAR

Bu çalışmada AA6082 ve AA6056 alaşımlarından toplam 84 adet deney numunesi hazırlanmıştır. Aynı suni yaşlandırma işlem sürelerinde sıcaklık arttıkça maksimum mekanik özelliklere daha kısa sürede ulaşıldığı tespit edilmiş olup; sonuçlar literatür taramaları ile doğrulanmıştır (Yüksel, 2017). Deneylerde suni yaşlandırma işleminde kullanılan sıcaklık ve süreler sanayide tercih edilen (yüksek sıcaklık-daha az süre) ısıtma işlem parametrelerinden hareketle belirlenmiştir.

Tablo 5.2’de belirtilen şartlarda hazırlanan 84 adet numune 4 ayrı grupta değerlendirilmiştir. **Birinci grup numuneler** için suni yaşlandırma süresi sabit tutulurken, sıcaklıklar değişken tutulmuştur. 4 saat süre ile yapılan suni yaşlandırma işlemi için 180°C, 195°C, 210°C, 8 saat süre ile yapılan suni yaşlandırma işleminde 165°C, 180°C, 195°C ve 12 saat süre ile yapılan suni yaşlandırma işleminde 150°C, 165°C, 180°C suni yaşlandırma sıcaklıklarında tespit edilen özellikler değerlendirilmiştir. **İkinci grup numunelerde**; tüm yaşlandırma sıcaklıkları kendi aralarında mukayese edilmiş olup, her iki alaşımın sergilemiş olduğu en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemeti değerleri baz alınarak karşılaştırma ve değerlendirmeler yapılmıştır. 150°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi için AA6082 alaşımında 16, 24 ve 36 saat, AA6056 alaşımında ise 12, 24 ve 40 saat sürelerde tespit edilen veriler kullanılmıştır. 165°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi için AA6082 alaşımında 8, 14 ve 16 saat, AA6056 alaşımında ise 8, 14 ve 18 saat süreler kullanılmıştır. 180°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi için AA6082 alaşımında 5, 8 ve 12 saat, AA6056 alaşımında ise 4, 7 ve 10 saat süreler, 195°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi için AA6082 alaşımında 4, 6 ve 10 saat, AA6056 alaşımında ise 2, 7 ve 9 saat süreler kullanılmıştır. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi için AA6082 alaşımında 1,5 saat, 2,5 saat ve 4,5 saat, AA6056 alaşımında ise 1, 2,5 ve 4,5 saat sürelerde tespit edilen deneysel sonuçlar kullanılmıştır. **Üçüncü grup numuneler** belirlenirken ise toplam 84 adet deney numunesi içinden, her bir alaşım için ayrı ayrı en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemetinin tespit edildiği şartlar değerlendirilmiştir. AA6082 alaşımı için yüksek çekme mukavemetinden düşüğe doğru sırası ile 150°C sıcaklıkta 36 saat, 165°C

sıcaklıkta 8 saat ve 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan numuneler; AA6056 alaşımı için ise 180°C sıcaklıkta 7 saat, 195°C sıcaklıkta 5 saat ve 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan numuneler seçilmiştir.

Dördüncü grup ise 3 ay boyunca oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemi için bekletilen numunelerden oluşmaktadır.

Sanayide kullanılan standartlarda, müşteri beklenti ve özel isteklerinde talep edilen malzemeler genel olarak çekme mukavemet değerleri üzerinden değerlendirildiği için karşılaştırmalar sertlik değerleri üzerinden değil, çekme mukavemetleri üzerinden yapılmıştır.

6.1. Sertlik ve Çekme Deneyi Sonuçları

6.1.1. Birinci grup numuneler

Birinci grup numuneler için süre sabit, suni yaşlandırma sıcaklıkları değişken tutulmuştur. Tablo 6.1.'de birinci grup numunelere ait sıcaklık ve süreler işaretlenmiştir. 4 saat yapılan yaşlandırma işlemi için turuncu, 8 saat yapılan yaşlandırma işlemi için kırmızı ve 12 saat yapılan yaşlandırma işlemi için ise mavi renk ile işaretleme yapılmıştır. 4, 8 ve 12 saat sürelerde suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerin sertlik ve mukavemet değerleri Tablo 6.2.'de görülmektedir.

Tablo 6. 1. Birinci grup numunelerin yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.

210 °C	195 °C	180 °C	165 °C	150 °C
1h	2h	4h ●	8h ●	12h ●
	3h			
1,5h	4h ●	5h	10h	16h
2h	5h	6h	12h ●	20h
2,5h	6h	7h	14h	24h
3h	7h	8h ●	16h	28h
3,5h	8h ●	9h	18h	32h
4h ●	9h	10h	20h	36h
4,5h	10h	11h		40h
		12h ●		

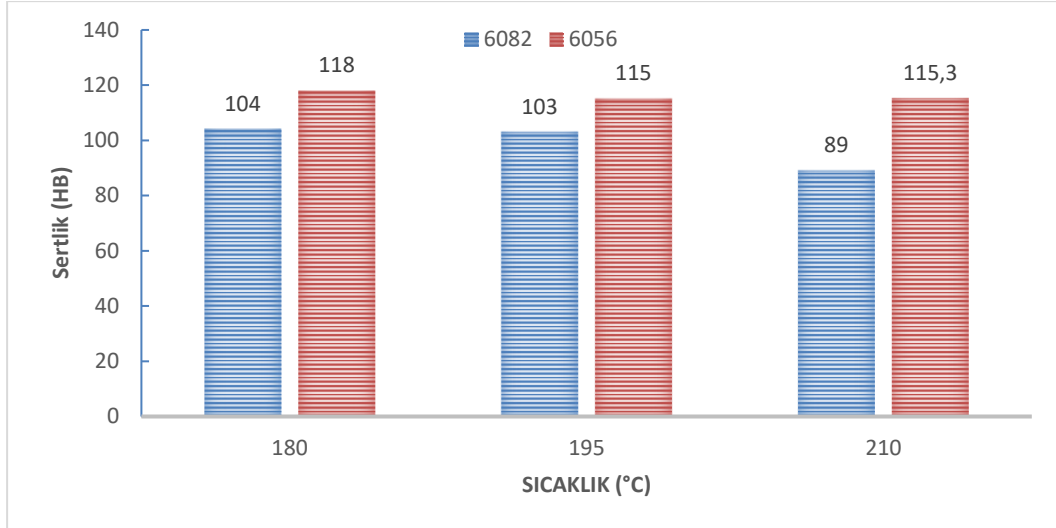
Tablo 6.2. Birinci grup numunelere ait sertlik değerleri, çekme ve akma mukavemetleri.

Süre (saat)	Sıcaklık (°C)	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)	
		6082	6056	6082	6056	6082	6056
4	180	104	118	349,2	390,51	315,28	359,79
	195	103	115	342,44	389,04	324,83	359
	210	89	115,3	309	381,82	287,27	353,5
8	165	103,3	119,7	342,23	403,17	294,38	354,53
	180	109	127	353,03	403,39	329,92	377,17
	195	99	117	315,49	391,24	306,45	360,17
12	165	103,3	119,7	342,23	403,17	294,38	354,53
	180	109	127	353,03	403,39	329,92	377,17
	195	99	117	315,49	391,24	306,45	360,17

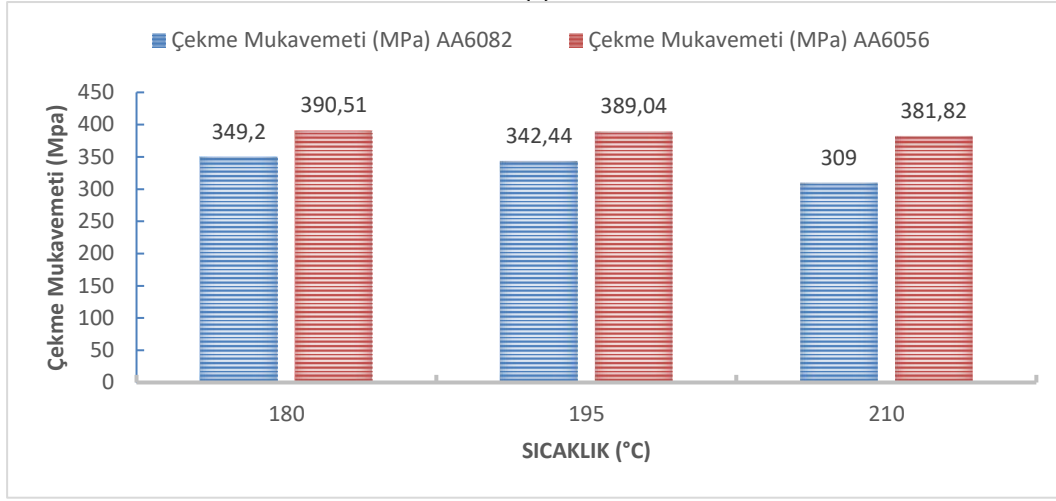
6.1.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler

180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat suni yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin; Şekil 6.1.a.'da sertlik, Şekil 6.1.b.'de çekme, Şekil 6.1.c'de akma mukavemetleri grafikleri yer almaktadır.

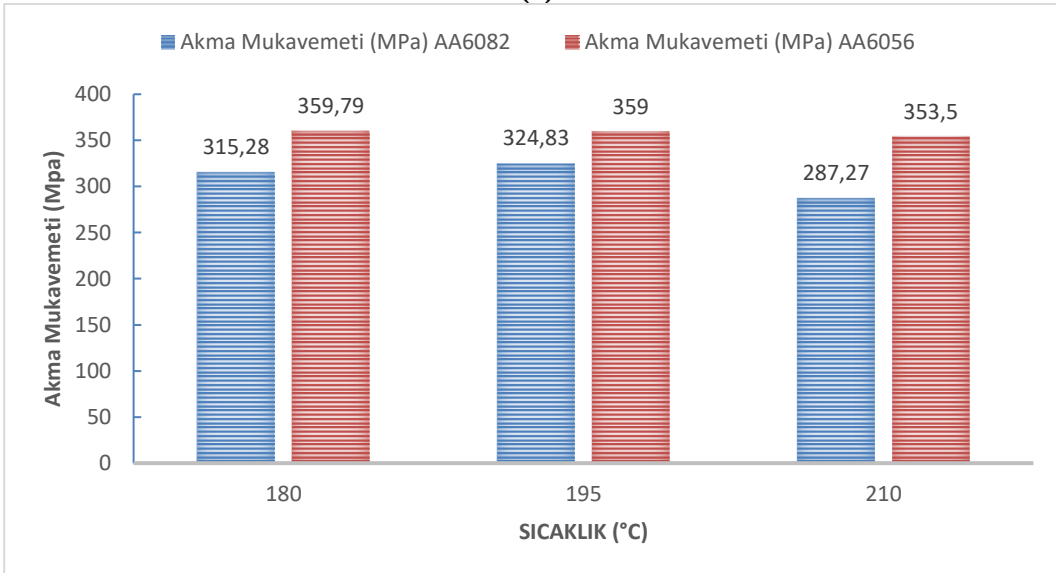
3 farklı sıcaklıkta 4 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan AA6056 ve AA6082 alaşımları içinde en yüksek sertlik değeri 118 HB olarak 180°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırılan AA6056 alaşımına aittir. Aynı zamanda en yüksek çekme mukavemeti değeri olan 390,51 MPa ve en yüksek akma mukavemeti olan 359,79 MPa değer de aynı sıcaklık ve alaşımda elde edilmiştir. AA6082 alaşımında da en yüksek çekme mukavemeti değerine 180°C sıcaklıkta 349,20 MPa olarak ulaşılmıştır. Bu sıcaklığa karşılık gelen sertlik değeri 104 HB olurken akma mukavemeti değeri ise 315,28 MPa olarak kaydedilmiştir. AA6056 için 210°C sıcaklıkta 4 saat suni yaşlandırılan numuneye ait çekme mukavemeti değeri 381,82 MPa, 195°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırılan numunenin çekme mukavemeti değeri 389,04 MPa ve 180°C'de 4 saatte çekme mukavemeti değeri 390,51 MPa olarak ölçülmüştür. Aynı bekleme sürelerinde sıcaklık arttıkça β^{11} fazının çökmesi daha kısa sürede gerçekleştiğinden 210°C'de aşırı yaşlanma durumuna geçilmiş olduğu ve 180°C'de maksimum dayanıma henüz ulaşılmadığına yani β^{11} fazının tamamen çökmediği yorumuna varılabilir (Yüksel, 2017). Elde edilen çekme mukavemetleri kıyaslandığında AA6082 alaşımında da benzer durum geçerlidir.



(a)



(b)



(c)

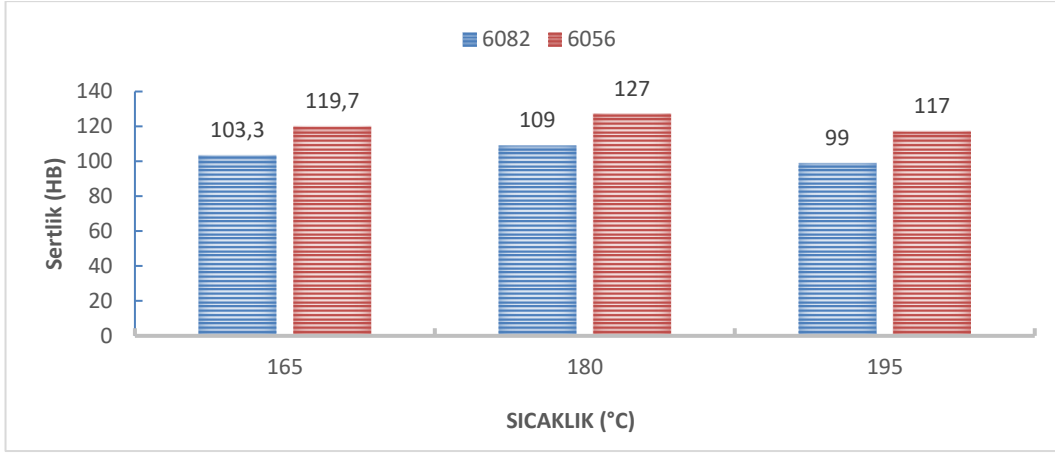
Şekil 6.1. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait **a.** sertlik, **b.** çekme ve **c.** akma mukavemeti grafikleri

6.1.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler

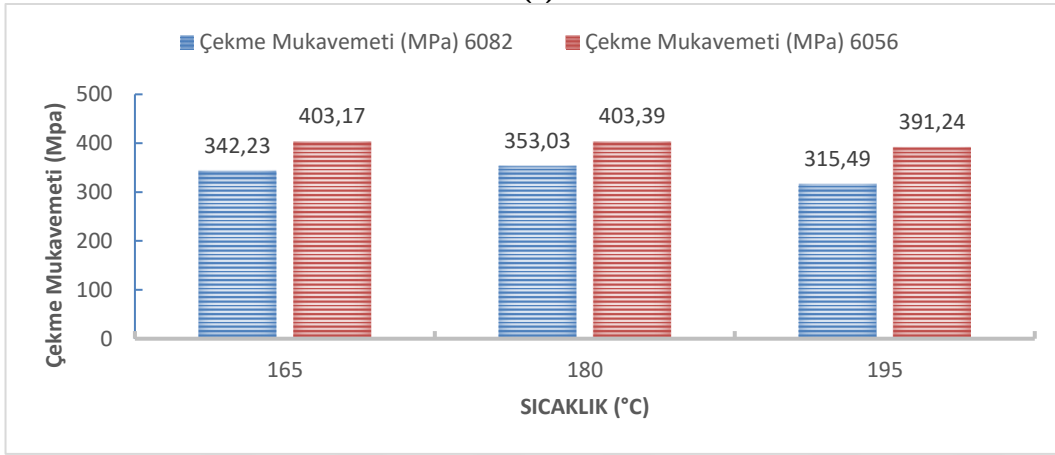
165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat suni yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin; Şekil 6.2.a.'da sertlik, Şekil 6.2.b.'de çekme, Şekil 6.2.c'de akma mukavemetleri grafiği yer almaktadır.

165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat suni yaşlandırmaya maruz bırakılan deney grubunda en yüksek çekme mukavemeti değeri 403,39 MPa ile 180°C sıcaklıkta AA6056 alaşımında görölmüştür. Akma mukavemeti ve sertlik değeri de 180°C sıcaklıkta en yüksek değere ulaşmıştır. AA6082 alaşımında en yüksek çekme mukavemeti 353,03 MPa olarak aynı sıcaklıkta görölmüştür. 4 saat sıcaklıkta meydana gelen durum 8 saat için de geçerli olup; AA6056 alaşımı, tüm sıcaklıklarda AA6082 alaşımından daha yüksek mekanik özellikler sergilemiştir.

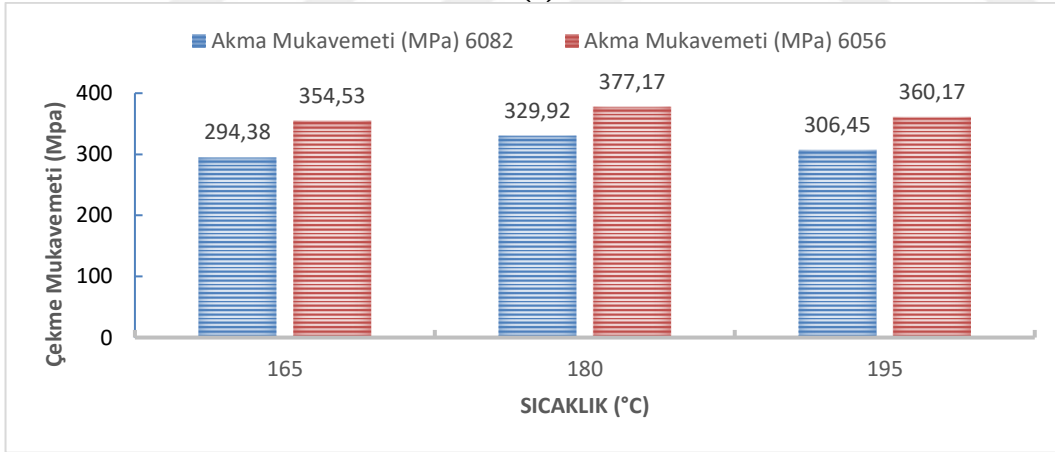
8 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numuneler için; maksimum çekme mukavemetine 180°C sıcaklıkta ulaşıldığı görölmüştür. Bu durumda 195°C sıcaklıkta malzemelerin aşırı yaşlanma durumuna geçtiğini, 165°C için ise maksimum mekanik özellikler için daha yüksek tutma sürelerine gereksinim olduğu belirtilebilir. 165°C sıcaklıkta yaşlandırılan numunelerde süre arttıkça mekanik özellikler aşırı yaşlanma durumuna geçene kadar artış yönünde eğilim sergileyecektir. Bu durumun EK B.'de verildiği gibi; AA6082 alaşımında 16 saate kadar, 6056 alaşımında ise 20 saate kadar devam ettiği tespit edilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.2. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait **a.** sertlik, **b.** çekme ve **c.** akma mukavemeti grafikleri

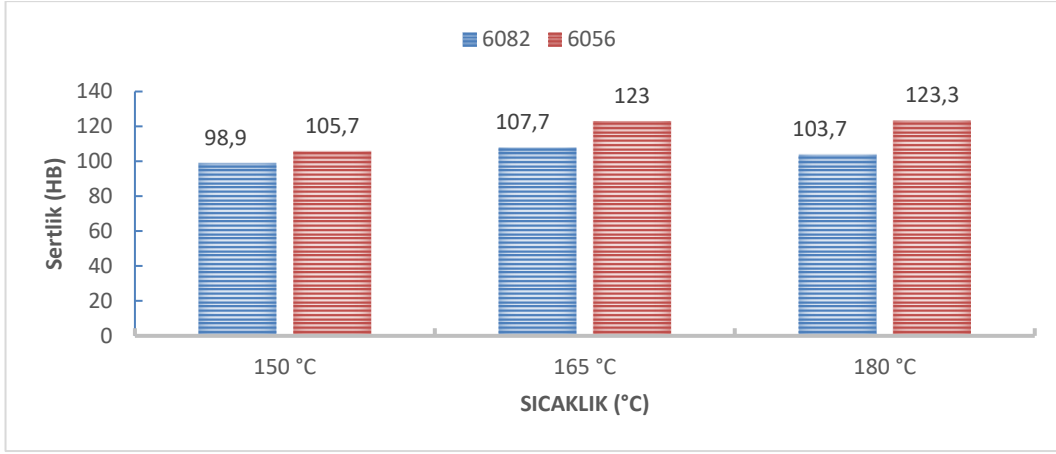
6.1.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler

150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat suni yaşlandırmaya tabi tutulan numunelerin; Şekil 6.3.a.'da sertlik, Şekil 6.3.b.'de çekme, Şekil 6.3.c'de akma mukavemetleri grafiği yer almaktadır.

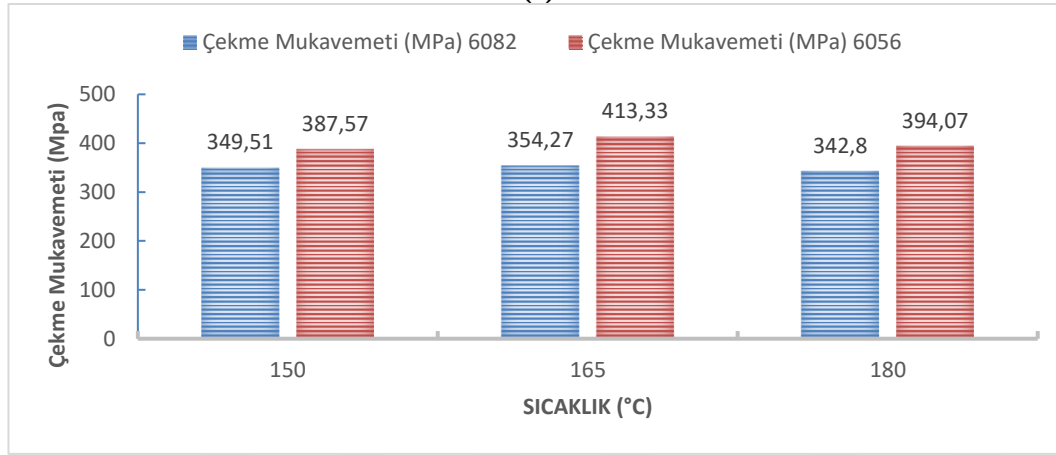
12 saat suni yaşlandırma işleminde 180°C, 165°C ve 150°C sıcaklıklar kullanılmıştır. En yüksek çekme mukavemeti değeri AA6056 alaşımında 413,33 MPa, AA6082 alaşımında 354,27 MPa olarak 165°C sıcaklıkta elde edilmiştir. Birinci grupta, aynı ısıtım işlem reçeteleriyle yaşlandırılan tüm numunelerde en yüksek çekme mukavemet değerleri AA6056 alaşımında tespit edilmiştir.

12 saat yaşlandırılan numuneler için seçilen en yüksek sıcaklık değeri olan 180°C’de aşırı yaşlanma başlamış olup, 150°C sıcaklıkta ise mekanik özelliklerin daha yüksek değerlere ulaşması için ilave yaşlandırma sürelerine ihtiyaç olduğu belirtilebilir. (EK A.) Benzer durum 4 ve 8 saat suni yaşlandırılan numunelerde de tespit edilmiştir.

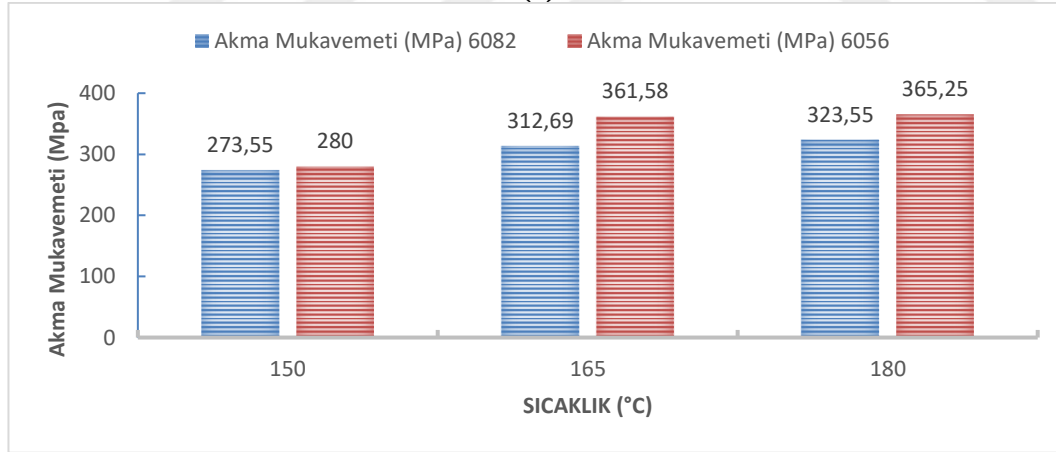
4, 8 ve 12 saat sürelerde yapılan suni yaşlandırma işleminde AA6056 alaşımının çekme, akma ve sertlik değerleri aynı parametrelerde yaşlandırılan AA6082 alaşımına göre daha yüksek değerler sergilemiştir. Bu durumu iki farklı alaşımın sahip olduğu kimyasal bileşim ve yapıda oluşan fazların farklılığı ile açıklayabiliriz.



(a)



(b)



(c)

Şekil 6.3. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait **a.** sertlik, **b.** çekme ve **c.** akma mukavemeti grafikleri

6.1.2. İkinci grup numuneler

İkinci grup numuneler; 150°C, 165°C, 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda yapılan suni yaşlandırma işlemleri sonucunda elde edilen en yüksek, en düşük ve ortalama çekme mukavemetine sahip numunelerden seçilmiştir. Tablo 6.3.'te ikinci grup numunelere ait sıcaklık ve süreler işaretlenmiştir. AA6082 alaşımı için yaşlandırma

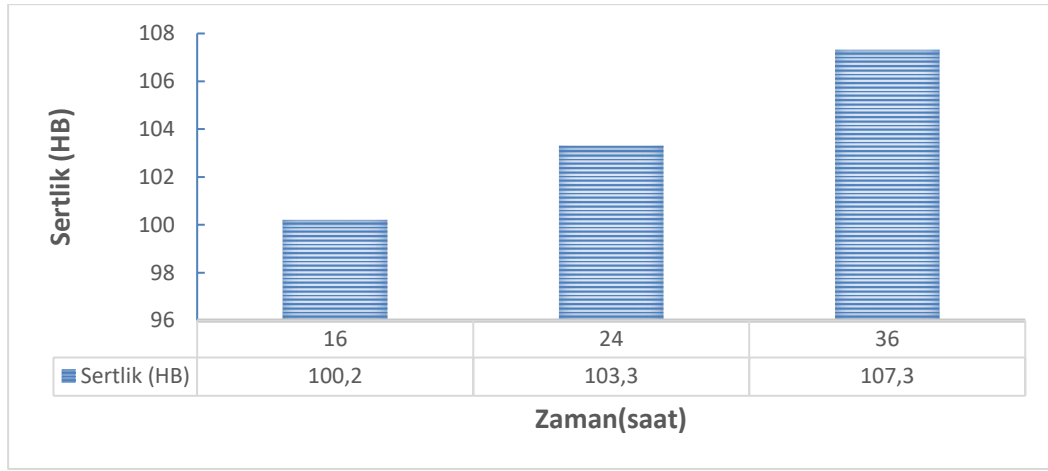
şartları mavi, AA6056 alaşımı için ise kırmızı renk ile işaretleme yapılarak belirtilmiştir.

Tablo 6. 3. İkinci grup numunelerin yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.

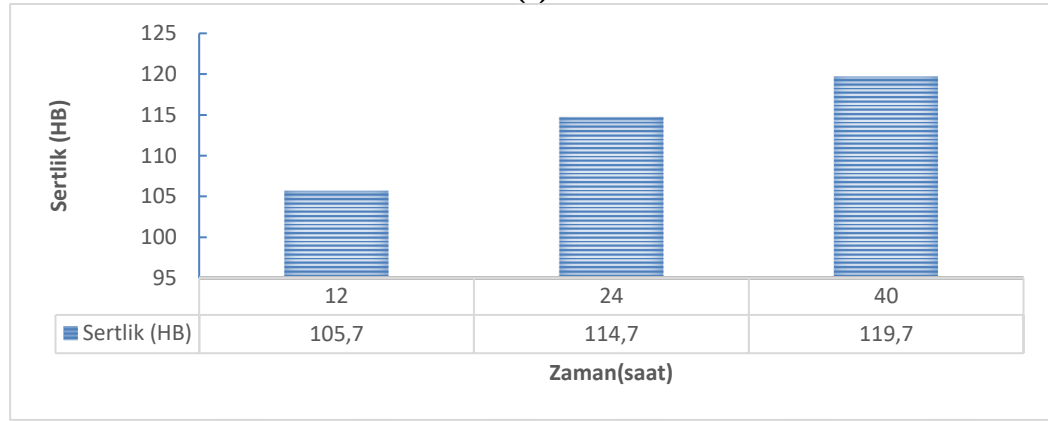
210 °C	195 °C	180 °C	165 °C	150 °C
1h ●	2h ●	4h ●	8h ●●	12h ●
1,5h ●	3h	5h ●	10h	16h ●
2h	4h ●	6h	12h	20h
2,5h ●●	5h	7h ●	14h ●●	24h ●●
3h	6h ●	8h ●	16h ●	28h
3,5h	7h ●	9h	18h ●	32h
4h	8h	10h ●	20h	36h ●
4,5h ●●	9h ●	11h		40h ●
	10h ●	12h ●		

6.1.2.1. 150°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

150°C sıcaklıkta suni yaşlandırma işleminde kullanılan süreler, Tablo 6.3.'te görülmekte olup, AA6082 alaşımının en yüksek, orta ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği süreler ve sürelerle karşılık gelen sertlik değerleri grafiği Şekil 6.4.a.'da verilmiştir. AA6056 alaşımı için sertlik değerleri grafiği ise Şekil 6.4.b.'de verilmiştir. 150°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait çekme deneyi sonuçları grafiği Şekil 6.5.a.'da, AA6056 alaşımına ait sonuçların grafiği ise Şekil 6.5.b.'de verilmiştir.



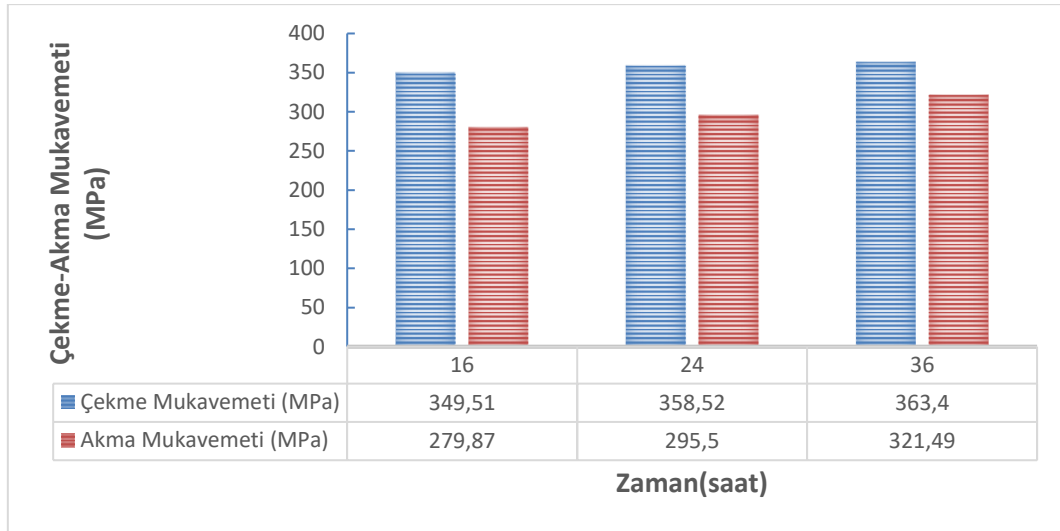
(a)



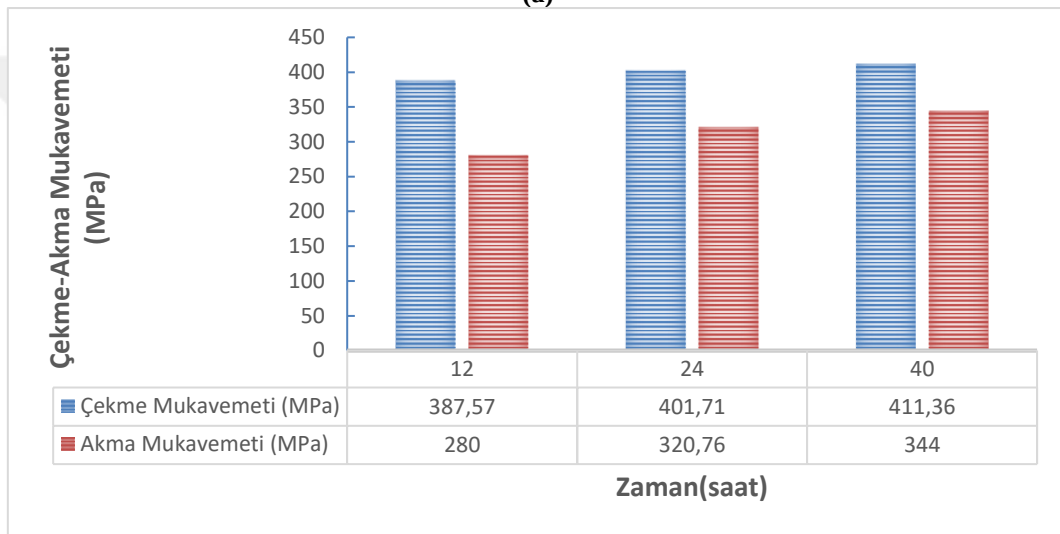
(b)

Şekil 6.4. 150°C sıcaklıkta **a.** 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımlarına ait sertlik grafikleri

150°C sıcaklıkta en yüksek çekme, akma mukavemeti ve sertlik değerleri AA6082 alaşımı için 36 saat suni yaşlandırma işleminde elde edilmiştir. Ortalama mekanik özellik değerlerine 24 saatte, en düşük mekanik özellik değerlerine ise 16 saatte ulaşılmıştır. AA6056 alaşımında en yüksek mukavemetler 40 saatte, ortalama mekanik değerler 24 saatte ve en düşük mekanik değerler ise 12 saatte elde edilmiştir. AA6082 ve AA6056 alaşımında süre artıkça mekanik değerlerde artış gözlenmiştir. 150°C’de kullanılan en yüksek suni yaşlandırma süresi 40 saattir ve AA6082 alaşımının maksimum mekanik özellikleri 36 saat suni yaşlandırma işleminde elde edilmiştir. Bu durumda AA6082 alaşımı için 40 saat suni yaşlandırma işleminde aşırı yaşlanma durumuna geçilmiş olduğu söylenebilir. AA6056 alaşımında ise belirlenen yaşlandırma sürelerinde mekanik özellikler artan yönde değişim göstermiştir.



(a)

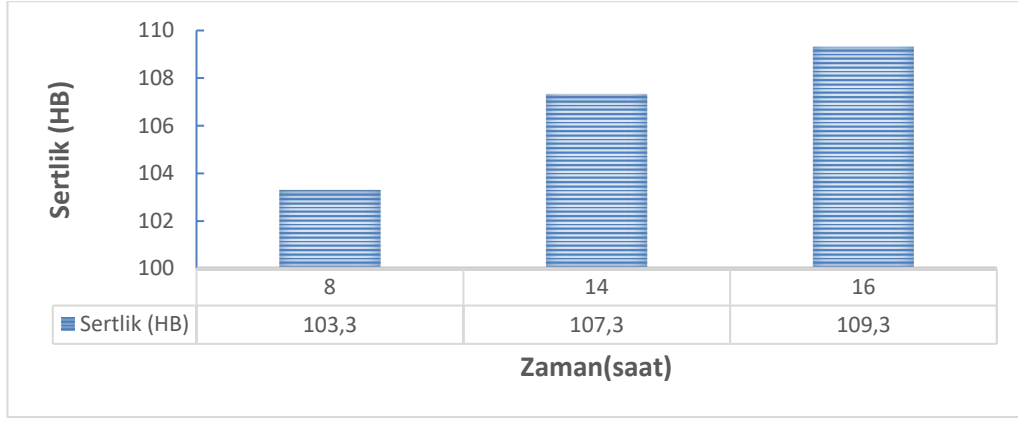


(b)

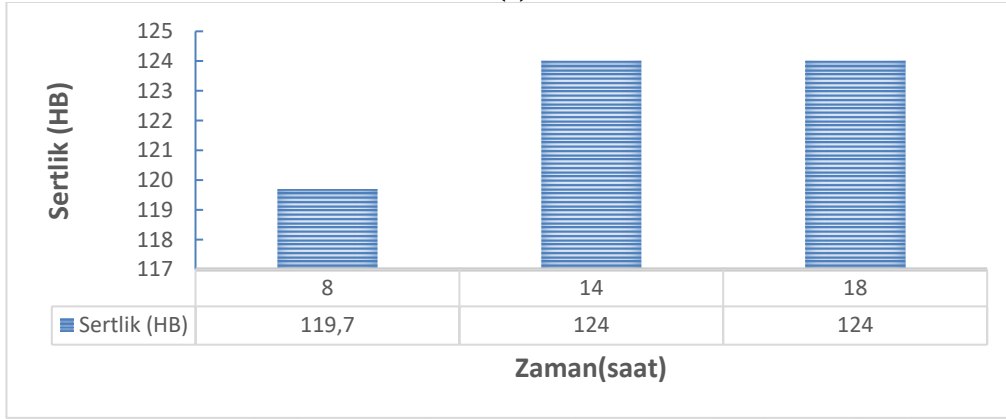
Şekil 6.5. 150°C sıcaklıkta **a.**16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımlarına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri

6.1.2.2. 165°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

165°C sıcaklıkta suni yaşlandırma işleminde kullanılan süreler; Tablo 6.3.'te verilmiş olup, AA6082 alaşımının en yüksek, orta ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği süreler ve bu sürelerle karşılık gelen sertlik değerleri grafiği Şekil 6.6.a.'da, AA6056 alaşımı için ise Şekil 6.6.b.'de verilmiştir. 165°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait çekme deneyi sonuçları grafiği Şekil 6.7.a.'da, AA6056 alaşımına ait sonuçların grafiği ise Şekil 6.7.b.'de verilmiştir.



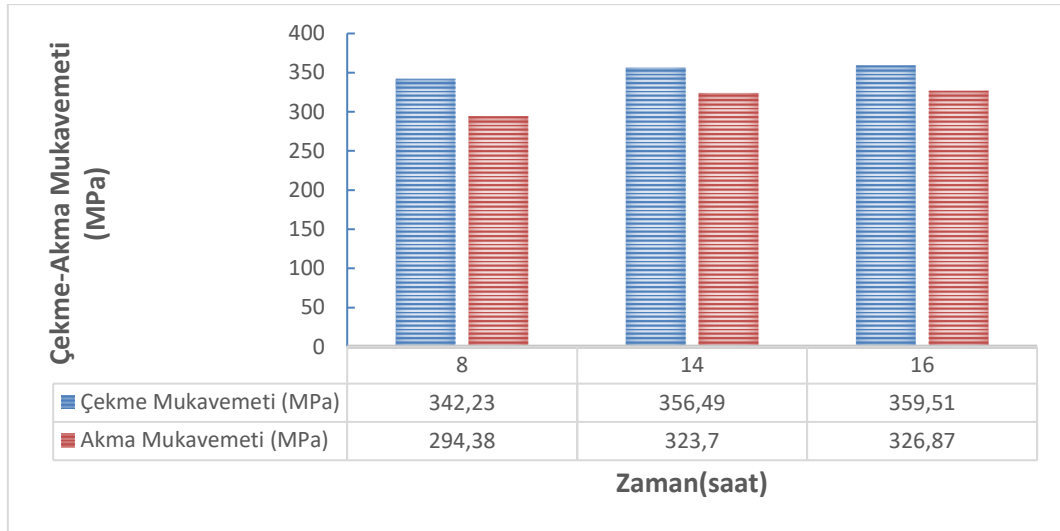
(a)



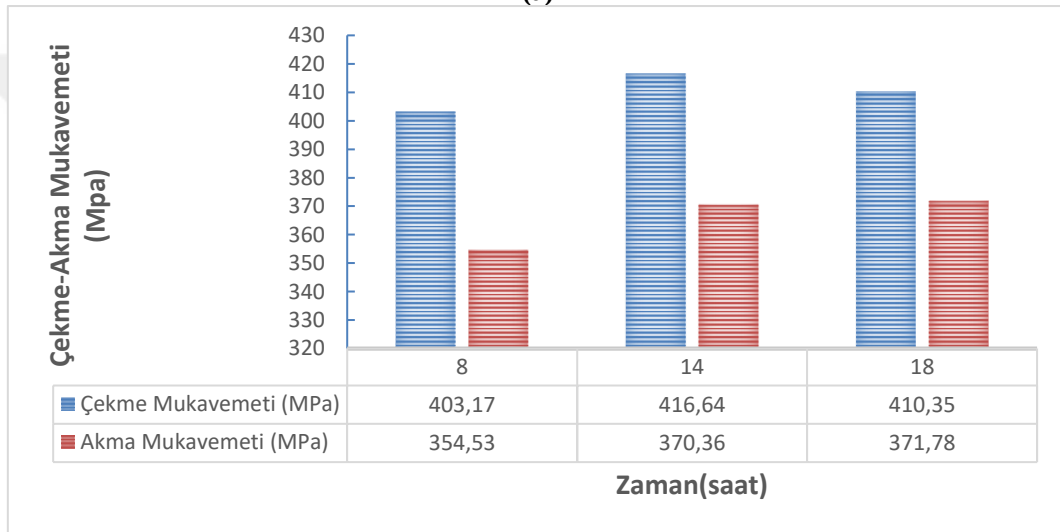
(b)

Şekil 6.6. 165°C sıcaklıkta **a.** 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği

165°C sıcaklıkta en yüksek çekme, akma mukavemeti ve sertlik değeri AA6082 alaşımı için 16, ortalama mukavemet değeri 14, en düşük mekanik özellik değeri ise 8 saatlik suni yaşlandırma işleminde gerçekleşmiştir. AA6056 alaşımında en yüksek mukavemetler 18 saatlik, ortalama mekanik özellik değeri 14 saatlik ve en düşük mekanik özellik değeri ise 8 saatlik suni yaşlandırma işleminde elde edilmiştir. Her iki alaşım için de mekanik değerler sürenin artışı ile artış eğilimi göstermiş ve belli bir süre sonunda aşırı yaşlanma başlamış olup mekanik değerlerde düşüş gözlenmiştir. (EK B.)



(a)

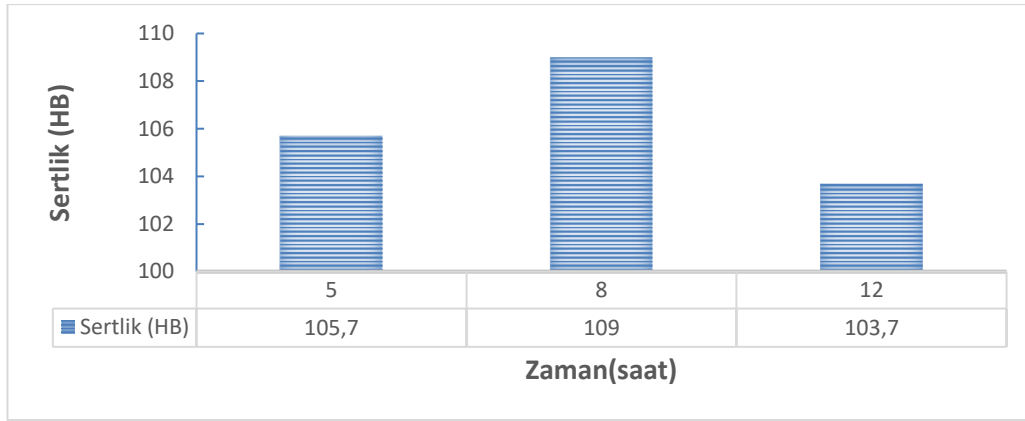


(b)

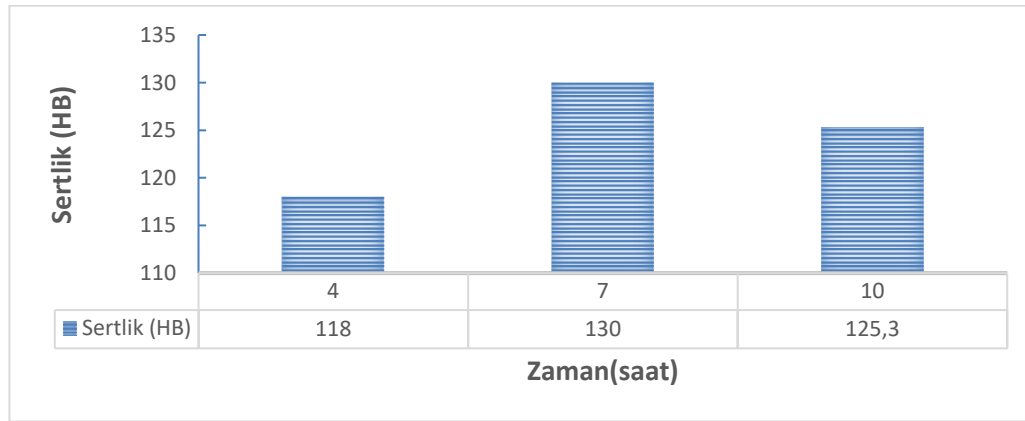
Şekil 6.7. 165°C sıcaklıkta **a.** 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri

6.1.2.3. 180°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

180°C sıcaklıkta suni yaşlandırma işleminde kullanılan süreler; Tablo 6.3.'te verilmiş olup, AA6082 alaşımının en yüksek, orta ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği süreler ve sürelerle karşılık gelen sertlik değerleri grafiği Şekil 6.8.a.'da, AA6056 alaşımı için ise Şekil 6.8.b.'de verilmiştir. 180°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait çekme deneyi sonuçları grafiği Şekil 6.9.a.'da, AA6056 alaşımının ise Şekil 6.9.b.'de verilmiştir.



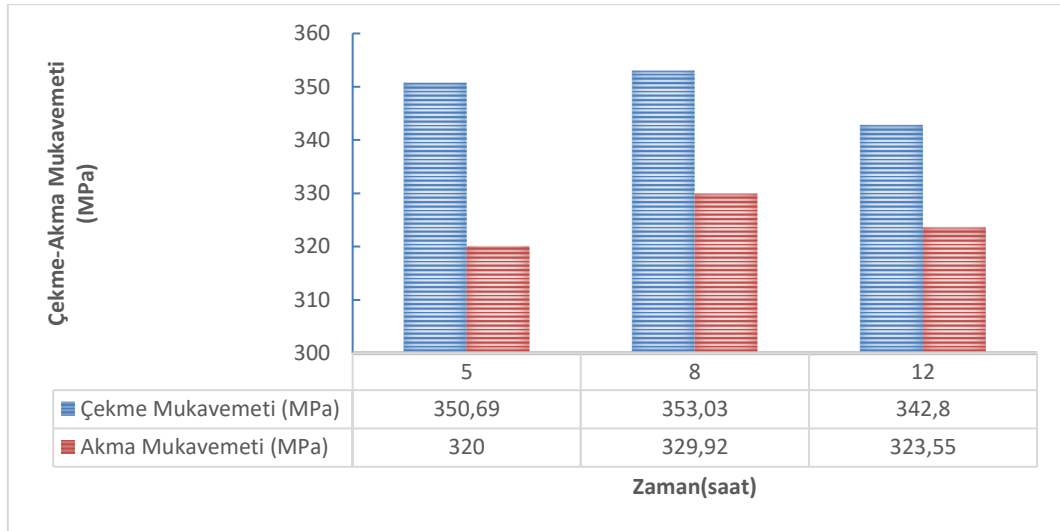
(a)



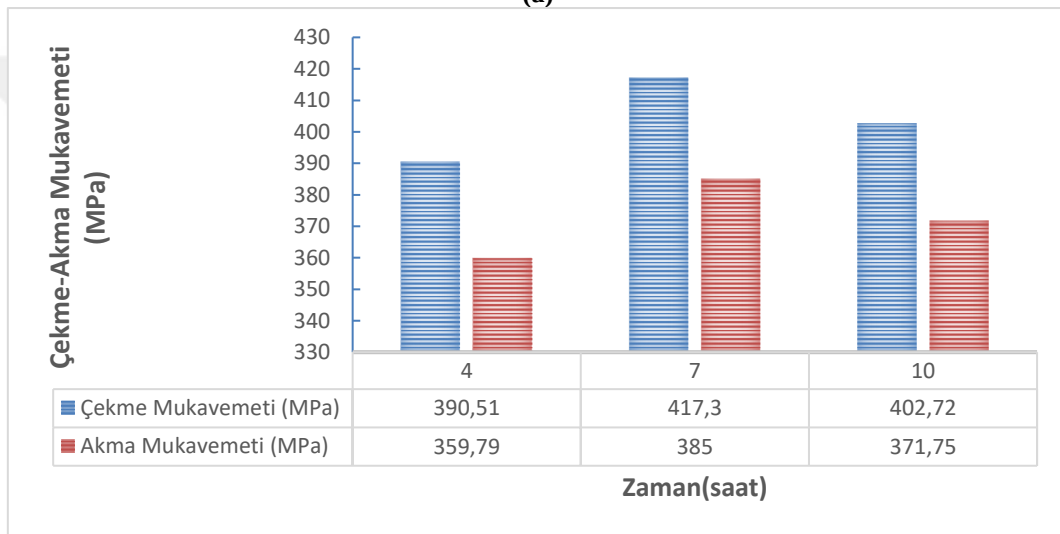
(b)

Şekil 6.8. 180°C sıcaklıkta **a.** 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği

AA6082 alaşımı için en yüksek çekme mukavemeti; 180°C sıcaklıkta 8 saat yaşlandırılan numunede 353,03 MPa olarak ölçülmüştür. Ortalama çekme mukavemeti 5 saat, en düşük çekme mukavemeti ise 12 saat suni yaşlandırılan numunelerde görülmüştür. AA6056 alaşımında ise en yüksek çekme mukavemet değeri 7 saat suni yaşlandırılan numunede 417,30 MPa olarak ölçülmüş olup; ortalama çekme mukavemet değeri 10 saat, en düşük çekme mukavemet değeri ise 4 saat suni yaşlandırılan numunede ölçülmüştür.



(a)

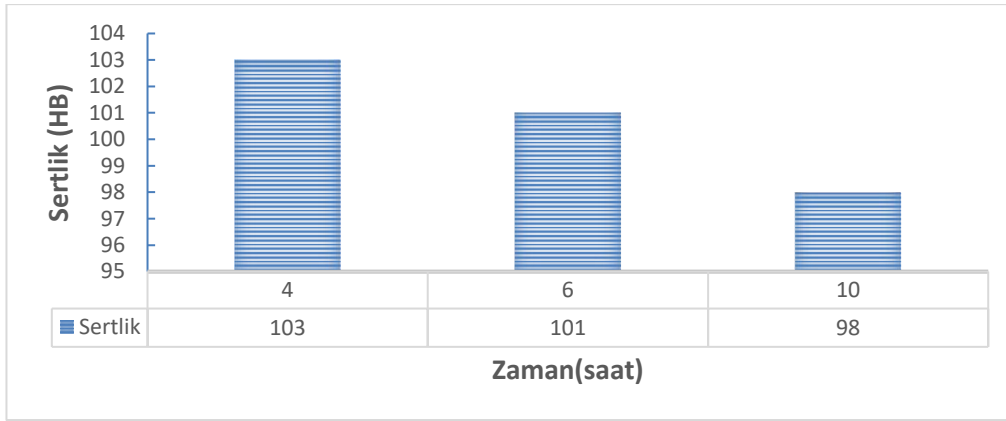


(b)

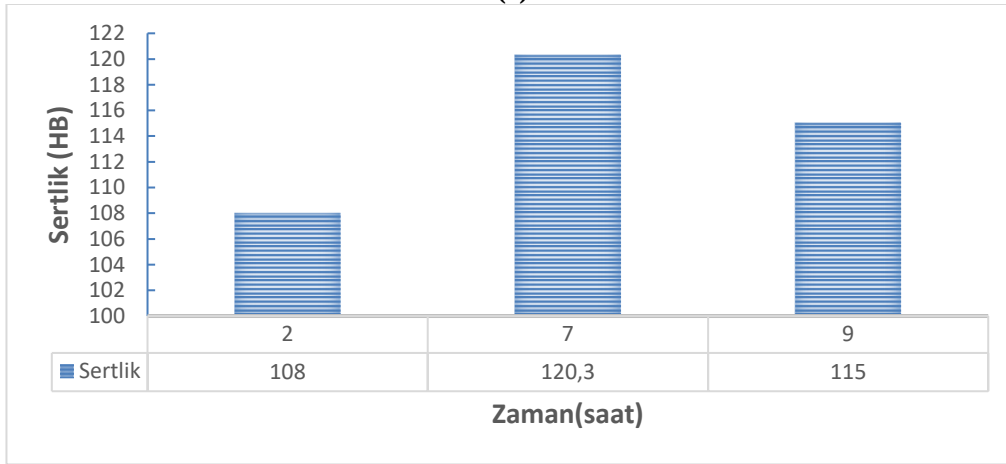
Şekil 6.9. 180°C sıcaklıkta **a.** 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri

6.1.2.4. 195°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

AA6082 alaşımının 195°C sıcaklıkta Tablo 6.3.'te verilen suni yaşlandırma süreleri içerisinde en yüksek, orta ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği süreler ve sürelerle karşılık gelen sertlik değerleri grafiği Şekil 6.10.a.'da ve AA6056 alaşımı için ise Şekil 6.10.b.'de verilmiştir. 195°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait çekme deneyi sonuçları grafiği Şekil 6.11.a.'da, AA6056 alaşımına ait grafik ise Şekil 6.11.b.'de verilmiştir.



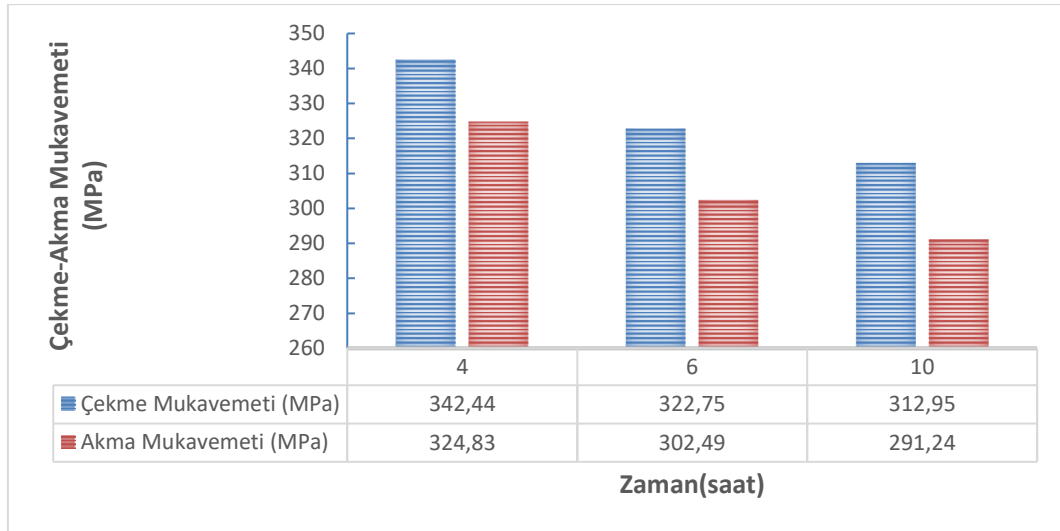
(a)



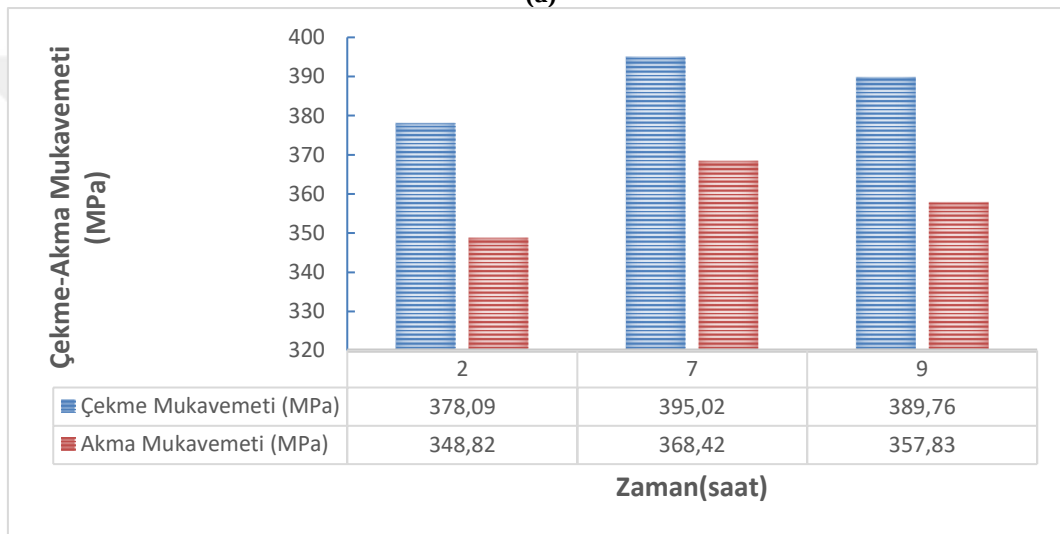
(b)

Şekil 6.10. 195°C sıcaklıkta **a.** 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği

AA6082 alaşımı için en yüksek çekme mukavemeti; 195°C sıcaklıkta 4 saat suni yaşlandırılan numunede 342,44 MPa olarak ölçülmüştür. Ortalama çekme mukavemeti 6 saat, en düşük çekme mukavemeti ise 10 saat suni yaşlandırılan numunede tespit edilmiştir. AA6056 alaşımında ise en yüksek çekme mukavemeti 7 saat suni yaşlandırılan numunede 395,02 MPa olarak belirlenmiş, ortalama çekme mukavemeti 9 saat, en düşük çekme mukavemeti ise 2 saat suni yaşlandırılan numunede elde edilmiştir. 195°C sıcaklıkta yapılan yaşlandırma işleminde yaşlandırma süresi arttıkça AA6082’de hem çekme hem de akma mukavemeti azalan yönde değişirken; AA6056 alaşımının çekme mukavemeti 7 saatlik suni yaşlandırma süresine kadar artış gösterip maksimum değere ulaştıktan sonra azalan yönde değişim göstermiştir.



(a)

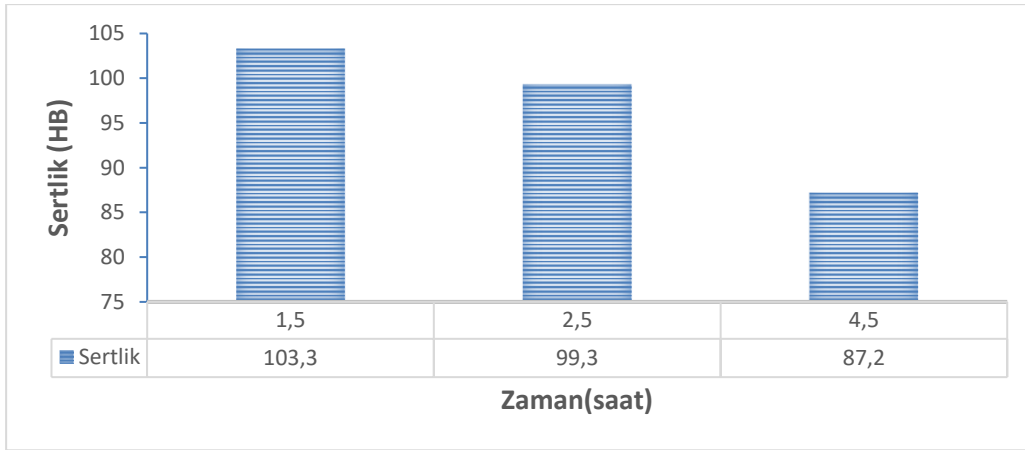


(b)

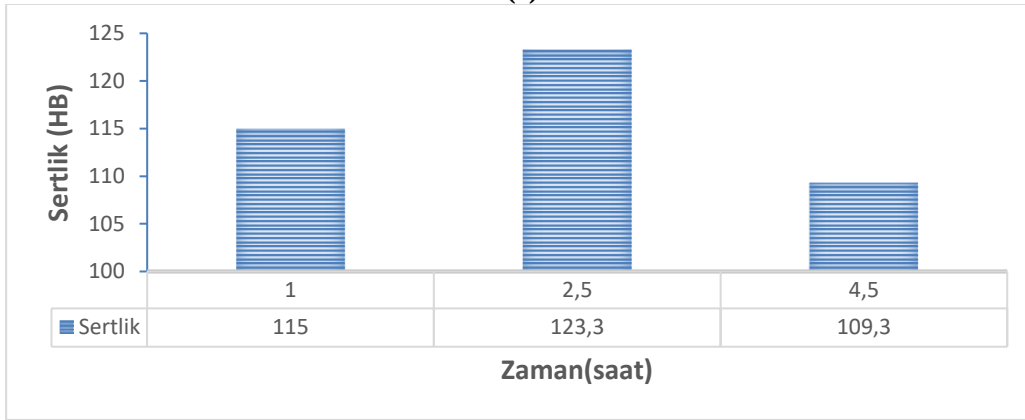
Şekil 6.11. 195°C sıcaklıkta **a.** 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri

6.1.2.5. 210°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

AA6082 alaşımının 210°C sıcaklıkta Tablo 6.3.'te verilen suni yaşlandırma süreleri içerisinde en yüksek, orta ve en düşük mukavemet değerlerinin elde edildiği süreler ve sürelerle karşılık gelen sertlik değerleri grafiği Şekil 6.12.a.'da, AA6056 alaşımı için ise Şekil 6.12.b.'de verilmiştir. 210°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait çekme deneyi sonuçları grafiği Şekil 6.13.a.'da, AA6056 alaşımına ait grafik ise Şekil 6.13.b.'de verilmiştir.



(a)

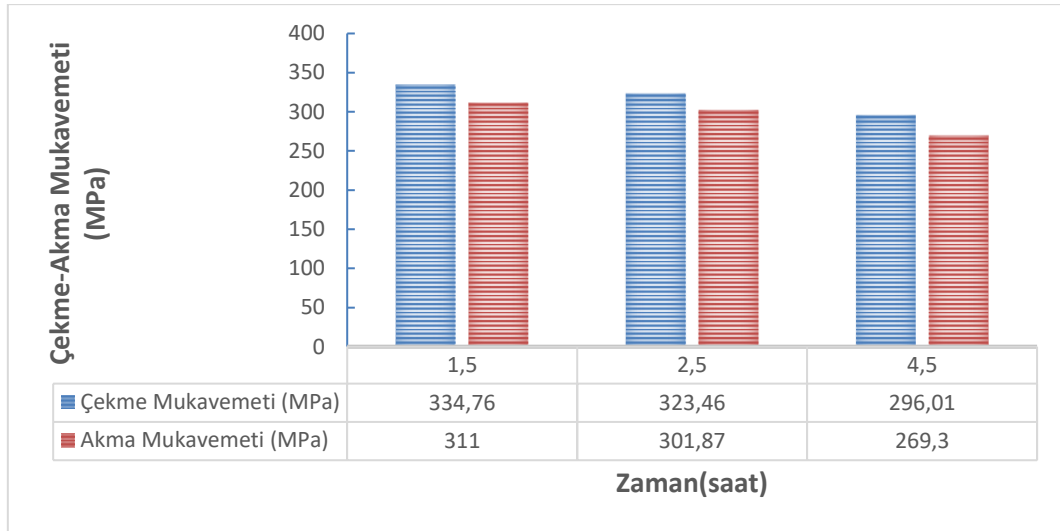


(b)

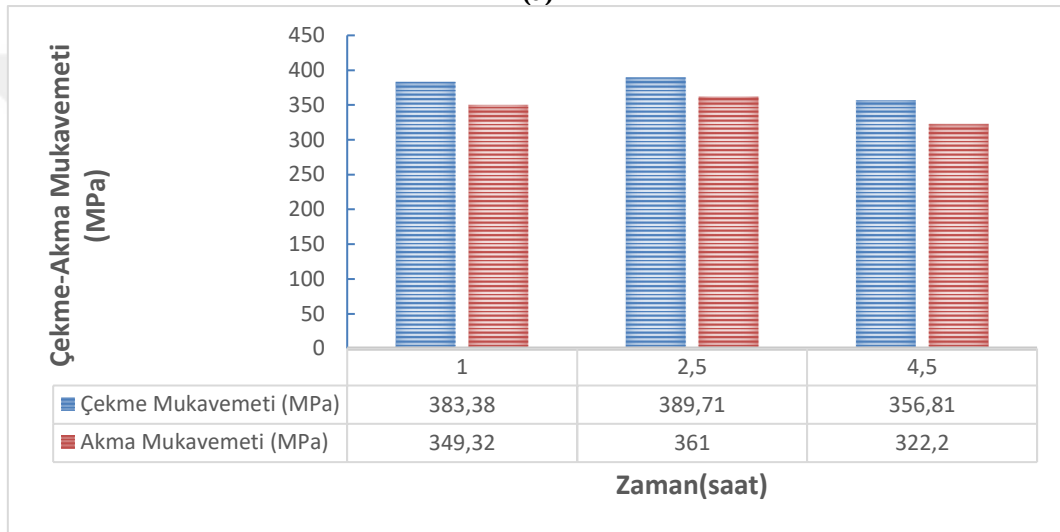
Şekil 6.12. 210°C sıcaklıkta **a.** 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait sertlik grafiği

AA6082 alaşımında 210°C sıcaklıkta gerçekleştirilen suni yaşlandırma işlem süreleri arttıkça sertlik değerleri düşerken, AA6056 alaşımında ise aynı sıcaklıkta en yüksek sertlik değeri 2,5 saatte elde edilmiştir. Süre arttıkça sertlik değerlerinin azalan yönde değiştiği gözlenmiştir.

AA6082 alaşımı için en yüksek çekme mukavemeti; 210°C sıcaklıkta 1,5 saat suni yaşlandırılan numunede 334,76 MPa olarak ölçülmüştür. Ortalama çekme mukavemeti 2,5 saat, en düşük çekme mukavemeti ise 4,5 saat suni yaşlandırılan numunede ölçülmüştür. AA6056 alaşımında ise en yüksek çekme mukavemeti 2,5 saat suni yaşlandırılan numunede 389,71 MPa olarak ölçülmüş olup, ortalama çekme mukavemeti 1 saat, en düşük çekme mukavemeti ise 4,5 saat suni yaşlandırılan numunede tespit edilmiştir. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işleminde de AA6056 alaşımının çekme ve akma mukavemeti değerlerinin daha yüksek değerlerde olduğu belirtilebilir.



(a)



(b)

Şekil 6.13. 210°C sıcaklıkta **a.** 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait çekme ve akma mukavemeti grafikleri

6.1.3. Üçüncü grup numuneler

AA6056 ve AA6082 alaşımları için ayrı ayrı en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemetinin belirlendiği sıcaklık ve süreler Tablo 6.4.'te ve mukavemet değerleri Tablo 6.5.'te verilmiştir. Tablo 6.4.'te AA6056 alaşımı kırmızı, AA6082 alaşımı mavi olarak işaretlenmiş ve yukarı bakan oklar en yüksek, aşağı bakan oklar ise en düşük çekme mukavemetinin elde edildiği sıcaklık ve süreleri temsil etmektedir. Ortalama çekme mukavemetleri için ise sadece kırmızı ve mavi daireler kullanılmıştır. AA6082 alaşımı için en yüksek sertlik ve mukavemet değerleri 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işleminde elde edilirken; AA6056 alaşımında ise en yüksek değerlere 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma ile ulaşılmıştır. En düşük değerler her iki

alaşım için 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde tespit edilmiştir.

Tablo 6. 4. Üçüncü grup numunelerin suni yaşlandırma süre ve sıcaklıkları.

210 °C	195 °C	180 °C	165 °C	150 °C
1h	2h 3h	4h	8h ●	12h
1,5h	4h	5h	10h	16h
2h	5h ●	6h	12h	20h
2,5h	6h	7h ● ↑	14h	24h
3h	7h	8h	16h	28h
3,5h	8h	9h	18h	32h
4h	9h	10h	20h	36h ● ↑
4,5h ● ↓ ● ↓	10h	11h		40h
		12h		

Tablo 6.5. AA6056 ve AA6082 alaşımlarına ait üçüncü grup numunelerin sertlik ve çekme deneyi sonuçları.

Alaşım	Sıcaklık (°C)	Süre (saat)	Sertlik (HB)	Çekme Mukavemeti (MPa)	Akma Mukavemeti (MPa)
AA 6082	150	36	107,3	365,4	321,49
	165	8	103,3	342,23	294,38
	210	4,5	87,2	296,01	269,30
AA 6056	180	7	130	417,30	385,00
	195	5	117,3	391,72	361,50
	210	4,5	109,3	356,81	322,20

AA6056 alaşımı için tüm veri grubunda en yüksek çekme mukavemeti 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırılan numunede 417,30 MPa, akma mukavemeti 385,00 MPa, sertlik değeri ise 130 HB olarak ölçülmüştür. Ortalama çekme mukavemeti 195°C sıcaklıkta 5 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunede 391,72 MPa olarak ölçülmüştür. Bu sıcaklık ve süreye karşılık gelen akma mukavemeti 361,50 MPa, sertlik değeri ise 117,3 HB'dir. AA6056 alaşımında farklı sıcaklık ve sürelerde yaşlandırılan numuneler içerisinde en düşük çekme mukavemetine sahip olan numune 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunede 356,81 MPa olarak belirlenmiştir. Akma mukavemeti 322,20 MPa, sertlik değeri ise 109,33 HB'dir.

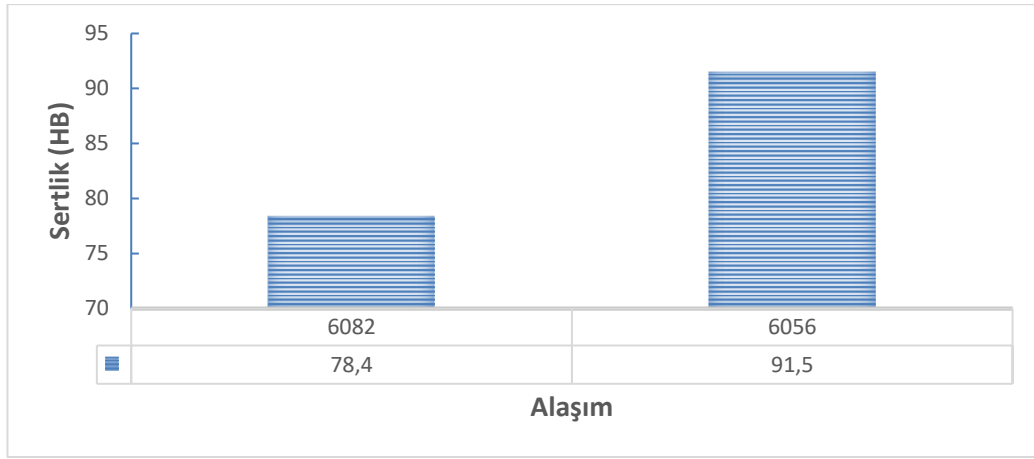
AA6082 alaşımında 150°C sıcaklıkta ve 36 saat yapılan suni yaşlandırma işleminde en yüksek çekme mukavemeti değeri 365,40 MPa, akma mukavemeti değeri 321,49 MPa ve sertlik değeri ise 107,33 HB olarak ölçülmüştür. Ortalama çekme mukavemeti

165°C sıcaklıkta, 8 saatte yapılan suni yaşlandırma işleminde 342,23 MPa, akma mukavemeti 294,38 MPa, sertlik ise 103,33 HB olarak belirlenmiştir. En düşük çekme mukavemetinin elde edildiği süre 4,5 saat ve suni yaşlandırma sıcaklığı 210°C olup; çekme mukavemeti 296,01 MPa, akma mukavemeti 269,30 MPa ve sertlik değeri ise 87,2 HB olarak tespit edilmiştir.

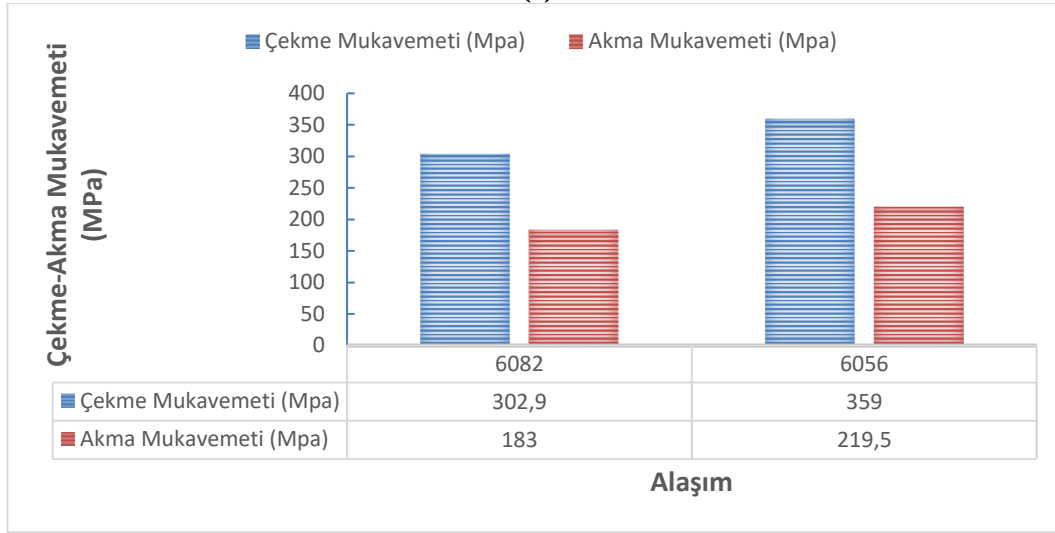
- 1- Üçüncü grup numunelerin sınıflandırması Tablo 6.4.'te verilen suni yaşlandırma işlem parametrelerinin tamamı içerisinde, alaşım bazında en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemet değerlerinin elde edildiği numuneler kullanılarak yapılmıştır. Üçüncü grup olarak belirlenen numunelerin yaşlandırma parametreleri farklı olmakla beraber en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemeti olarak sınıflandırılmış grupta en yüksek mekanik değerler AA6056 alaşımında elde edilmiştir. Bu durumu tane boyutu ve mikroyapısal modifikasyon ile açıklamak mümkündür (Eken, 2016). Aynı zamanda çökeltme sertleştirilmesi de mekanik özellikleri etkilemektedir. Çökeltme için gerekli zaman, alaşımın bileşimi ve sıcaklık ile ilgilidir. Çökeltmenin mekanik özelliklere yapacağı etki, çökelti faz miktarına, boyutlarına ve dağılımına bağlıdır (Ak, 2012). AA6056 ve AA6082 alaşımlarının sahip olduğu farklı çökelti faz yapıları; SEM ve EDS incelemeleri ve XRD faz analizi sonuçları ile birlikte detaylı olarak yorumlanacaktır.

6.1.4. Dördüncü grup numuneler

Oda sıcaklığında 3 ay süre ile doğal yaşlandırma için bekletilen AA6056 ve AA6082 numunelerine ait sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri Şekil 6.14.'te verilmiştir.



(a)



(b)

şekil 6.14. Oda sıcaklığında 3 ay doğal yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 numunelere ait **a.** sertlik ve **b.** çekme ve akma mukavemeti grafikleri

Doğal yaşlanma sonucunda AA6082 alaşımı 78,4 HB sertlik değerine, AA6056 alaşımı ise 91,5HB sertlik değerine ulaşmıştır. Çekme mukavemeti 359,00 MPa ve akma mukavemeti değeri 219,5 MPa olan AA6056 numunesinin, çekme mukavemeti 302,9 MPa ve akma mukavemeti değeri 183,00 MPa olan AA6082 numunesine göre daha yüksek mekanik özellikler gösterdiği tespit edilmiştir.

6.2. Optik Mikroyapı Analizleri

6.2.1. Birinci grup numuneler

6.2.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler

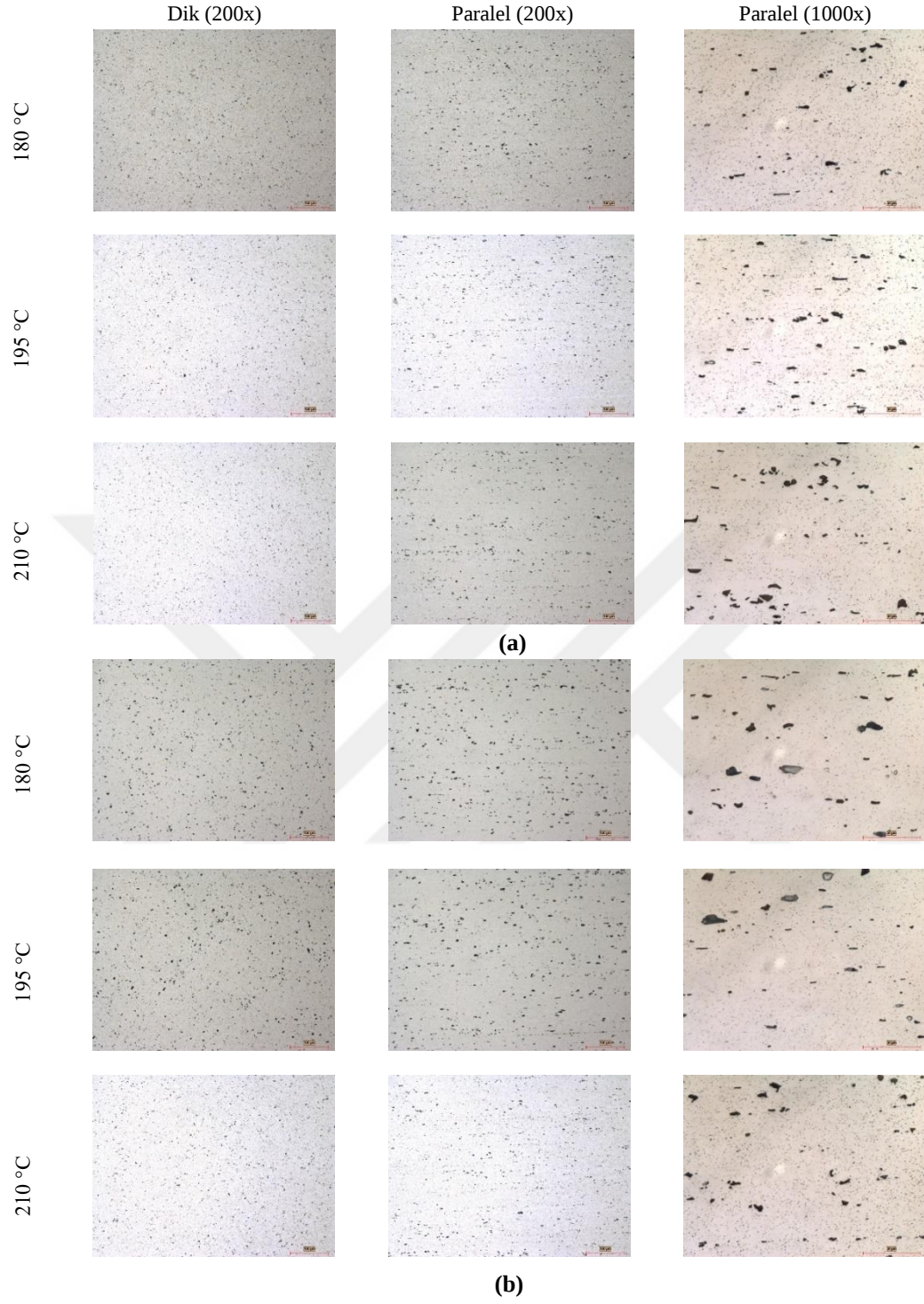
şekil 6.15.a.'da 180°C, 195°C ve 210°C'lerde dört saat yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelemlerde verilmiştir.

Şekil 6.15.b.'de 180°C, 195°C ve 210°C'lerde dört saat yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir. Optik mikroyapı görüntüleri incelendiğinde; ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olarak hazırlanan numunelerin benzer davranış gösterdiği, daha yüksek büyütmelerde ise yapıdaki çökelti fazları ve fazların yapıdaki dağılımları gözlenlenmiş olup; AA6056 alaşımındaki çökelti partiküllerinin yapıdaki dağılımının düşük büyütmelerde bile daha belirgin olduğu ve homojen dağılım gösterdiği belirtilebilir. Bu yapılar SEM-EDS analizleri ile detaylandırılmıştır.

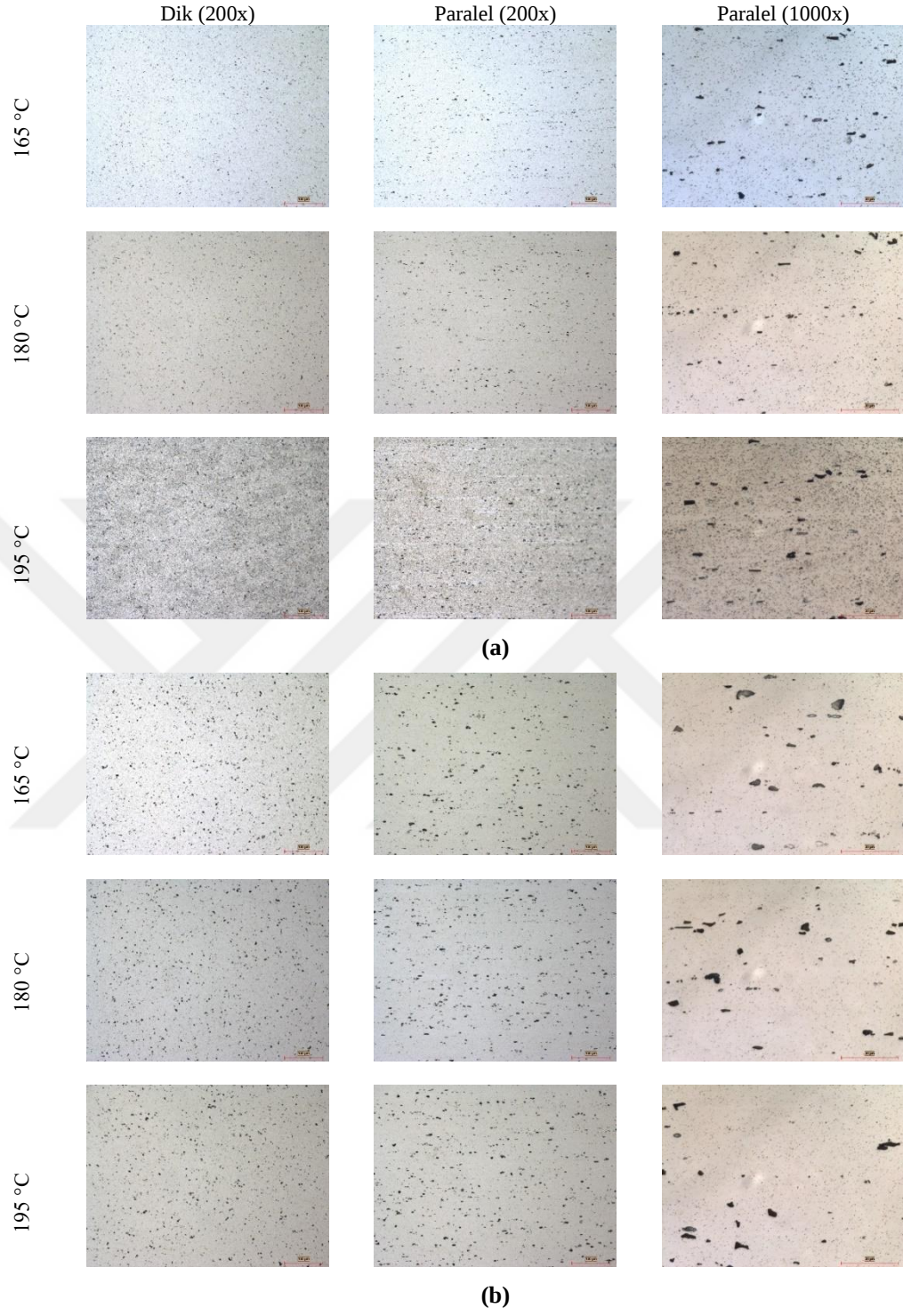
6.2.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler

Şekil 6.16.a.'da 165°C, 180°C ve 195°C'lerde sekiz saat yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

Şekil 6.16.b.'de 165°C, 180°C ve 195°C'lerde sekiz saat yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.



Şekil 6.15. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat suni yaşlandırılan **a.** AA6082 ve **b.** AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.16. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat yaşlandırılan **a.** AA6082 ve **b.** AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri

6.2.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler

şekil 6.17.a.'da 150°C, 165°C ve 180°C'lerde on iki saat yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

şekil 6.17.b.'de 150°C, 165°C ve 180°C'lerde on iki saat yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

6.2.2. İkinci grup numuneler

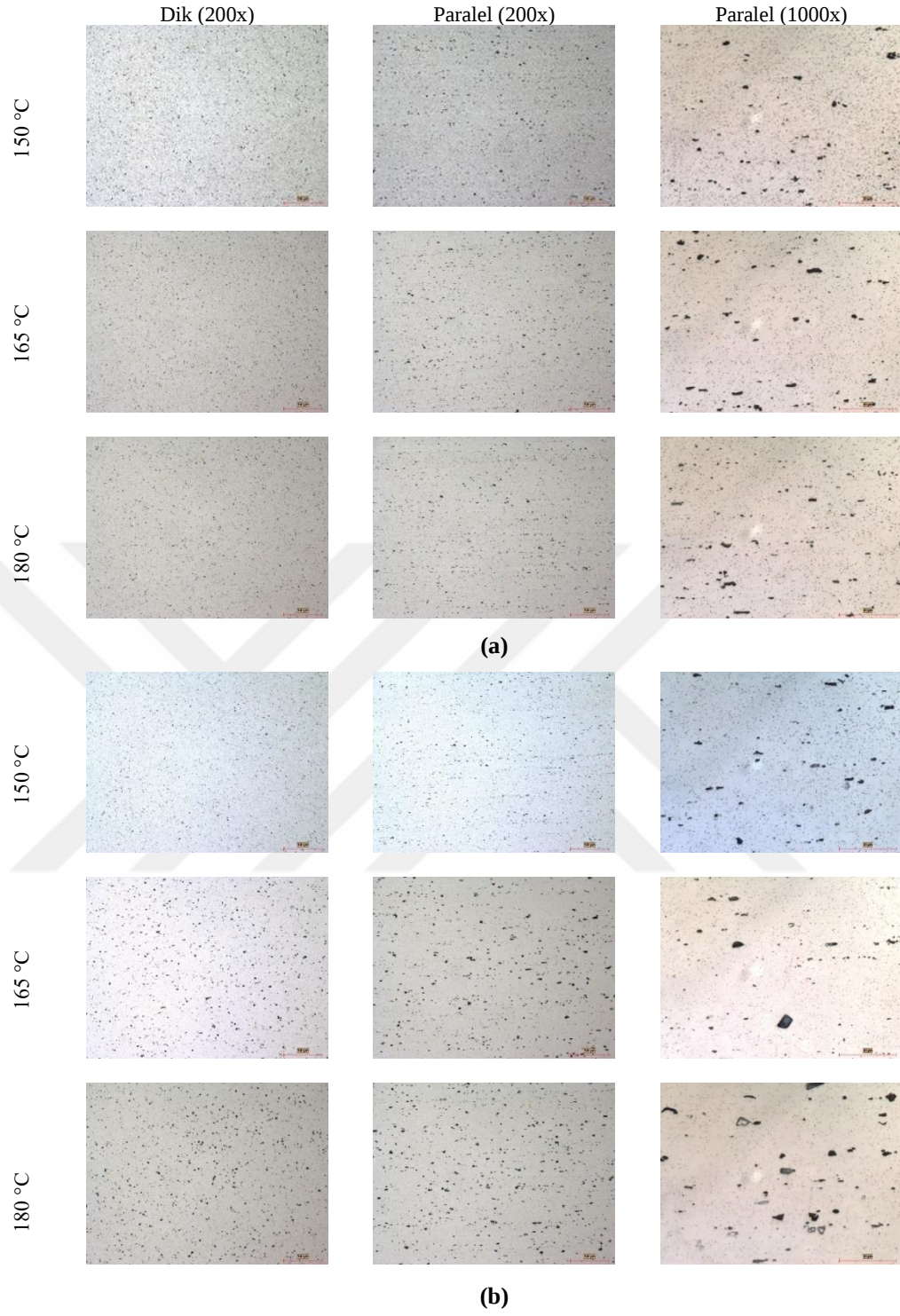
6.2.2.1 150°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

şekil 6.18.a.'da 150°C sıcaklıkta 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir. şekil 6.18.b.'de 150°C sıcaklıkta 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

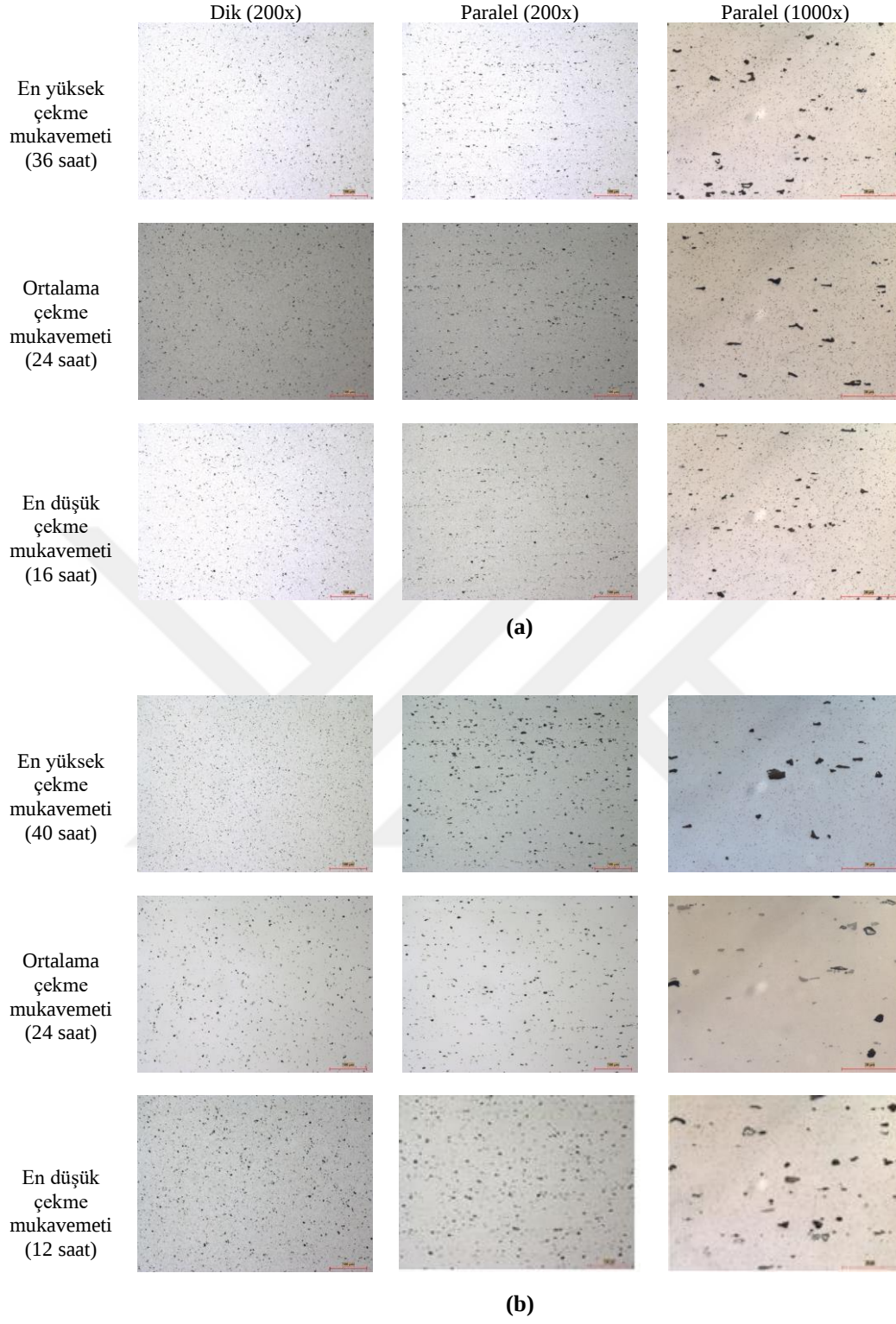
6.2.2.2. 165°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

şekil 6.19.a.'da 165°C sıcaklıkta 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

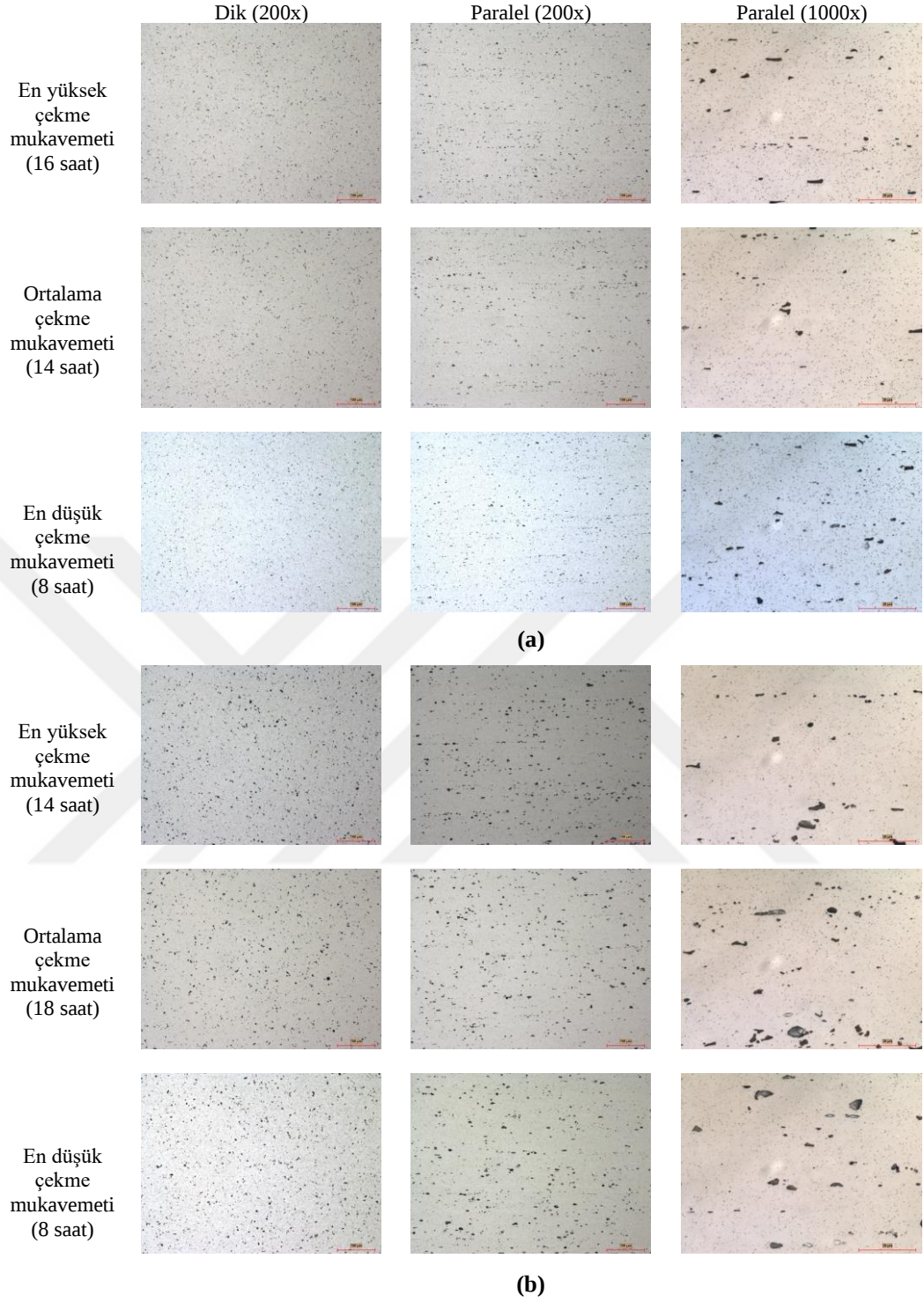
şekil 6.19.b.'de 165°C sıcaklıkta 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.



Şekil 6.17. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat yaşlandırılan **a.** AA6082 ve **b.** AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.18. 150°C sıcaklıkta **a.** 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.19. 165°C sıcaklıkta **a.** 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri

6.2.2.3. 180°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

Şekil 6.20.a.'da 180°C sıcaklıkta 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

Şekil 6.20.b.'de 180°C sıcaklıkta 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

6.2.2.4. 195°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

Şekil 6.21.a.'da 195°C sıcaklıkta 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

Şekil 6.21.b.'de 195°C sıcaklıkta 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

6.2.2.5. 210°C sıcaklıkta suni yaşlandırılan numuneler

Şekil 6.22.a.'da 210°C sıcaklıkta 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

Şekil 6.22.b.'de 210°C sıcaklıkta 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 alaşımına ait optik mikroyapı görüntüleri ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

6.2.3. Üçüncü grup numuneler

Üçüncü grup AA6082 alaşımı numunelere ait optik mikroyapı görüntüleri Şekil 6.23.a.'da ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

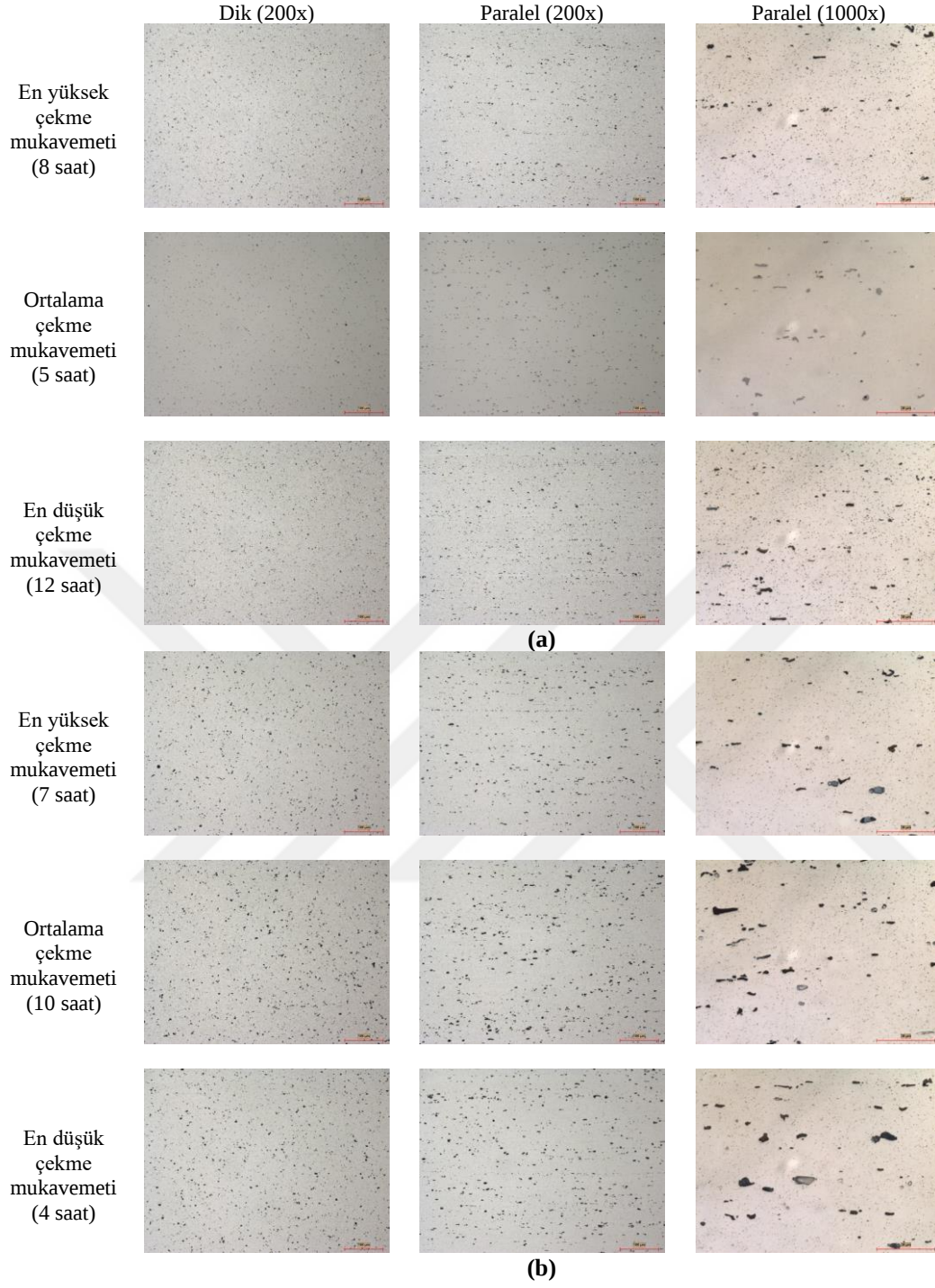
Üçüncü grup AA6056 alaşımı numunelere ait optik mikroyapı görüntüleri Şekil 6.23.b.'de ekstrüzyon yönüne dik olarak 200x büyütmede ve paralel olarak ise 200x ve 1000x büyütmelerde verilmiştir.

Birinci, ikinci ve üçüncü grup numunelere ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olmak üzere optik mikroyapı incelemeleri yapılmıştır. Birinci grup numuneler Şekil 6.15.'ten Şekil 6.18.'e kadar, ikinci grup numuneler Şekil 6.18-6.22 arasında, üçüncü grup

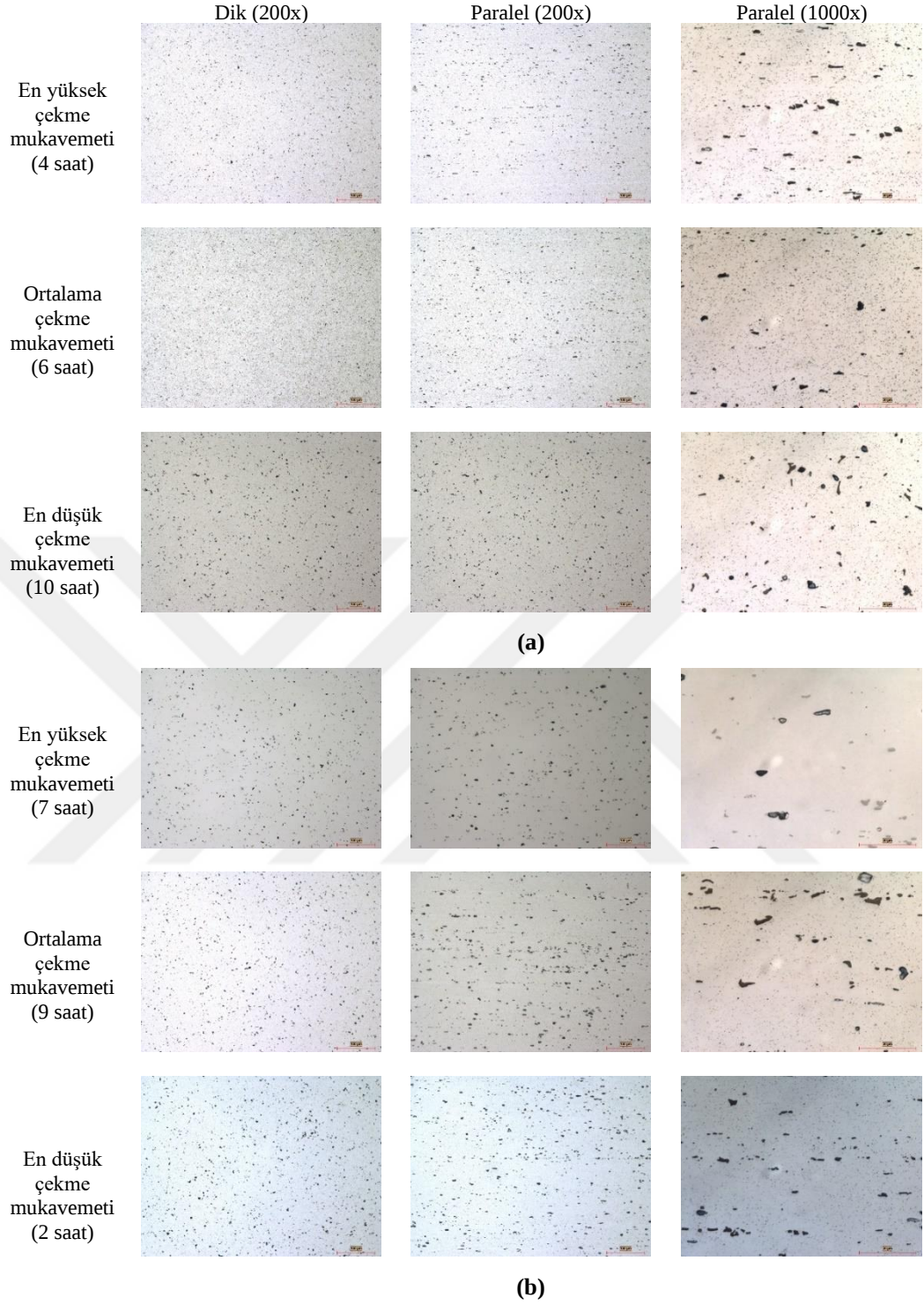
numuneler Şekil 6.23.'te ve dördüncü gruba ait olan mikroyapı görselleri ise Şekil 6.24.'te verilmiştir. Suni yaşlandırma yapılan tüm numunelerin mekanik test sonuçlarından elde edilen sonuçlar ile mikroyapı görsellerinin karşılaştırılması amaçlanmıştır. Optik incelemeler sonucunda yapıda farklı boyut ve şekillerde çökeltilerin mevcut olduğu görülmüştür. En yüksek sertlik ve mekanik özelliklerin tespit edildiği numunelerde bu çökeltilerin daha homojen dağılım gösterdiği belirtilebilir. Kullanılan tüm suni yaşlandırma reçetelerinde, oluşan çökelti partiküllerinin AA6056 alaşımında AA6082 alaşımına göre daha belirgin ve homojen dağılım sergilediği söylenebilir. SEM mikroyapı analizi ile hem oluşan çökeltiler hem de matris yapı detaylı olarak incelenmiştir.

6.2.4. Doğal yaşlandırma

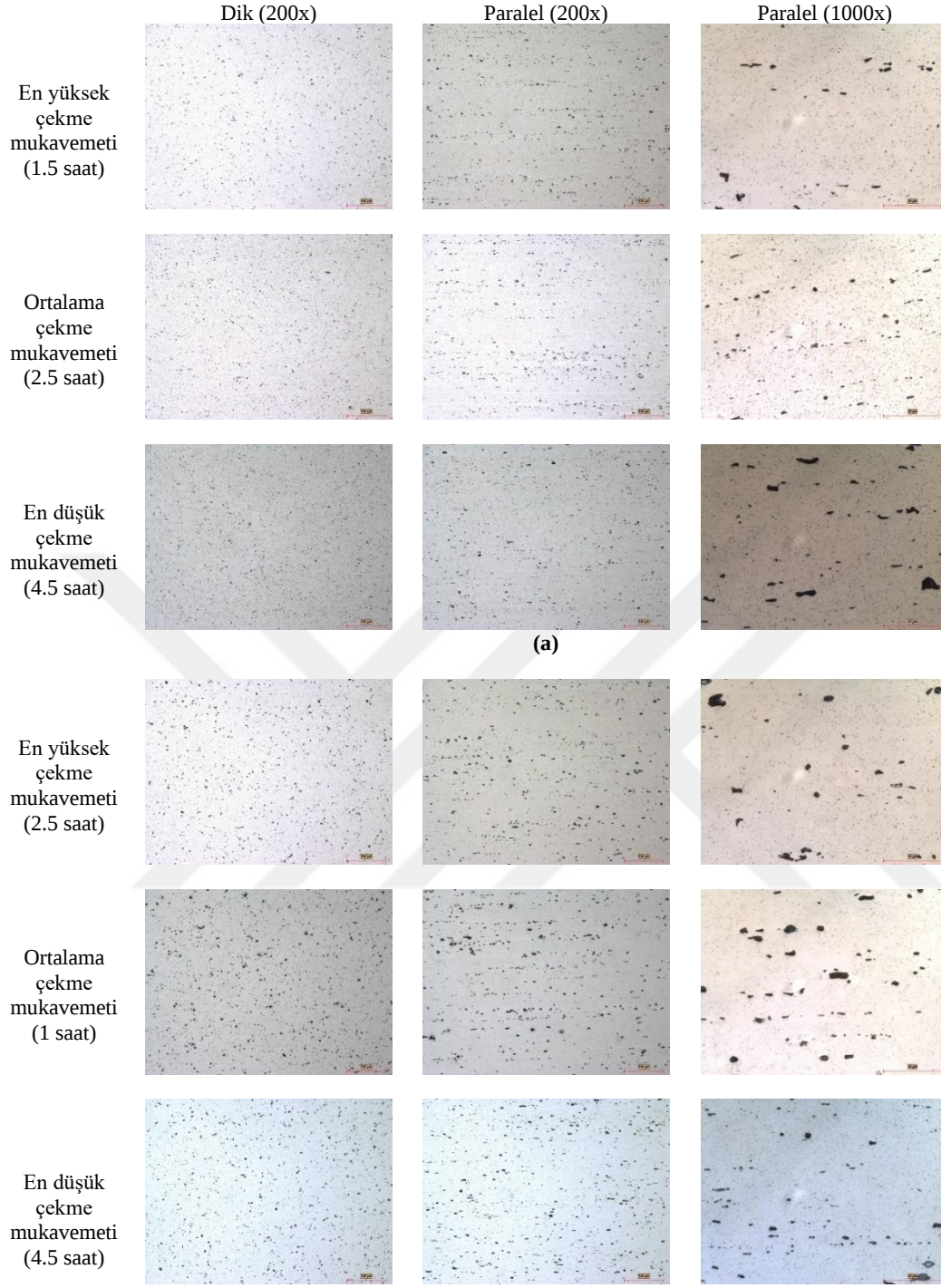
Oda sıcaklığında 3 ay süre ile doğal yaşlandırılan numunelerin ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olarak incelenen kesitlerinden alınan optik mikroyapı görüntüleri Şekil 6.24.'te verilmiştir. Şekildeki mikroyapılardan dik ve paralel kesitlerdeki numune yapısında düşük büyütme ölçeklerinde AA6056 alaşımında çökeltilerin daha belirgin olarak görüldüğü ve yapıda homojen olarak dağılım gösterdiği gözlenmiştir.



Şekil 6.20. 180°C sıcaklıkta **a.** 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri

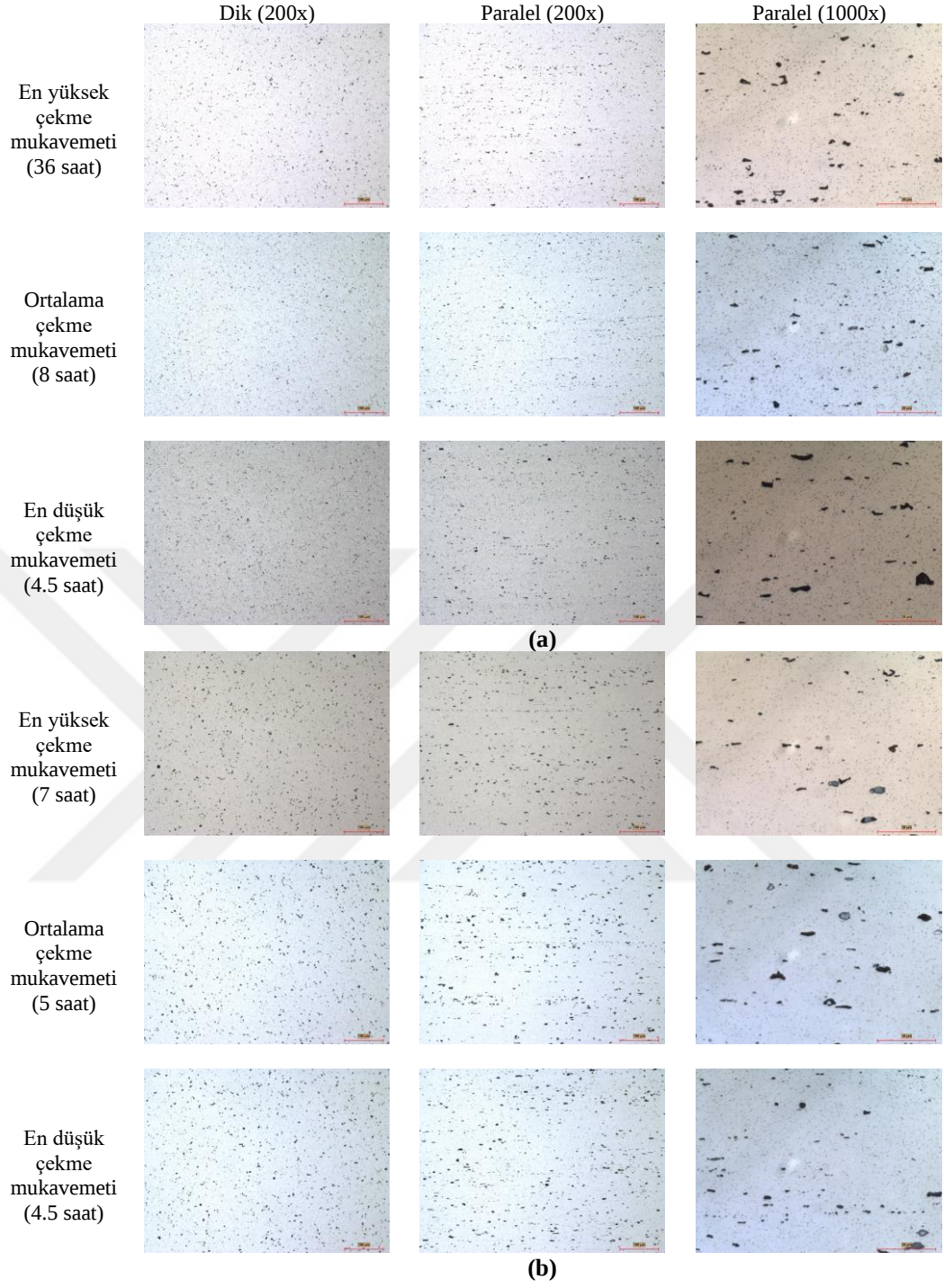


Şekil 6.21. 195°C sıcaklıkta **a.** 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri

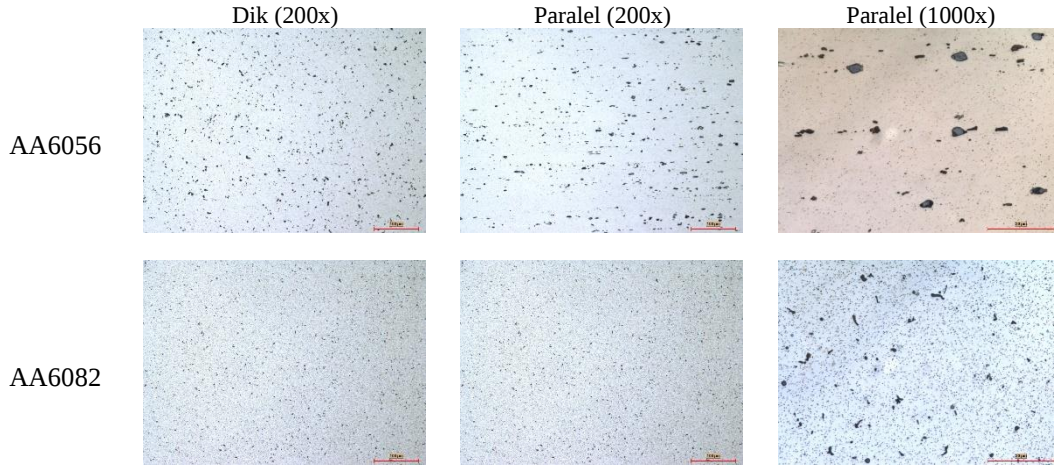


(b)

Şekil 6.22. 210°C sıcaklıkta **a.** 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 ve **b.** 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelerine ait optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.23. a. AA6082 ve b. AA6056 alaşımlarına ait en yüksek, orta ve en düşük çekme mukavemetinin tespit edildiği suni yaşlandırma sıcaklık ve sürelerindeki optik mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.24. 3 ay oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemi için bekletilen AA6056 ve AA6082 numunelerin optik mikroyapı görüntüleri

6.3. SEM Mikroyapı Analizleri

6.3.1. Birinci grup numuneler

6.3.1.1. Dört saat yaşlandırılan numuneler

Dört saat süre ile 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda suni yaşlandırma işlemi uygulanan AA6056 ve AA6082 numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede sırası ile 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde çekilmiştir. Şekil 6.25.'te her iki alaşıma ait SEM mikroyapı görüntüleri 4 saat süre ve 3 farklı sıcaklık için toplu olarak verilmiştir.

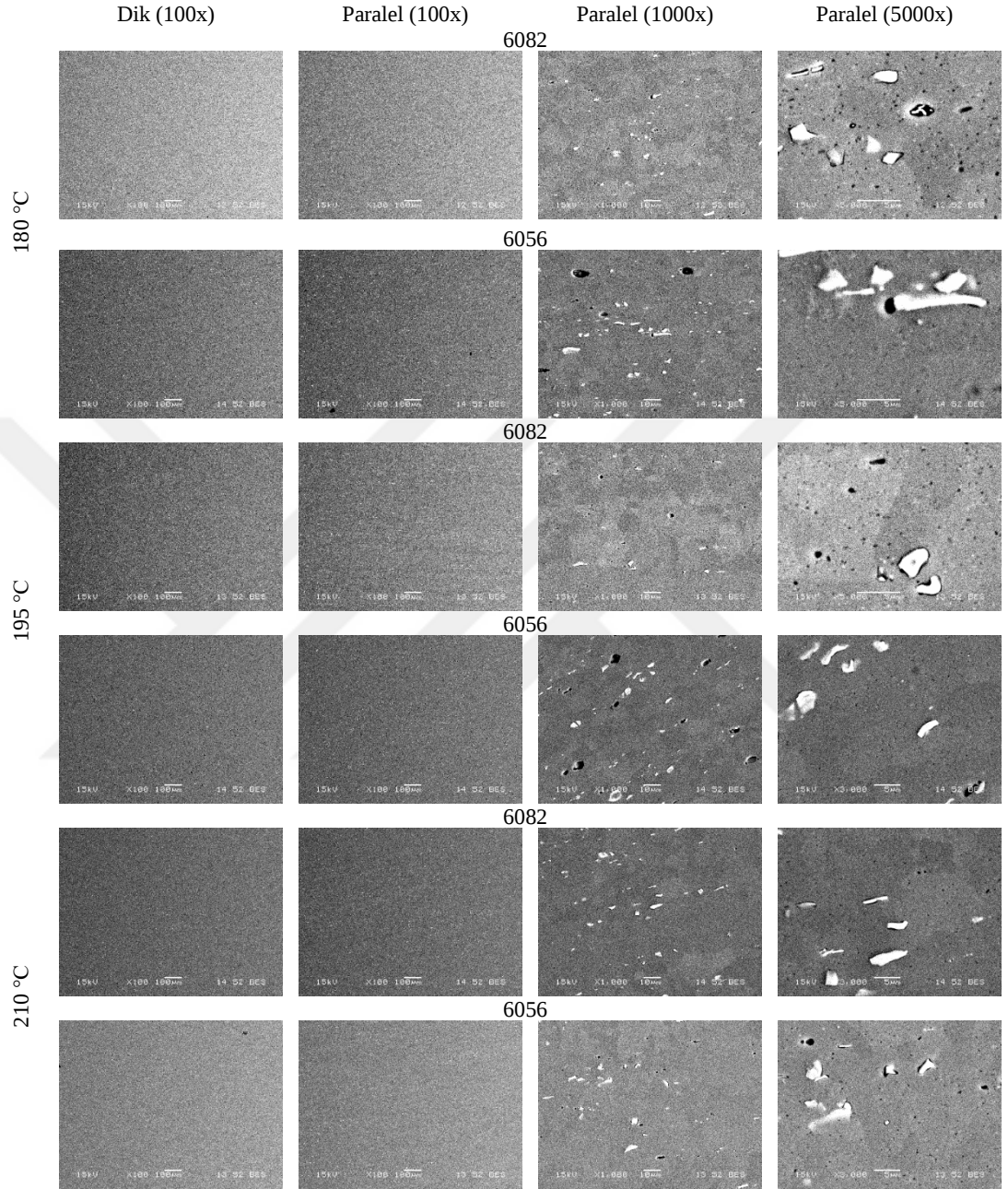
6.3.1.2. Sekiz saat yaşlandırılan numuneler

Sekiz saat süre ile 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda suni yaşlandırma işlemi uygulanan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede sırası ile 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.26.'da verilmiştir.

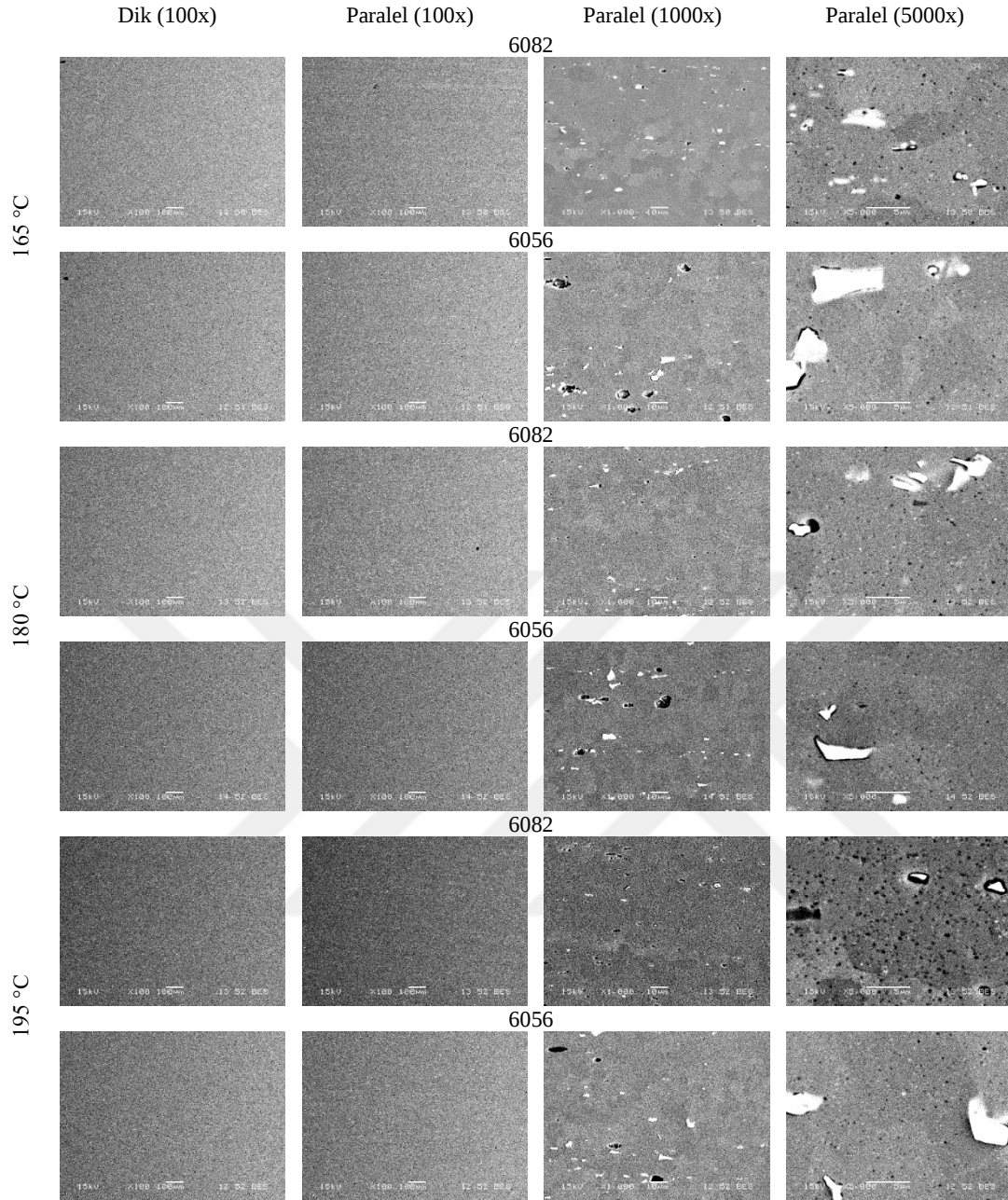
6.3.1.3. On iki saat yaşlandırılan numuneler

On iki saat süre ile 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda suni yaşlandırma işlemi uygulanan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel

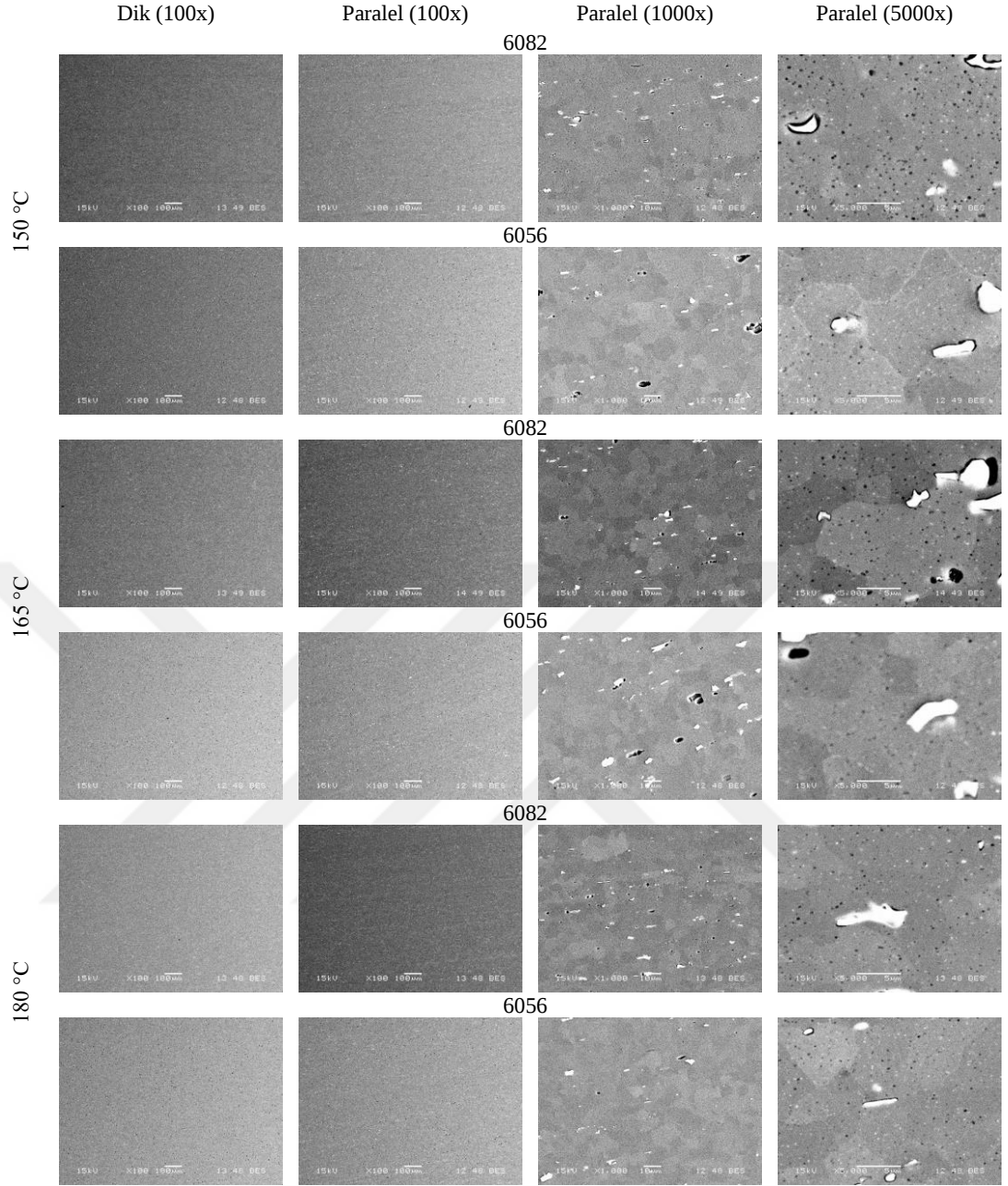
olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.27.'de görülmektedir.



Şekil 6.25. 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklarda 4 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.26. 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklarda 8 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.27. 150°C, 165°C ve 180°C sıcaklıklarda 12 saat yaşlandırılan AA6056 ve AA6082 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri

6.3.2. İkinci grup numuneler

6.3.2.1 150°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler

150°C sıcaklıkta AA6082 alaşımı için 16, 24 ve 36 saatlerde; AA6056 alaşımı için 12, 24 ve 40 saatlerde suni yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.28.'de verilmiştir.

6.3.2.2. 165°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler

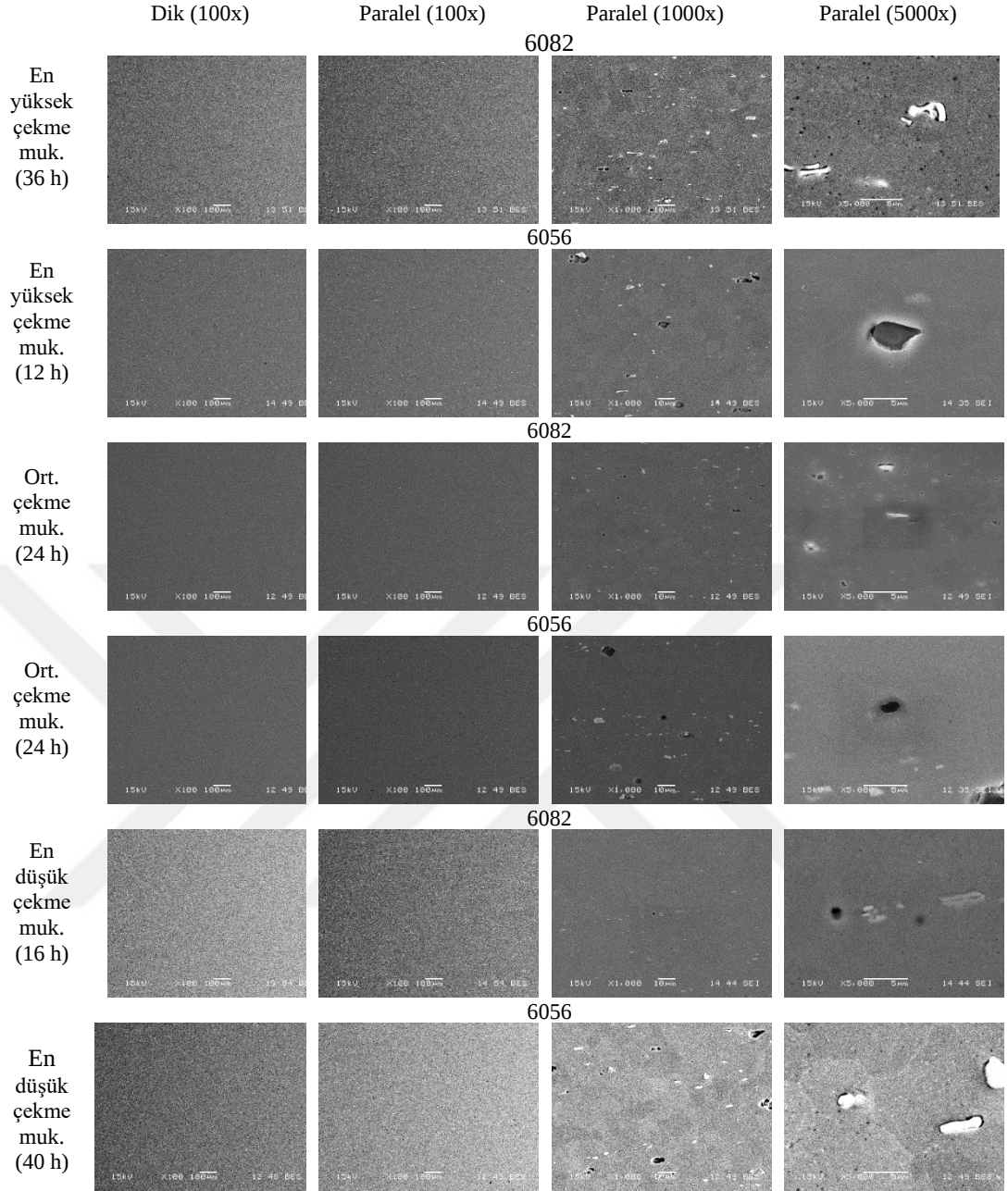
165°C sıcaklıkta AA6082 alaşımı için 8, 14 ve 16 saatlerde; AA6056 alaşımı için 8, 14 ve 18 saatlerde suni yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.29.'da verilmiştir.

6.3.2.3. 180°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler

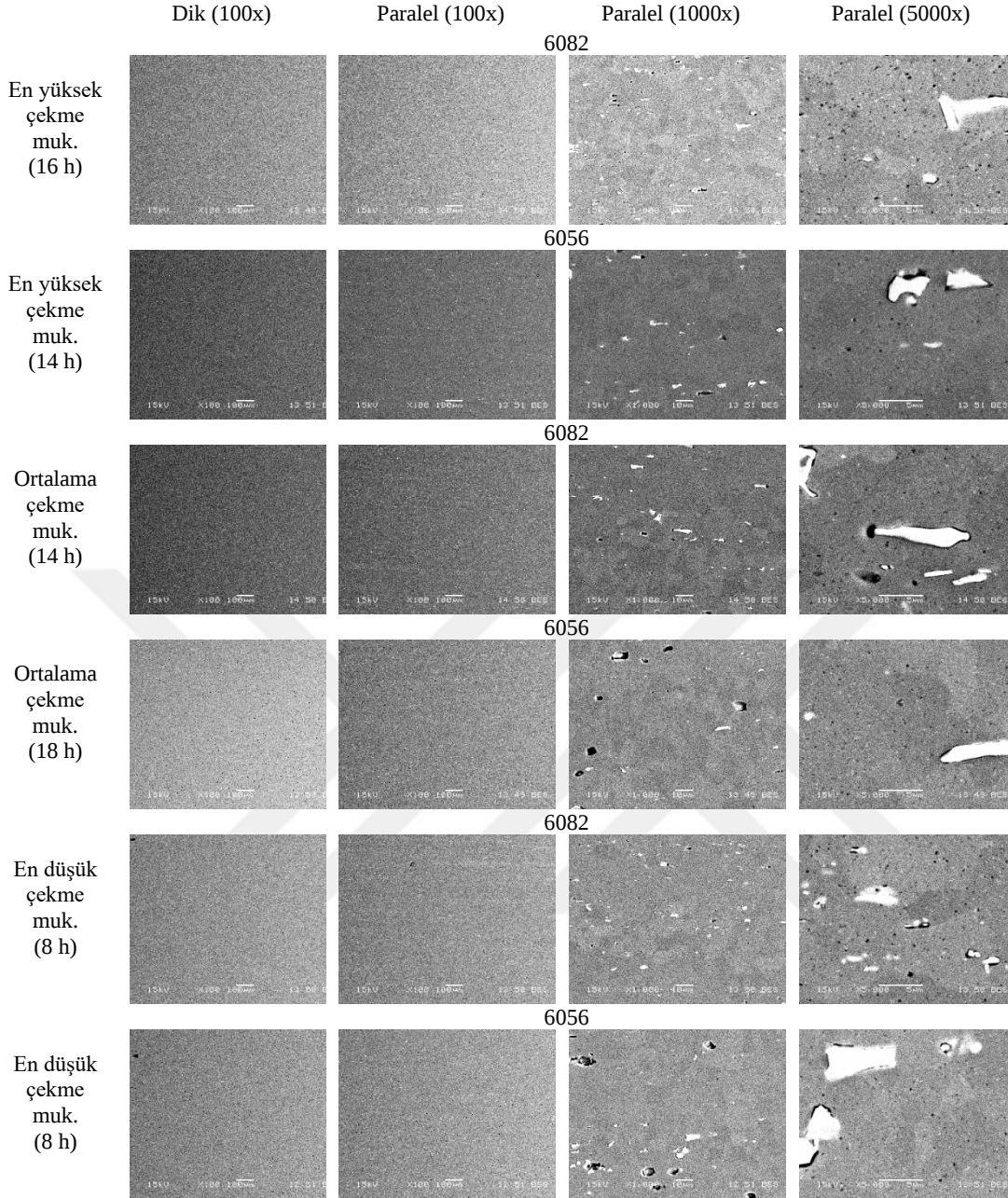
180°C sıcaklıkta AA6082 alaşımı için 5, 8 ve 12 saatlerde; AA6056 alaşımı için 4, 7 ve 10 saatlerde suni yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.30.'da verilmiştir.

6.3.2.4. 195°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler

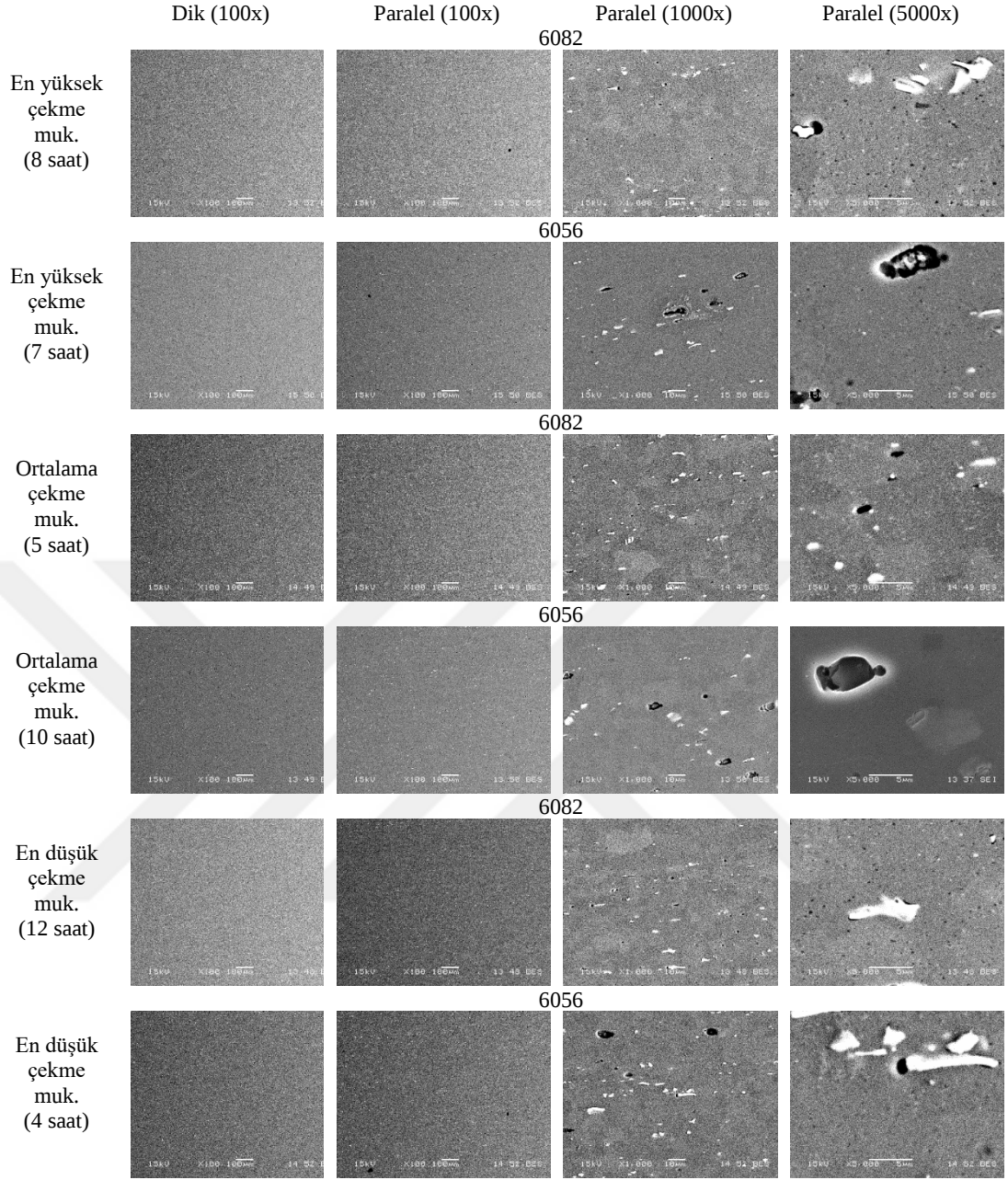
195°C sıcaklıkta AA6082 alaşımı için 4, 6 ve 10 saatlerde; AA6056 alaşımı için 2, 7 ve 9 saatlerde suni yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.31.'de verilmiştir.



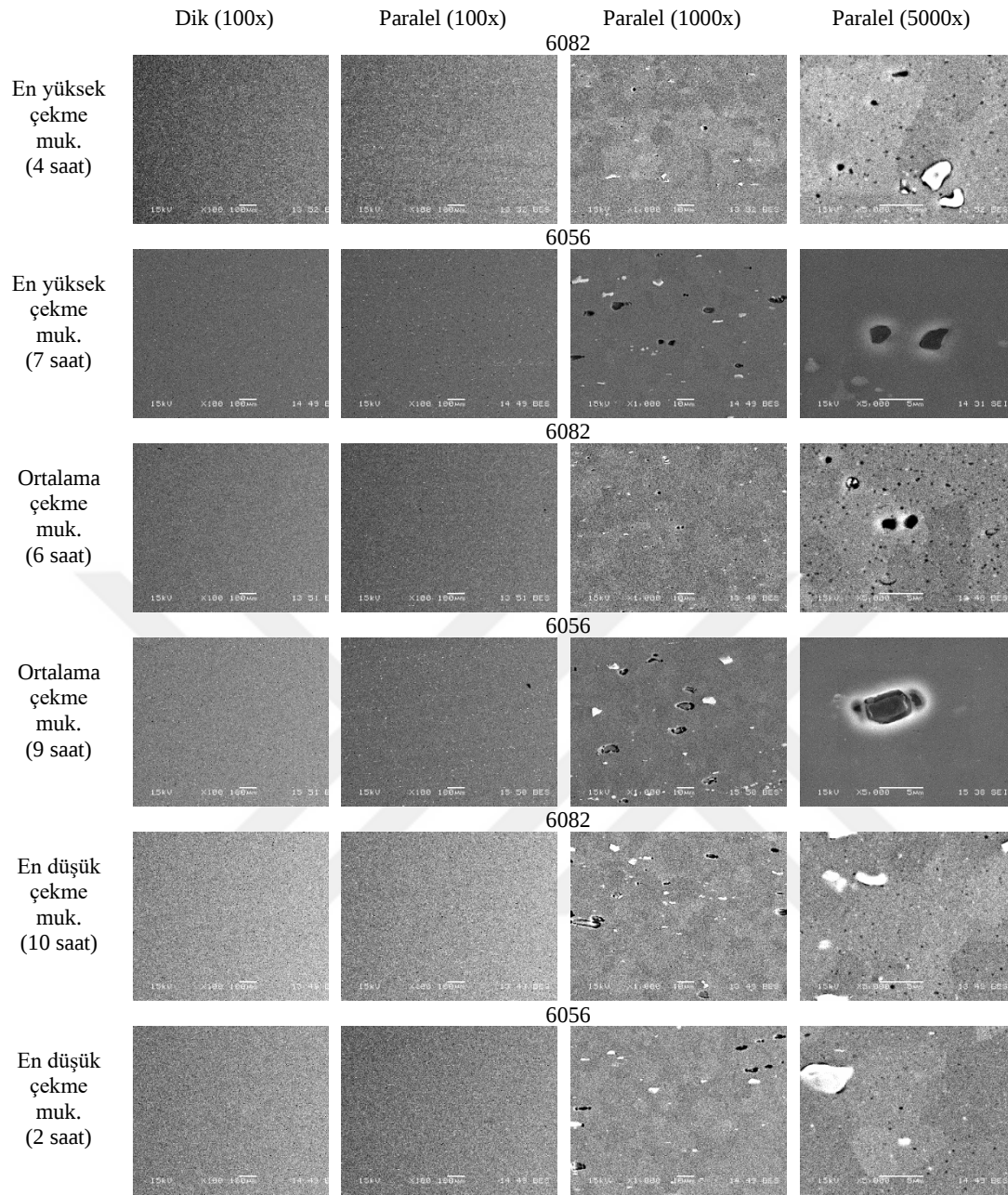
Şekil 6.28. 150°C sıcaklıkta 12, 24 ve 40 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 16, 24 ve 36 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



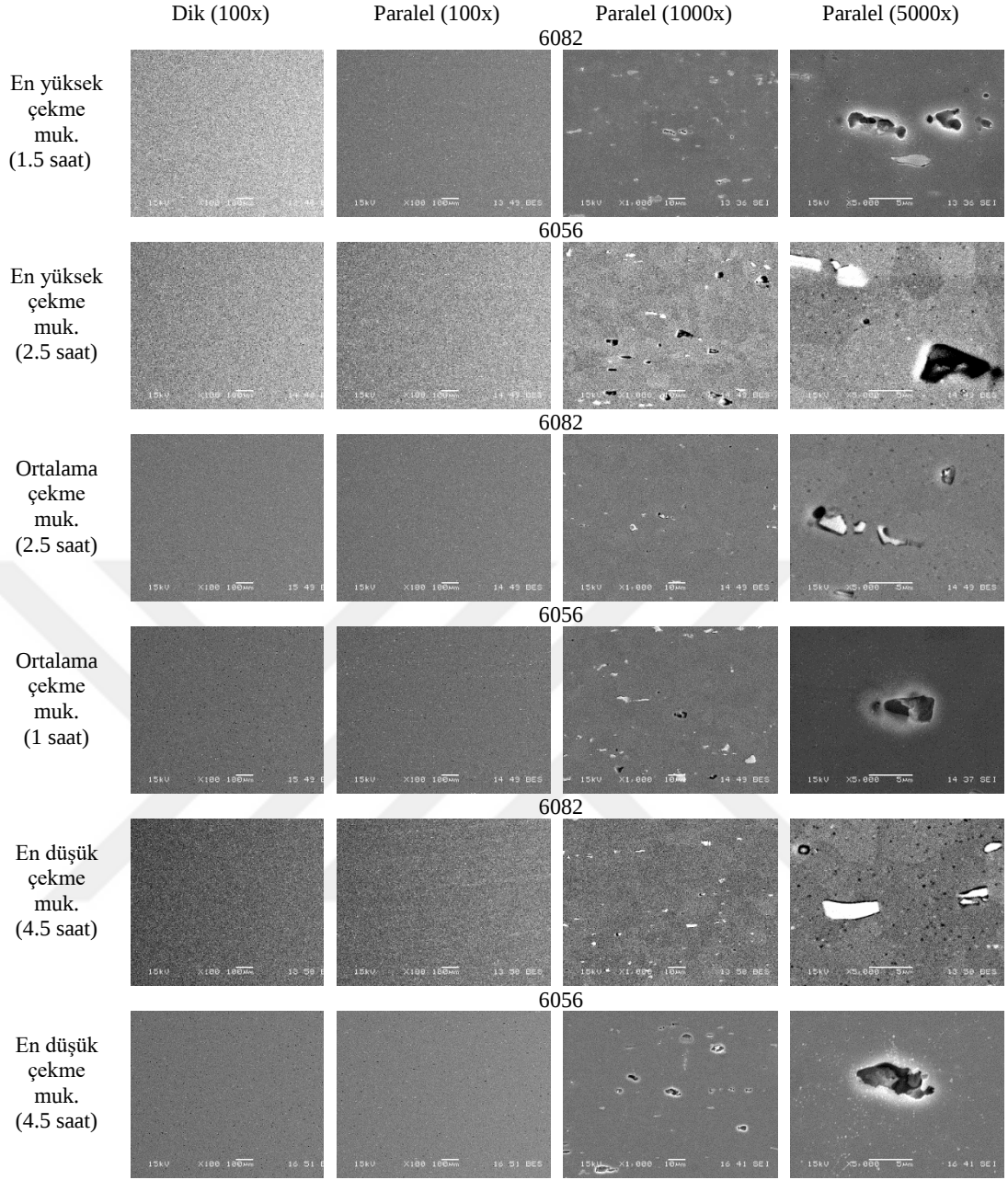
Şekil 6.29. 165°C sıcaklıkta 8, 14 ve 18 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 8, 14 ve 16 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.30. 180°C sıcaklıkta 4, 7 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 5, 8 ve 12 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.31. 195°C sıcaklıkta 2, 7 ve 9 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 4, 6 ve 10 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.32. 210°C sıcaklıkta 1, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6056 ve 1,5, 2,5 ve 4,5 saat suni yaşlandırılan AA6082 numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri

6.3.2.5. 210°C sıcaklıkta yaşlandırılan AA6082 ve AA6056 numuneler

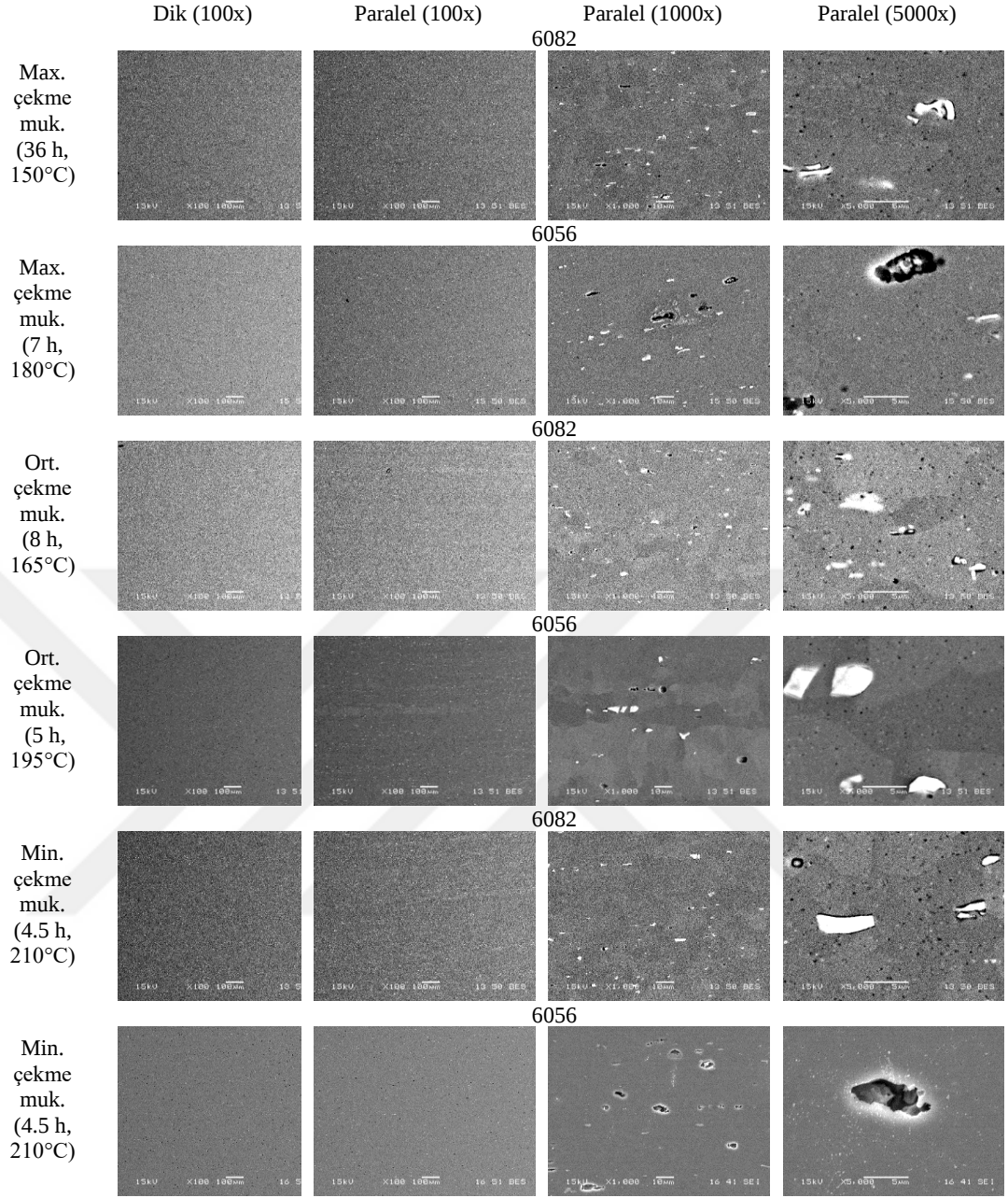
210°C sıcaklıkta AA6082 alaşımı için 1,5, 2,5 ve 4,5 saatlerde; AA6056 alaşımı için 1, 2,5 ve 4,5 saatlerde suni yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin SEM görüntüleri; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde Şekil 6.32.'de verilmiştir.

6.3.3. Üçüncü grup numuneler

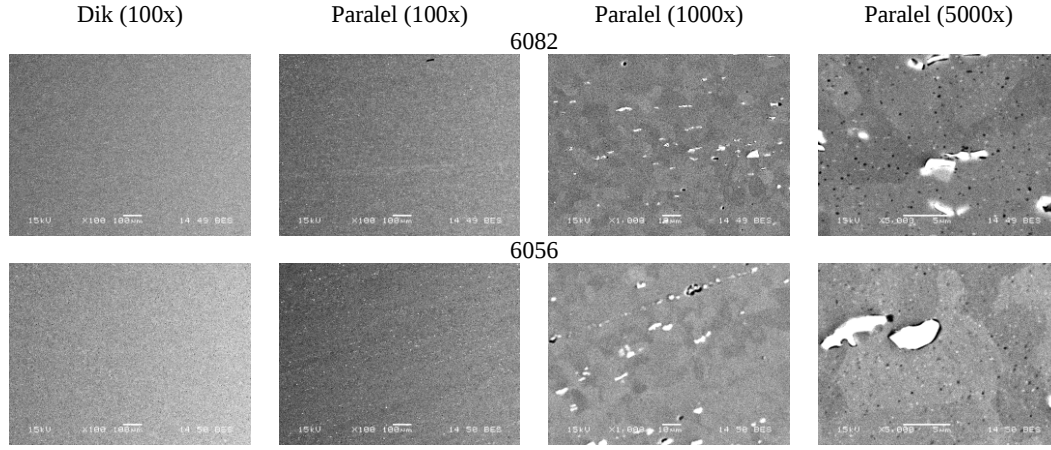
Üçüncü grup AA6082 ve AA6056 alaşımlı numunelere ait SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 6.33.'te verilmiş olup; ekstrüzyon yönüne dik olarak alınan numunede 100x büyütmede, ekstrüzyon yönüne paralel olarak alınan numunede 100x, 1000x ve 5000x büyütmelerde çekilmiştir. AA6082 alaşımı için 150°C sıcaklıkta 36 saat, 165°C sıcaklıkta 8 saat ve 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan numunelere ait olan SEM görüntüleri ve AA6056 alaşımı için ise 180°C sıcaklıkta 7 saat, 195°C sıcaklıkta 5 saat ve 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan numunelere ait olan SEM görüntüleri Şekil 6.33.'te verilmiştir.

6.3.4 Dördüncü grup numuneler

Oda sıcaklığında 3 ay süre ile doğal yaşlandırılan numunelerin ekstrüzyon yönüne dik ve paralel olarak incelenen kesitlerinden alınan SEM mikroyapı görüntüleri Şekil 6.34.'te verilmiştir.



Şekil 6.33. AA6082 ve AA6056 alaşımlarına ait üçüncü grup numunelerin SEM mikroyapı görüntüleri



Şekil 6.34. 3 ay oda sıcaklığında doğal yaşlandırma işlemi için bekletilen AA6056 ve AA6082 numunelerin SEM görüntüleri

Optik incelemelere ilave olarak tüm deney gruplarına SEM incelemeleri yapılmıştır. Yapılan SEM incelemelerinde farklı sıcaklık ve sürelerde yapılan yaşlandırma işlemleri sonucunda yapıda farklı boyut ve şekillerde çökeltilerin meydana geldiği görülmüştür. Yapıda meydana gelen her bir farklı çökeltinin mukavemete farklı etkileri olduğu bilinmektedir. 6xxx serisi alüminyum alaşımlarında en sık görülen çökelti fazları Mg_2Si , $AlFeSi$ ve $AlFeMnSi$ 'dir. Bu fazların yapıda bulunuyor olmaları mukavemeti olumlu ya da olumsuz etkiler gibi bir yorumda bulunmak doğru değildir. Yapıda oluşan intermetalik fazların malzemenin mekanik değerlerine etkilerinin anlaşılması için, fazın yapı içinde dağılımı, faz boyutu ve geometrik şekli önem arz etmektedir. Yapıda oluşan çökelti fazlarının tanımlanması ve mekanik özelliklere olan etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi için XRD analizleri yapılmıştır.

Birinci grup numunelerde süre sabit tutulmuş olup, farklı suni yaşlandırma sıcaklıklarının mekanik özelliklere etkileri sıcaklık süre ilişkisi ile açıklanmıştır. İkinci grup numunelerde sıcaklık sabit tutulmuş olup suni yaşlandırma işlem süreleri değişken olarak alınmıştır. İkinci grup numunelerde meydana gelen değişikliklerde sıcaklık-süre ilişkisi baz alınarak değerlendirmede bulunulmuştur. Üçüncü grup numuneler ise deney yapılan 84 numune içerisinde her iki alaşım için de ayrı ayrı en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemetleri seçilerek belirlenmiştir. Bu grubun mekanik özelliklerinde meydana gelen farklılıkların, yapıda oluşan intermetalik fazlar ile açıklanması amaçlanmıştır.

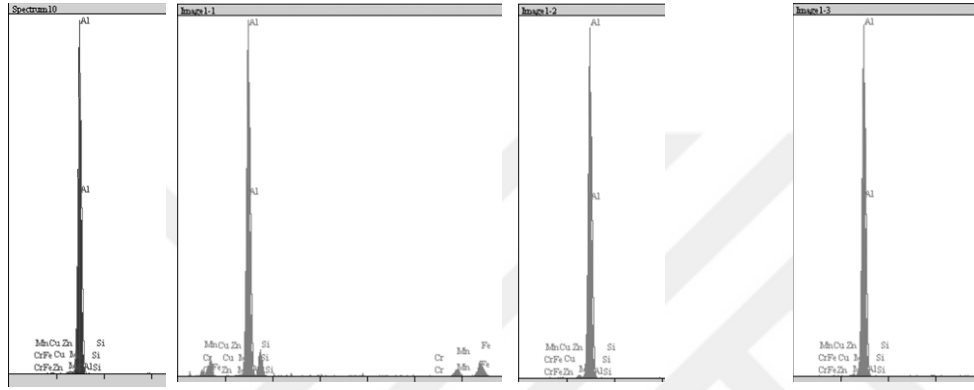
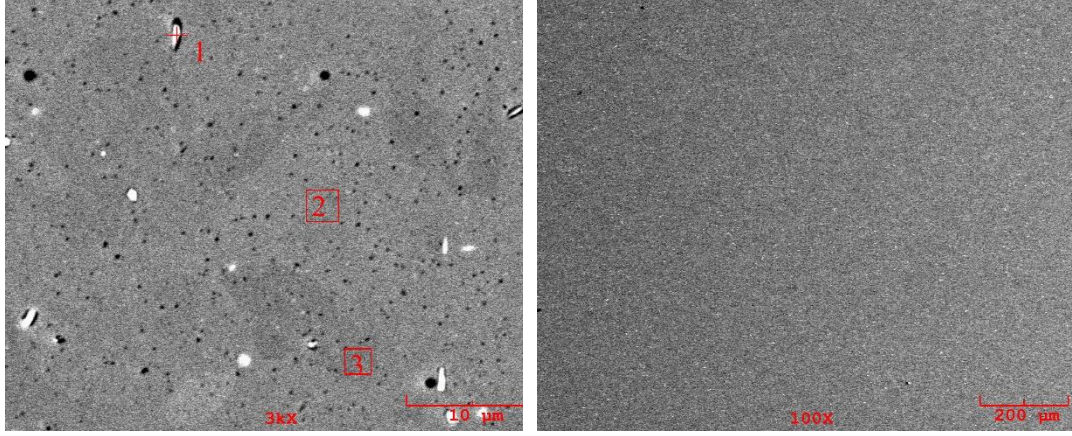
6.4. EDS Analizleri

6.4.1. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi

AA6082 alaşımına 150°C sıcaklıkta 36 saat süresince yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağırlık % element oranları Şekil 6.35.'te verilmiştir. EDS analizi seçilen 3 farklı bölgeye uygulanmıştır. 1 numaralı bölgede %81.559 Al elementi ağırlıkça en yüksek değerde olup; %8.353 ile Fe elementi, %4.152 ile Si elementi, %3.245 ile Mn elementi diğer elementlere göre ağırlıkça daha yüksek değerler göstermiştir. Yapıda bulunan Al, Fe, Si ve Mn elementlerinin AlFeMnSi intermetalliğini oluşturduğu söylenebilir. 2. ve 3. bölgelerde sırasıyla ağırlık %94.875 ve ağırlık %94.940 Al elementi görülmüş ve α Al matrisi olarak yorumlanmıştır.

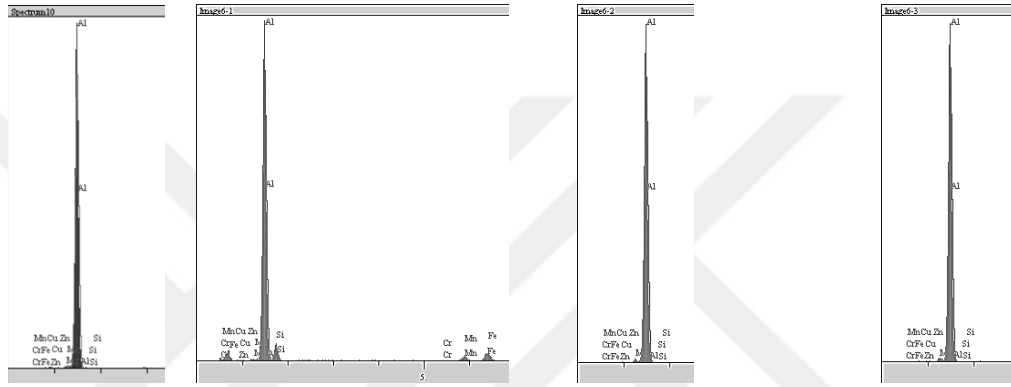
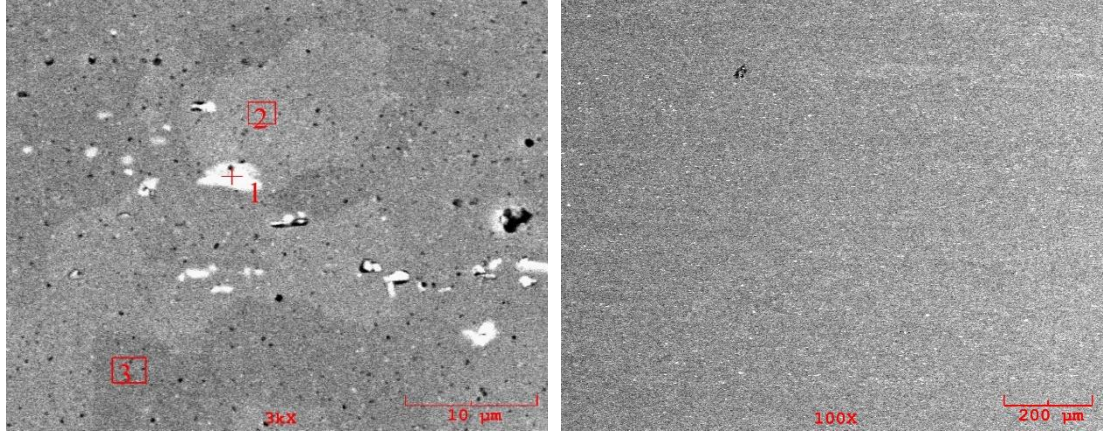
6.4.2. 165°C sıcaklıkta 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi

AA6082 alaşımına 165°C sıcaklıkta 8 saat yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağırlık % element oranları Şekil 6.36.'da verilmiştir. Elementel analiz yapılan 1. bölgede ağırlıkça en yüksek değerde olan alüminyum elementini; %8.971 Fe, %5.974 Si ve %4.704 Mn takip etmiştir. Analizde görülen elementlerin 1 numaralı bölgede AlFeMnSi intermetalliğini oluşturduğunu söyleyebiliriz. 2 numaralı bölgede ağırlık % 94.788 Al elementi, 3 numaralı bölgede ağırlık % 96.838 Al elementi görülmüş olup; bölgeler α Al matrisi olarak yorumlanmıştır.



Elementler (ağ. %)	Genel	1	2	3
Mg	0.611	0.436	0.750	0.667
Al	94.346	81.559	94.875	94.940
Si	0.259	4.152	0.342	0.109
Cr	0.067	0.146	0.000	0.085
Mn	0.013	3.245	0.427	0.226
Fe	0.855	8.353	0.219	0.618
Cu	2.040	2.110	1.172	2.090
Zn	1.809	0.000	2.215	1.266

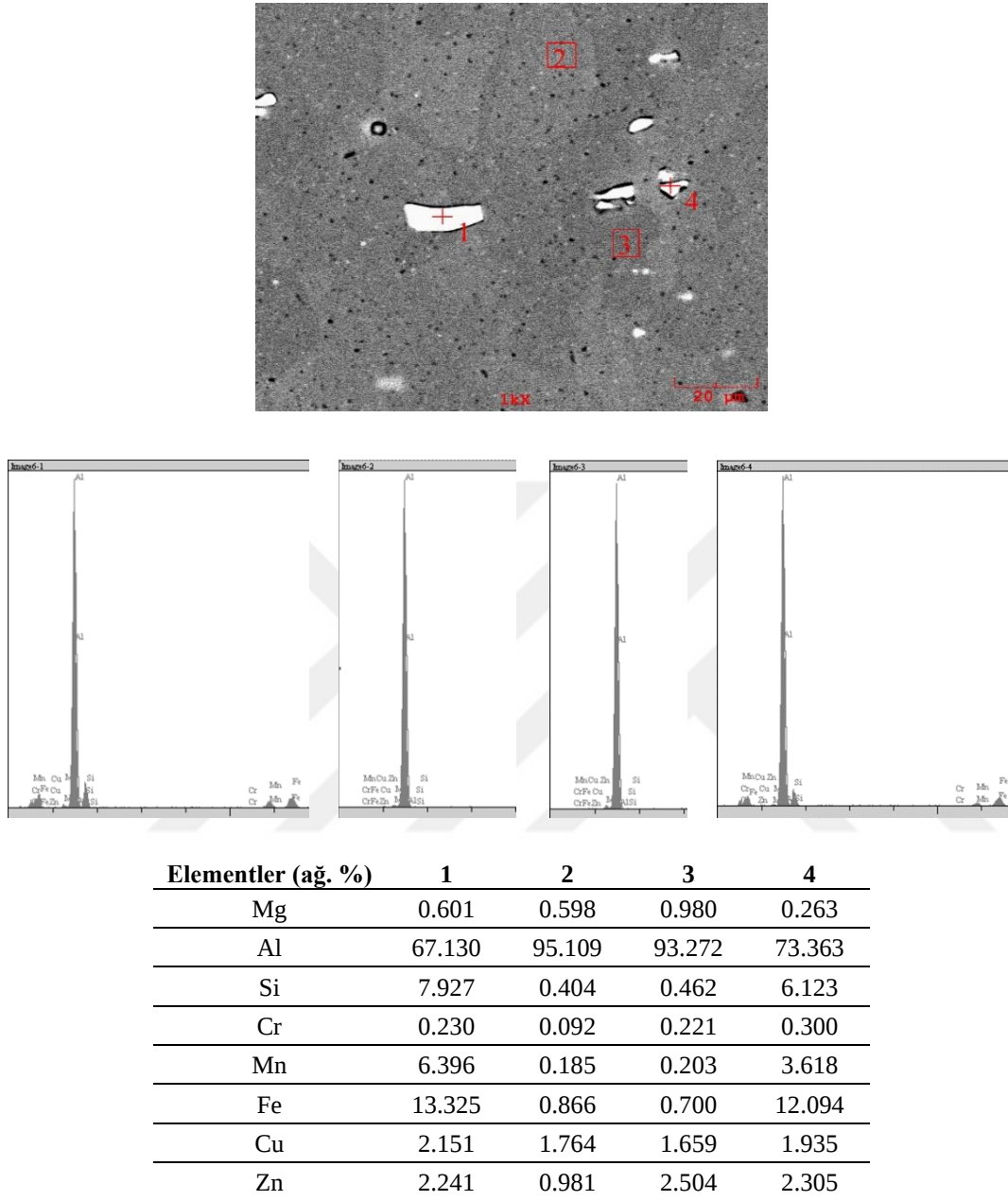
Şekil 6.35. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi



Elementler (ağ. %)	Genel	1	2	3
Mg	0.529	0.366	0.614	0.958
Al	94.443	75.846	94.788	96.838
Si	0.429	5.974	0.071	0.101
Cr	0.244	0.054	0.189	0.000
Mn	0.228	4.704	0.470	0.000
Fe	0.755	8.971	0.412	0.263
Cu	1.799	1.521	1.797	1.840
Zn	1.572	2.564	1.658	0.000

Şekil 6.36. 165 °C sıcaklıkta 8 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi

6.4.3. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi



Şekil 6.37. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan EDS analizi

AA6082 alaşımına 210°C sıcaklıkta 4,5 saat yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağ.% element oranları Şekil 6.37.'de verilmiştir. Yapıda en parlak ve beyaz olarak görülen 1 numaralı bölgede ağırlıkça en yüksek değeri veren elementin % 67.130 oranı ile Al olduğu görülmüştür. Alüminyumdan sonra ağırlıkça en yüksek oranlarda bulunan elementler Fe, Si ve Mn'dir. 1 numaralı bölgede AlFeMnSi intermetalığının varlığından söz edilebilir. 4. Bölge olarak işaretlenen beyaz ve parlak olarak görülen yapıda da aynı durum söz konusudur ve

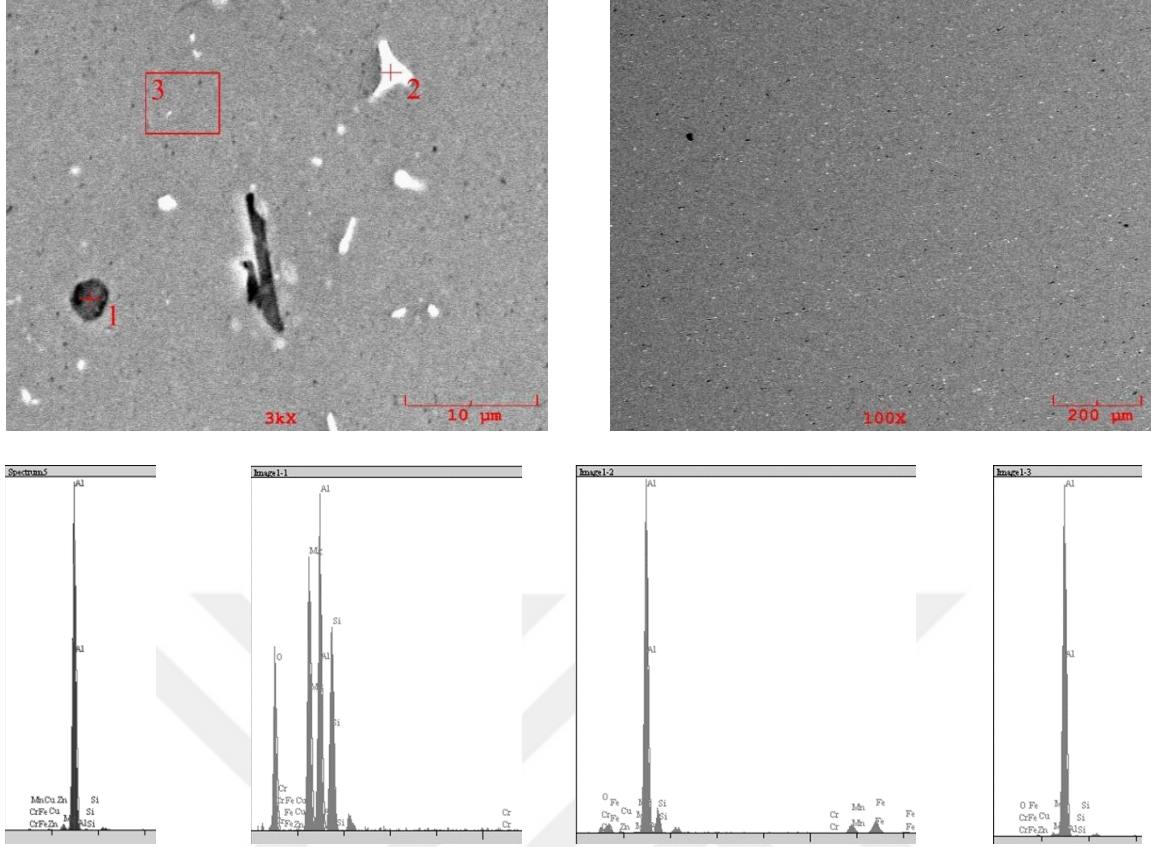
AlFeMnSi intermetalığı olarak yorumlanabilir. 2.bölgede ağ. %95.109 ve 3. bölgede ağ.%93.272 Al elementi varlığı tespit edilmiştir. 2. ve 3. bölgeler için α Al matris bölgesi olduğu yorumu yapılabilir.

6.4.4. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi

AA6056 alaşımına 180°C sıcaklıkta 7 saat yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağ.% element oranları Şekil 6.38.'de verilmiştir. 1.bölgeye yapılan EDS analizinde Mg ve Si elementlerinin yoğunluğu sebebi ile yapıda Mg_2Si intermetalığının olduğu yorumu yapılabilir. 2.bölgede var olan Al, Fe, Mn, Cu ve Si elementlerinin yapıda $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ intermetalığını oluşturduğu söylenebilir. 3. bölgede alüminyum oranının ağırlıkça fazla olması sebebi ile α Al matrisi olduğu yorumu yapılabilir.

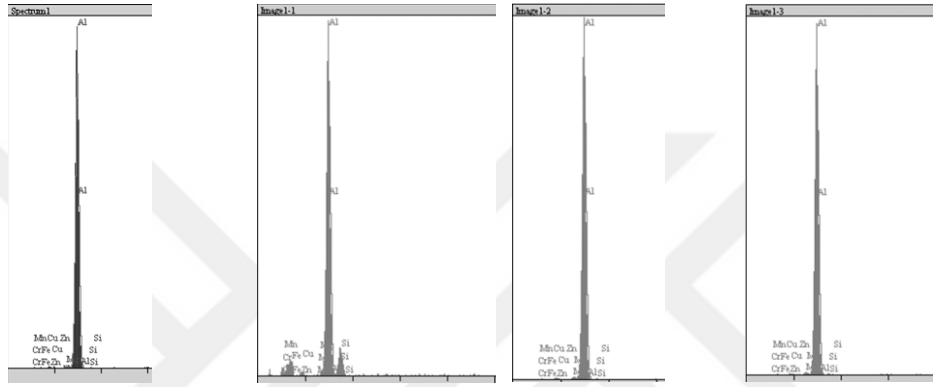
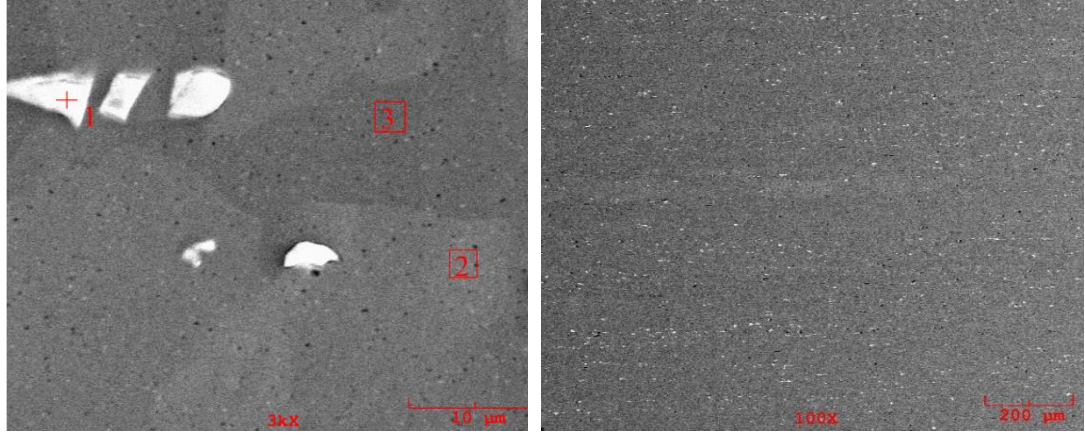
6.4.5. 195°C sıcaklıkta 5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi

AA6056 alaşımına 195 sıcaklıkta 5 saat yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağ.% element oranları Şekil 6.39.'da verilmiştir. Birinci bölgede ağ.% 67.156 Al, ağ.% 12.342 Fe, ağ.% 9.105 Si, % 7.011 Mn ve ağ.%1,263 Cu elementleri olduğu görülmüş olup; bu elementlerin $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ intermetalığını oluşturduğu düşünülmektedir. 2. ve 3. bölgelerde sırasıyla ağ.%94.267 ve ağ.%93.873 Al elementi görülmüş ve α Al matrisi olarak yorumlanmıştır.



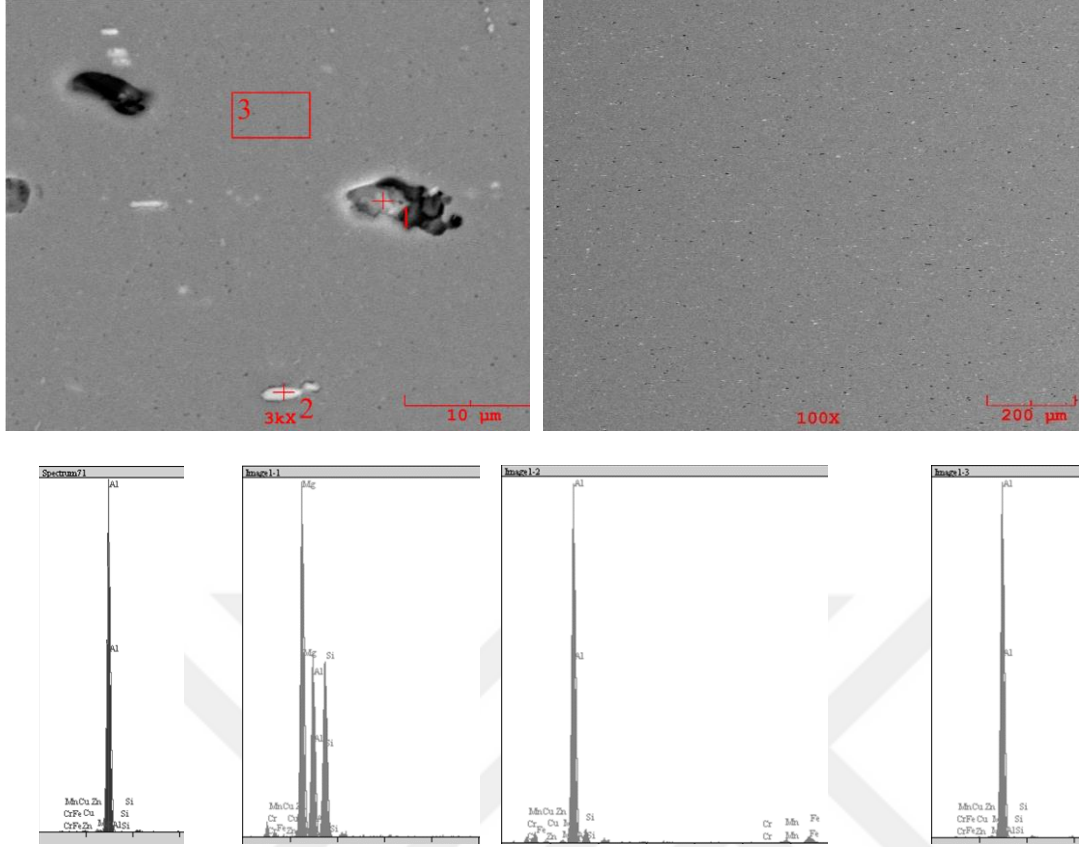
Elementler (ağ. %)	Genel	1	2	3
Mg	0.647	27.329	0.341	0.715
Al	95.858	36.003	68.441	96.558
Si	0.630	30.315	7.562	0.482
Cr	0.126	0.378	0.175	0.123
Mn	0.258	0.480	8.417	0.354
Fe	0.606	0.960	13.336	0.260
Cu	1.238	2.258	1.115	1.086
Zn	0.636	2.274	0.609	0.419

Şekil 6.38. 180 °C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi



Elementler (ağ. %)	Genel	1	2	3
Mg	0.785	0.162	0.490	0.756
Al	95.007	67.156	94.267	93.873
Si	0.160	9.105	0.265	0.563
Cr	0.275	0.293	0.039	0.201
Mn	0.122	7.011	0.464	0.030
Fe	1.135	12.342	0.910	0.268
Cu	2.515	1.263	1.799	2.194
Zn	0.000	2.668	1.766	2.115

Şekil 6.39. 195 °C sıcaklıkta 5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi



Elementler (ağ. %)	Genel	1	2	3
Mg	0.715	34.392	0.564	0.538
Al	93.124	27.764	77.776	94.197
Si	0.370	32.897	5.348	0.572
Cr	0.246	0.113	0.266	0.246
Mn	0.534	0.274	3.022	0.717
Fe	0.513	0.279	8.742	0.385
Cu	1.734	2.183	1.229	0.516
Zn	2.763	2.099	3.051	2.830

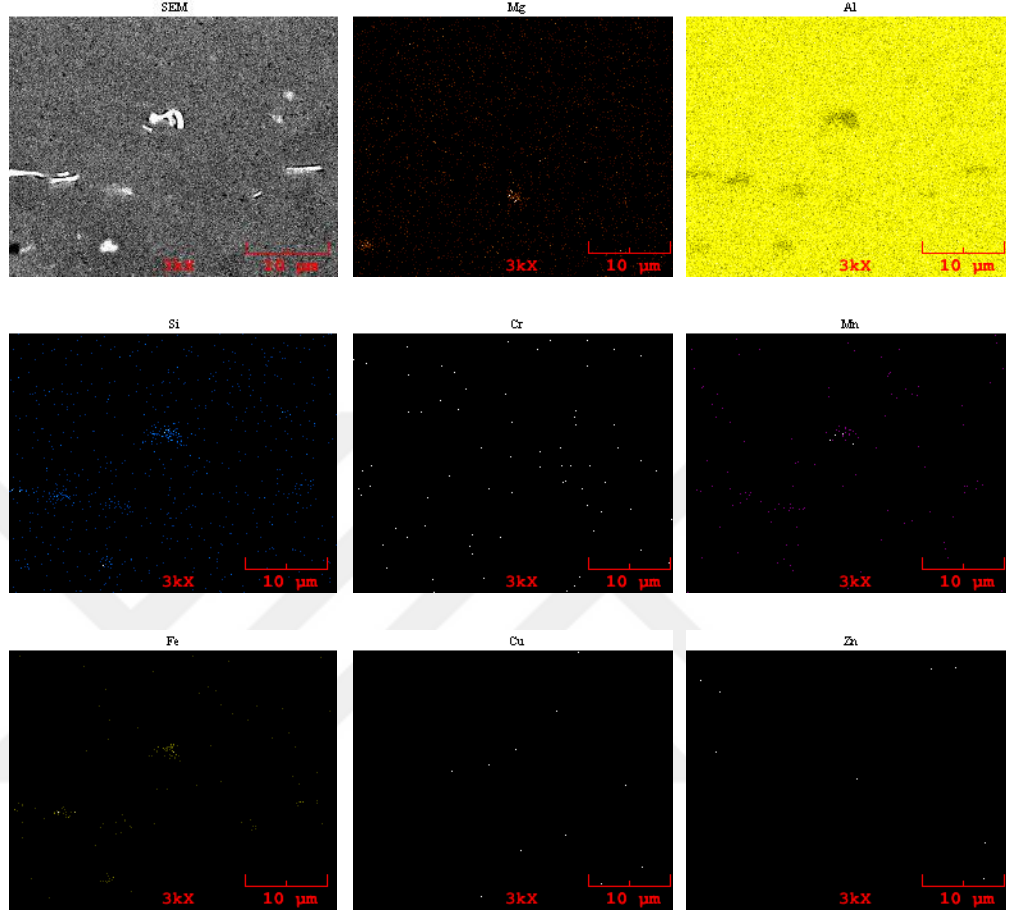
Şekil 6.40. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi

6.4.6. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan EDS analizi

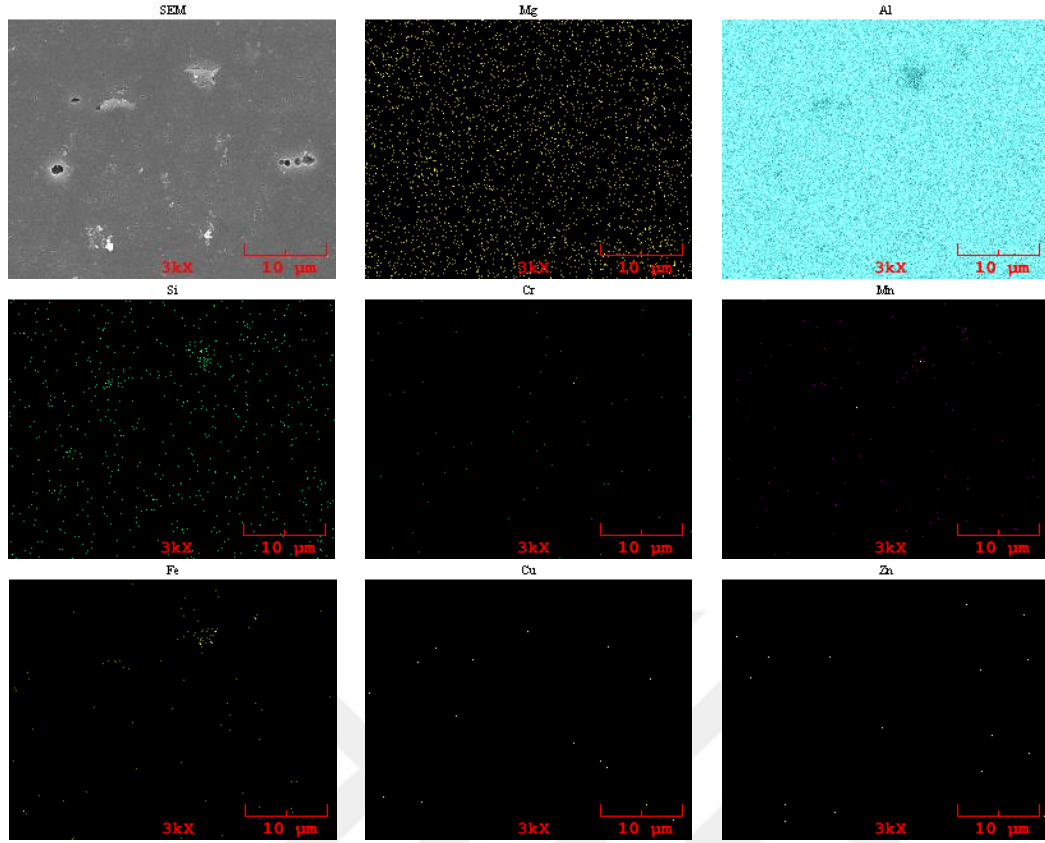
AA6056 alaşımına 210°C sıcaklıkta 4,5 saat yapılan suni yaşlandırma işlem numunesine ait olan EDS analizi ve ağ.% element oranları Şekil 6.40.'ta verilmiştir. Birinci bölgede ağ. %34,392 Mg ve ağ.%32,897 Si elementlerinin varlığı görülmüştür. Mg₂Si fazının oluştuğu düşünülmektedir. 2. bölgede Al, Fe, Si, Mn, Zn elementlerinin oranı yüksek olduğu için bu elementleri içeren bir intermetalik varlığından söz

edilebilir. 3.bölgede ağ. %94,197 Al elementi görülmüştür ve α Al matrisine işaret ettiği söylenebilir.

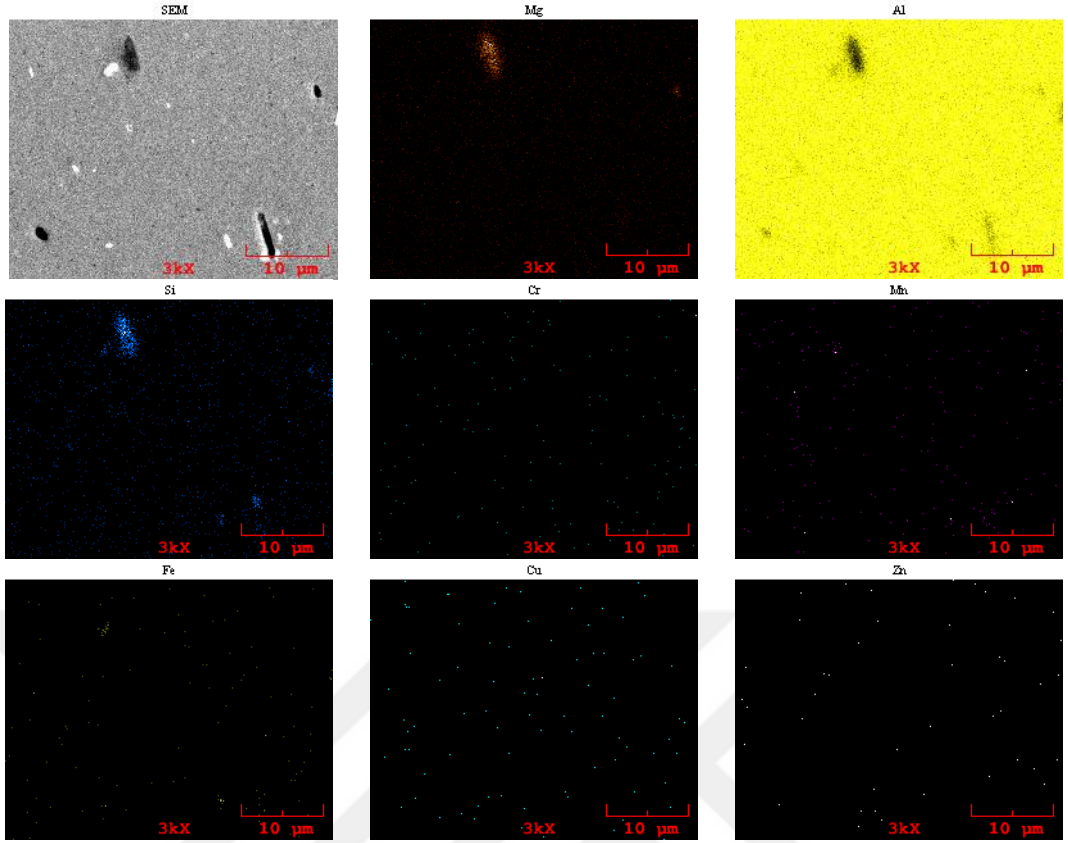
6.5. MAP Analizleri



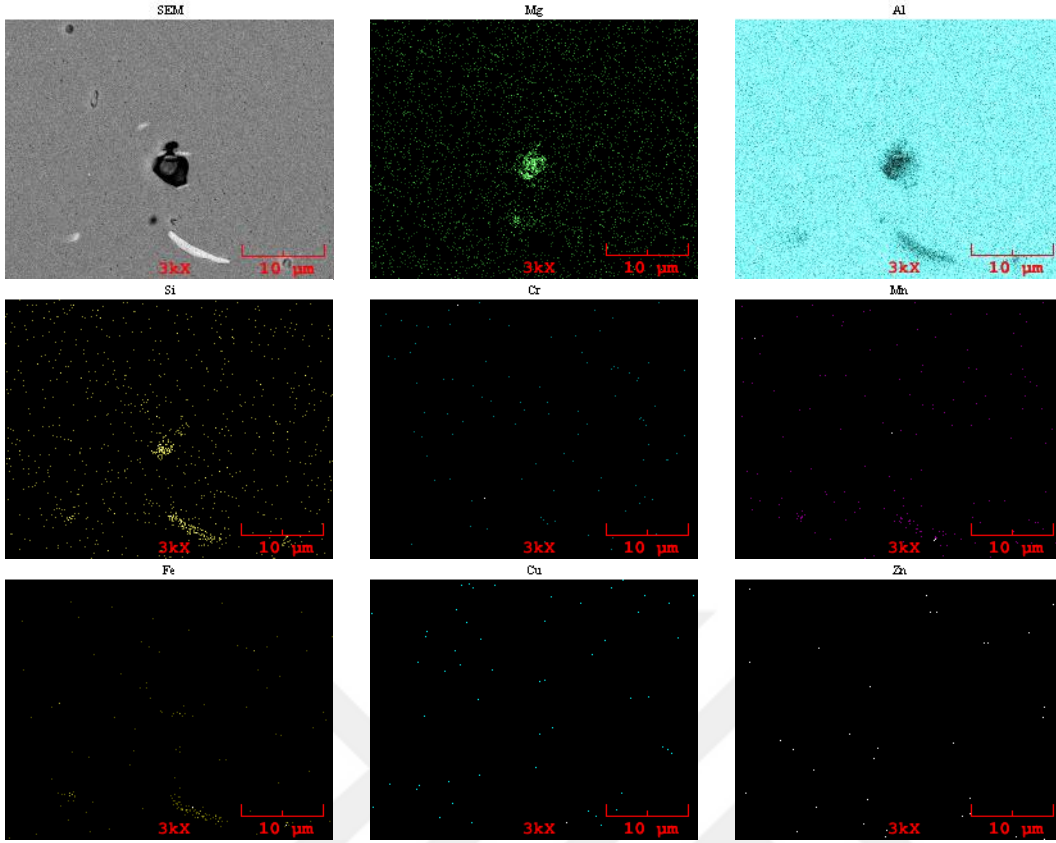
Şekil 6.41. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan MAP analizi



Şekil 6.42. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan MAP analizi



Şekil 6.43. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan MAP analizi



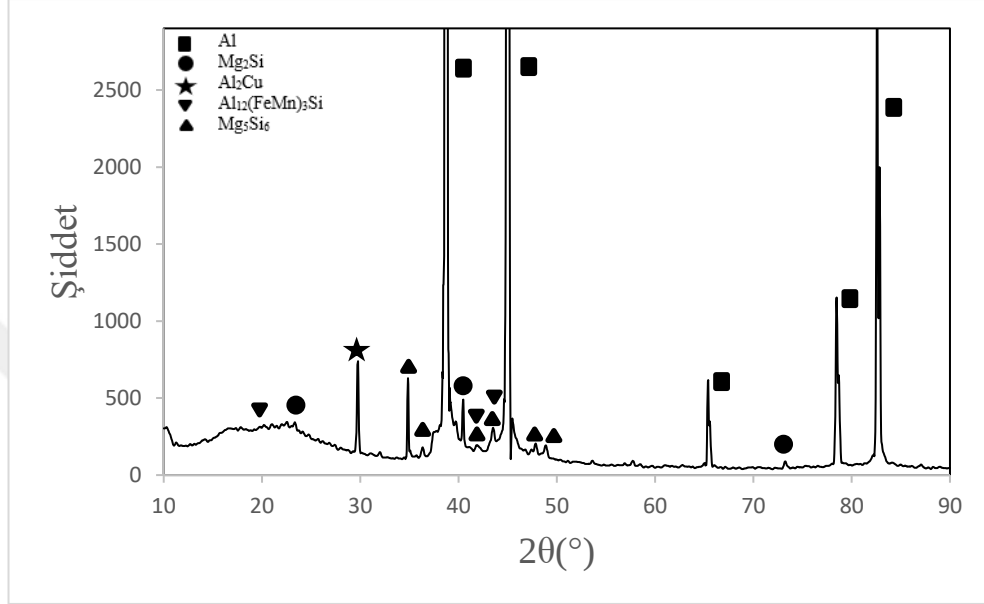
Şekil 6.44. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan MAP analizi

Şekil 6.41- 6.44'te AA6056 ve AA6082 numunelerine ait sırası ile her iki alaşım için en yüksek ve en düşük çekme mukavemetinin tespit edildiği şartlarda element dağılımına ilişkin MAP analizlerinin sonuçları verilmiştir. EDS analizlerinde görülen elementler MAP analizleri ile de doğrulanmış olup; alaşımlardaki mevcut elementlerin belirli şartlarda suni olarak yaşlandırılan numune yapısındaki dağılımları incelenmiştir. Büyük miktarda Mg ve Si elementlerinin bir alanda üst üste binmesi, Mg_2Si fazının varlığını göstermektedir. AA6082 alaşımında Fe ve Si elementlerinin kısmi olarak örtüştüğü yer $Al_{12}(FeMn)_3Si$ fazının varlığına işaret etmektedir. AA6056 alaşımında ise Fe ve Cu elementinin kısmi üst üste binmesi $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ varlığını göstermiştir. Zhao ve arkadaşları AA6056 alaşımına yapmış oldukları MAP analizinde $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ fazının varlığını tespit etmişlerdir. En düşük çekme mukavemetinin elde edildiği numunenin MAP analizinde; Cu elementi dağılımının, en yüksek çekme mukavemetli numuneye göre yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Cu elementi dağılımının düşmesi; aşırı yaşlanma durumuna geçen numunedeki $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ intermetalik fazındaki çözünmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Analizde

mekanik özelliklerin daha yüksek olarak tespit edildiği AA6056 alaşımında Si, Mg ve Cu element dağılımlarının daha homojen ve daha yoğun olduğu da belirtilebilir.

6.6. XRD Analizleri

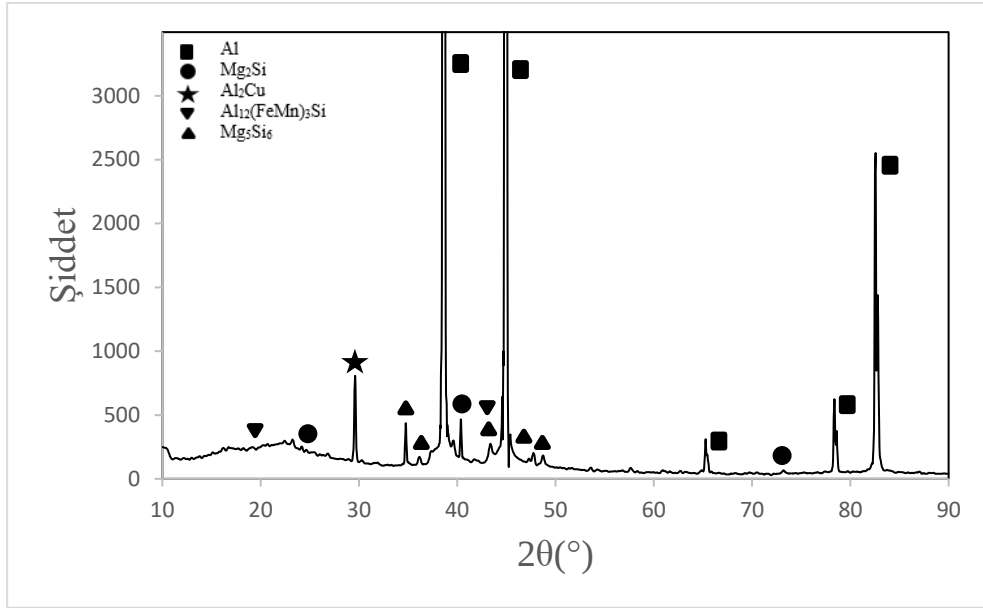
6.6.1. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi



Şekil 6.45. 150°C sıcaklıkta 36 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi

Şekil 6.45.'te AA6082 alaşımına yapılan ve en yüksek çekme mukavemeti elde edilen numuneye ait XRD analizi grafiğinde; Al matrisi ve $\text{Al}_{12}(\text{FeMn})_3\text{Si}$, Mg_5Si_6 , Mg_2Si ve Al_2Cu fazlarına ait pikler tespit edilmiştir. Fe, Mn ve Si ihtiva eden tipik alüminyum intermetalğine sahip faz, Rayes ve Danaf tarafından yapılan çalışmada belirlenmiştir. AA6082 alaşımına ait olan XRD analizinde Mg_5Si_6 pikinin, Mg_2Si pikinden daha yüksek şiddette olması, çekme deneyi sonuçlarını doğrulamaktadır. Zander ve Sandström'un yapmış olduğu çalışmada, alüminyum alaşımlarının suni yaşlandırma işlemlerinde, alaşım mikroyapısında Mg_2Si çökelti fazlarının oluştuğunu, bu fazların alaşımın korozyon direnci ve mekanik dayanımını arttırdığı rapor edilmiştir. AA6082 yapısında başka pek çok faz mevcut olmakla birlikte esas olarak dayanıklılığa katkıda bulunan çökelti fazının β^{11} (Mg_5Si_6) olduğunu belirtmişlerdir.

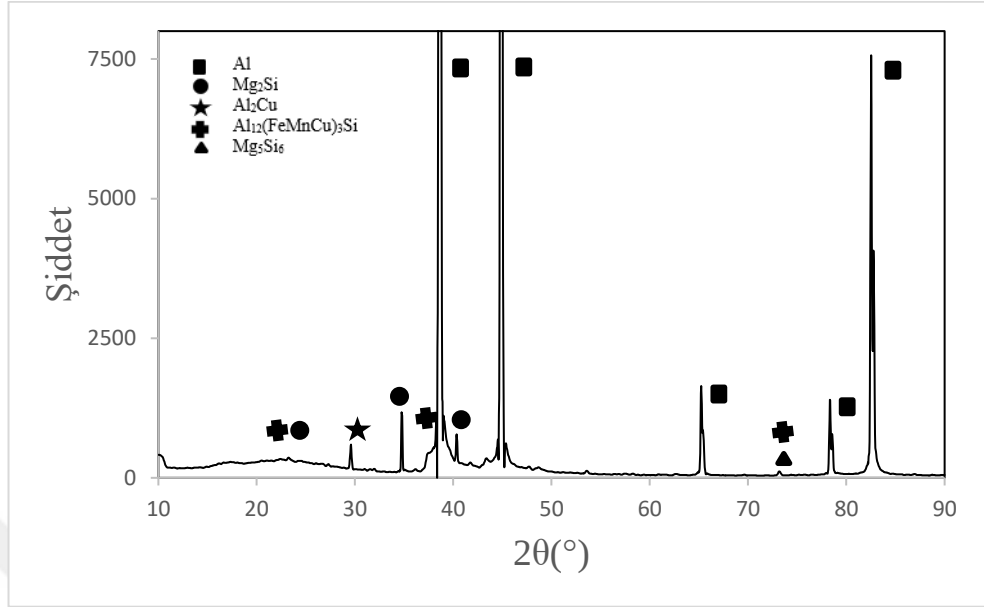
6.6.2. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi



Şekil 6.46. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6082 numunesine ait olan XRD analizi

Şekil 6.46.'da AA6082 alaşımına yapılan ve en düşük çekme mukavemeti elde edilen numuneye ait XRD analizi grafiğinde; Al matrisi ve $Al_{12}(FeMn)_3Si$, Mg_5Si_6 , Mg_2Si ve Al_2Cu pikleri tespit edilmiştir. Mg_2Si pikinin, Mg_5Si_6 pikinden daha yüksek olması, çekme deneyi sonuçlarını doğrulamaktadır. Yaşlandırma işlemi sırasında gerçekleşen aşırı doymuş Mg_2Si fazının çökeltme süresi $\alpha \rightarrow GP (Mg_1Si) \rightarrow \beta^{11}(Mg_5Si_6) \rightarrow \beta^1(Mg_9Si_5) \rightarrow \beta (Mg_2Si)$ denklemi ile açıklanır. Denkleminde yer alan β^{11} fazının elde edilmesi ile alaşımda maksimum mekanik özellikler elde edilmektedir. β^{11} fazının tamamen β fazına dönüşmesi aşırı yaşlandırmaya sebep olur ve bu durum mekanik özelliklerin düşmesine sebep olur (Yüksel, 2017). 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işleminde en yüksek çekme mukavemeti değeri 334.76 MPa olarak 1,5 saatlik sürede elde edilmiştir. Suni yaşlandırma süresinin artmasıyla birlikte çekme mukavemeti değerinde, α - β faz dönüşümü sebebi ile düşüş kaydedilmiştir. Mevcut numunede; en yüksek çekme mukavemetinin elde edildiği AA6082 numunesine ait olan XRD analizinden farklı olarak faz şiddetlerinde düşüş tespit edilmiştir.

6.6.3. 180 °C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi

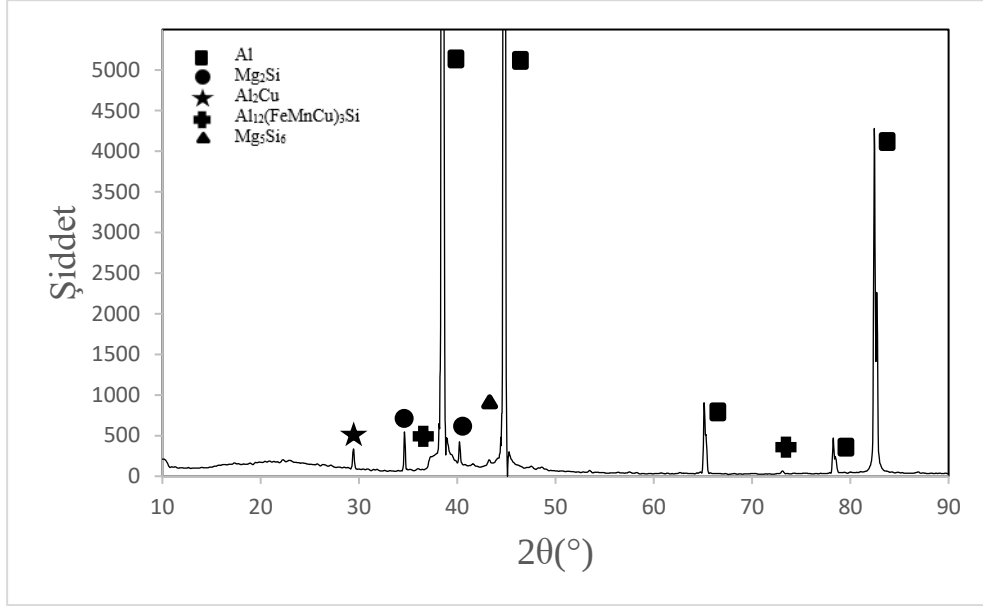


Şekil 6.47. 180°C sıcaklıkta 7 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi

Şekil 6.47.'de AA6056 alaşımlarına yapılan suni yaşlandırma işlemleri sonrası elde edilen en yüksek çekme mukavemetine ait olan numunenin XRD analizi grafiği yer almaktadır. Numunede Al matrisi ve Mg_5Si_6 , Mg_2Si , $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ ve Al_2Cu pikleri tespit edilmiştir.

Zhao ve ark. tarafından yapılan çalışmada, AA6056 alaşımına 2 saat 195°C'de uygulanan suni yaşlandırma işlemi sonrası XRD analizinde $2\theta = 35^\circ$ 'de $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$ fazını tespit etmişlerdir. Mevcut çalışmada bu pik Mg_2Si piki ile çakışmaktadır. Aynı açılarda $Al_4Cu_2Mg_8Si_6$ fazının varlığından bahsedilebilir.

6.6.4. 210 °C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi



Şekil 6.48. 210°C sıcaklıkta 4,5 saat suni yaşlandırma işlemi yapılan AA6056 numunesine ait olan XRD analizi

Şekil 6.48.'de AA6056 alaşımlarına uygulanan suni yaşlandırma işlemleri sonrası elde edilen en düşük çekme mukavemetine ait numunenin XRD analizi grafiği yer almaktadır. Numunede Al matrisi ve Mg_5Si_6 , Mg_2Si , $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ ve Al_2Cu pikleri tespit edilmiştir. En yüksek çekme mukavemeti tespit edilen numunenin XRD analizi ile karşılaştırıldığında mevcut numunede pik şiddetlerinin azalması, çökelti partiküllerinin matris içerisinde çözünmesi ile açıklanabilir. Mevcut numuneye 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemlerinde; kullanılan tüm sürelerle bakıldığında, en yüksek çekme mukavemeti değeri olan 389,71 MPa 2,5 saatte elde edilmiştir. (EK E.) 2,5 saat sonrasında aşırı yaşlanma durumuna geçilmiştir. Artan süre difüzyonu hızlandırarak daha fazla çökelti partikülünün matris içerisinde çözünmesini sağlamış ve bu durum mekanik dayanımı olumsuz yönde etkilemiştir.

7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

7.1. Genel Sonuçlar

Bu çalışmada AA6056 ve AA6082 alüminyum alaşımlarında; farklı suni yaşlandırma işlem parametrelerinin mekanik özellikler ve mikroyapıya etkilerinin incelenmesi için, deneylerde kullanılmak üzere numuneler öncelikle yarı sürekli döküm yöntemi ile üretilmiştir. Ekstrüzyon prosesi ile şekillendirilen numunelere farklı sıcaklık ve sürelerde suni yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Suni yaşlandırma işlemi için 150°C-210°C sıcaklıklar ve her bir sıcaklık için Tablo 5.2.'de detayları verilen süreler kullanılmıştır. Ayrıca doğal yaşlanmanın etkilerinin incelenmesi için AA6056 ve AA6082 alaşımlarından ikişer adet numune oda sıcaklığında 3 ay süre ile bekletilmiştir. Suni yaşlandırma işlemi sonrasında numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmış ve ardından mekanik özellikler için sertlik ve çekme testlerine; mikroyapı ve faz analizleri için sırasıyla optik mikroskop, SEM-EDS, MAP analizi ve XRD faz analizine tabi tutulmuştur. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- 2- Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin, ısıl işlem sıcaklık ve süresine bağlı olarak değiştiği görülmüştür.
- 3- Çalışmada suni yaşlandırma parametreleri olarak 150°C-210°C sıcaklık ve 1-40 saat süreler kullanılmış ve numuneler 3 gruba ayrılarak incelenmiştir. Birinci grup numunelerde suni yaşlandırma süresi sabit tutulurken, sıcaklıklar değiştirilmiştir. İkinci grup numunelerde; tüm yaşlandırma sıcaklıkları kendi aralarında mukayese edilmiş olup, her iki alaşımın en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemeti değerleri baz alınarak, üçüncü grup numunelerde ise tüm yaşlandırma sıcaklık ve süreleri içerisinde, her iki alaşım için ayrı olarak en yüksek, ortalama ve en düşük çekme mukavemeti elde edilen sonuçlar ile değerlendirmeler yapılmıştır.
- 4- Çalışmada incelenen birinci grup numunelerde 4 saat süre için 180°C, 195°C ve 210°C sıcaklıklar, 8 saat süre için 165°C, 180°C ve 195°C sıcaklıklar, 12 saat süre için 150°C, 165°C ve 180°C suni yaşlandırma sıcaklıkları

kullanılmıştır. AA6056 ve AA6082 alaşımlarına aynı reçeteler kullanılarak yapılan suni yaşlandırma işlemlerinde, AA6056 alaşımının sertlik, akma ve çekme muavemeti değerleri AA6082 alaşımına göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

- 5- AA6082 alaşımında en yüksek çekme mukavemetine 150°C’de 36 saat yaşlandırılan numunede ulaşıldığı görülmüştür. Çekme mukavemeti 365,40 MPa, akma mukavemeti 321,49 MPa ve sertlik değeri 107,33 HB olarak tespit edilmiştir.
- 6- 36 saat yaşlandırma süresi ticari uygulamalarda nispeten uzun olduğu için uygulanabilirliği mümkün görülmemektedir. AA6082 alaşımına uygulanan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemeti değerlerine bakıldığında; ticari uygulamalar için 180°C’de 8 saat yapılan suni yaşlandırma işlemi tavsiye edilir. Bu reçetede 109 HB sertlik, 353,03 MPa çekme ve 329,92 MPa akma mukavemeti değerleri elde edilmiş olup; çalışmanın en yüksek çekme mukavemeti olan 365,40 MPa değerine yakın olduğu görülmüştür.
- 7- AA6056 alaşımında en yüksek çekme mukavemeti 417,30 MPa, akma mukavemeti 385,00 MPa ve sertik değeri 130 HB olarak 180°C’de 7 saat yaşlandırılan numunede elde edilmiştir. Bu reçete AA6056 alaşımına uygulanan tüm suni yaşlandırma işlemleri içerisindeki optimum süre ve sıcaklık değerine karşılık geldiğinden ticari uygulamalarda kullanım yeri bulabilir.
- 8- Yapılan mekanik deneylerden elde edilen bilgilerden hareketle daha kısa sürelerde daha yüksek çekme dayanımları elde edebilmek için yüksek sıcaklıkların kullanılması tavsiye edilir. Mevcut çalışmada; AA6082 numuneye 210°C sıcaklıkta 1 saat yapılan yaşlandırma işleminde 332,78 MPa çekme mukavemeti ve 103 HB sertlik değeri ölçülmüş olup; 195°C sıcaklıkta 2 saatlik sürede sırası ile 333,80 MPa ve 100 HB olarak ölçülmüştür. AA6056 numunesinde ise 210°C sıcaklıkta 2.5 saatlik sürede çekme mukavemeti değeri 389,71 MPa iken; 195°C sıcaklıkta 4 saatte 389,04 MPa olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü üzere mekanik özellikler birbirine yakın olduğundan; zamandan tasarrufun gerekli olduğu durumlarda daha yüksek suni yaşlandırma sıcaklıkları tercih edilebilir.

- 9- AA6082 alaşımına yapılan XRD analizi sonucunda yapıda $Al_{12}(FeMn)_3Si$, Mg_5Si_6 , Mg_2Si ve Al_2Cu , AA6056 alaşımında ise Mg_5Si_6 , Mg_2Si , $Al_{12}(FeMnCu)_3Si$ ve Al_2Cu intermetalik fazlar tespit edilmiştir.
- 10- Kullanılan tüm suni yaşlandırma reçetelerinde, oluşan çökelti partikülleri AA6056 alaşımında AA6082 alaşımına göre daha belirgin ve homojen dağılım göstermiştir.

7.2. Öneriler

- 1- Suni yaşlandırma işlemi ile yapıda meydana gelen intermetalik fazlarının boyut ve şekilleri yapının mekanik özelliklerine etki eder. Bundan sonra yapılabilecek olan çalışmalarda, yapıda meydana gelen intermetalik fazların boyut ölçümlerinin tespit edilmesi tavsiye edilir.
- 2- Yapıda meydana gelen intermetalik fazların şekil ve boyut dağılımlarının derinlemesine incelenmesi için TEM analizi yapılması önerilir.
- 3- AA6056 alaşımına 150°C’de uygulanan suni yaşlandırma işleminde çekme değerleri artış eğilimi göstermiştir. Yaşlandırma işlemine bir süre daha devam edilerek aşırı yaşlanmanın başlaması için gerekli olan süre belirlenebilir.



KAYNAKLAR

- Ak, M. (2012). AA206 alüminyum döküm alaşımda empürite demirin mekanik özelliklere etkilerinin incelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Akyüz, B., & Şenaysoy, S. (2014). Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma İşleminin Mekanik Özellikler ve İşlenebilirlik Üzerindeki Etkisi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1(1), 1-9.
- ASM International Handbook Committee. (1990). ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials. ASM international.
- Asa, S. (2010). AA-6061 işlem alaşımda homojenizasyon prosesinin ekstrüzyon kabiliyetine etkisi.
- Askeland, D. R., & Wright, W. J. (2018). Essentials of materials science and engineering. Cengage Learning.
- ASM-International. (1991). Heat Treating—Heat Treating of Aluminum Alloys.
- Banhart, J., Lay, M. D., Chang, C. S. T., & Hill, A. J. (2011). Kinetics of natural aging in Al-Mg-Si alloys studied by positron annihilation lifetime spectroscopy. Physical Review B, 83(1), 014101.
- Benedyk, J. C. (2010). International temper designation systems for wrought aluminum alloys. Light metal age, 67, 3-6.
- Birol, Y. (2006). The effect of processing and Mn content on the T5 and T6 properties of AA6082 profiles. Journal of Materials Processing Technology, 173(1), 84-91.
- Cardarelli, F. (2008). Materials handbook: a concise desktop reference.
- Cebulski, J., & Lalik, S. (2005). Changes in the structure of alloy on the matrix of FeAl intermetallic phase after primary crystallization and homogenizing treatment. Journal of Materials Processing Technology, 162, 4-8.
- Chang, Y. L., Hung, F. Y., & Lui, T. S. (2019). Study of microstructure and tensile properties of infrared-heat-treated cast-forged 6082 aluminum alloy. Journal of Materials Research and Technology, 8(1), 173-179.
- Cobden, R., Alcan, B., & Lecture, T. A. L. A. T. 1501 Aluminium:“Physical Properties. Characteristics and Alloys”, Training In Aluminium Applications Technologies.
- Darıdereli, Y. (2010). Alüminyum alaşımlarının mikroyapı, mekanik özellikler ve aşınma direncine yaşlanmanın etkisi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, İÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul).
- Davis, J. R. (1993). Aluminum and aluminum alloys. ASM international.
- Davis, J. R. (1998). Metals handbook desk edition. (No Title).

- Demirtaş, H. (2009). 6061 Alüminyum Alaşımlarında Ara Verilerek Yapılan Yaşlandırma İşleminin Malzeme Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 3-14).
- Dwight, J. (1998). Aluminium design and construction. CRC Press.
- Eken, C. A 356 alüminyum döküm alaşımında mekanik özelliklerin geliştirilmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- El-Rayes, M. M., & El-Danaf, E. A. (2012). The influence of multi-pass friction stir processing on the microstructural and mechanical properties of Aluminum Alloy 6082. *Journal of Materials Processing Technology*, 212(5), 1157-1168.
- Habashi, F. (Ed.). (2008). Alloys: preparation, properties, applications. John Wiley & Sons.
- Hosford, W. F. (2010). Mechanical behavior of materials. Cambridge university press.
- Hussey, R. J., & Wilson, J. (2013). Light Alloys: Directory and Databook. Springer Science & Business Media.
- Johnson, W. A. (1990). Properties and selection: nonferrous alloys and special-purpose materials. *Molybdenum, Metals Handbook*, 2, 574.
- Kaufman, J. G. (2000). Introduction to aluminum alloys and tempers. ASM international.
- Kvackaj, T. (Ed.). (2011). Aluminium Alloys: Theory and Applications. BoD–Books on Demand.
- Li, J. H., Wimmer, A., Dehm, G., & Schumacher, P. (2014). Intermetallic phase selection during homogenization for AA6082 alloy. *Philosophical magazine*, 94(8), 830-846.
- Lumley, R. (Ed.). (2010). Fundamentals of aluminium metallurgy: production, processing and applications. Elsevier.
- Meyers, M. A., & Chawla, K. K. (2008). Mechanical behavior of materials. Cambridge university press.
- Mrówka-Nowotnik, G. (2009). Intermetallic phase particles in cast AlSi5Cu1Mg and AlCu₄Ni₂Mg₂ aluminium alloys. *Archives of Materials Science and Engineering*, 38(2), 69-77.
- Olea, C. A. W., Roldo, L., Dos Santos, J. F., & Strohaecker, T. R. (2007). A sub-structural analysis of friction stir welded joints in an AA6056 Al-alloy in T4 and T6 temper conditions. *Materials Science and Engineering: A*, 454, 52-62.
- Onur, A. (2014). AA6XXX serisi alüminyum alaşımlarının yaşlandırma işlemine bağlı olarak işlenebilirliğinin incelenmesi (Master's thesis, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Onurlu, S. (1993). Homojenizasyonun AA 6063 alüminyum alaşımının içyapısı ve özelliklerine etkisi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Pakdil, M., Çam, G., Koçak, M., & Erim, S. (2011). Microstructural and mechanical characterization of laser beam welded AA6056 Al-alloy. *Materials Science and Engineering: A*, 528(24), 7350-7356.

- Rana, R. S., Purohit, R., & Das, S. (2012). Reviews on the influences of alloying elements on the microstructure and mechanical properties of aluminum alloys and aluminum alloy composites. *International Journal of Scientific and research publications*, 2(6), 1-7.
- Ross, R. B. (2013). *Metallic materials specification handbook*. Springer Science & Business Media.
- Saga, M., Sasaki, Y., Kikuchi, M., Yan, Z., & Matsuo, M. (1996). Effect of pre-aging temperature on the behavior in the early stage of aging at high temperature for Al-Mg-Si alloy. In *Materials Science Forum* (Vol. 217, pp. 821-826). Trans Tech Publications Ltd.
- Saha, P. K. (2000). *Aluminum extrusion technology*. Asm International.
- Sheppard, T. (2013). *Extrusion of aluminium alloys*. Springer Science & Business Media.
- Sivasankaran, S. (Ed.). (2017). *Aluminium Alloys: Recent Trends in Processing, Characterization, Mechanical behavior and Applications*.
- Smallman, R. E., & Bishop, R. J. (1999). *Modern physical metallurgy and materials engineering*. Butterworth-Heinemann.
- Staron, P., Vaidya, W. V., & Koçak, M. (2009). Precipitates in laser beam welded aluminium alloy AA6056 butt joints studied by small-angle neutron scattering. *Materials Science and Engineering: A*, 525(1-2), 192-199.
- Tekin, R. (2014). AA 2014, AA 6082 alüminyum alaşımlarının oksidasyonu ve mekaniksel özelliklerin incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- TSE, Türk Standardları Enstitüsü. Alüminyum ve alüminyum alaşımları - Kimyasal bileşim ve biçimlendirilebilir ürünlerin şekli - Bölüm 3: Kimyasal bileşim Türkiye: Türk Standardları Enstitüsü, Kabul Eylül 2022, ICS 77.120.10; 77.150.10
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of aluminum: vol. 1: physical metallurgy and processes* (Vol. 1). CRC press.
- Totten, G. E., & MacKenzie, D. S. (Eds.). (2003). *Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy production and materials manufacturing*. CRC press.
- Yüksel, B. (2017). 6063 alüminyum alaşımının sertliği ve taneler arası korozyonu üzerine suni yaşlandırmanın etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 395-398.
- Zhang, P., Song, A., Fang, Y., Yue, X., Wang, Y., & Yu, X. (2020). A study on the dynamic mechanical behavior and microtexture of 6082 aluminum alloy under different direction. *Vacuum*, 173, 109119.
- Zhao, J. R., Hung, F. Y., & Chen, B. J. (2021). Effects of heat treatment on a novel continuous casting direct rolling 6056 aluminum alloy: Cold rolling characteristics and tensile fracture properties. *Journal of Materials Research and Technology*, 11, 535-547.



EKLER

EK A. 150°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

EK B. 165°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

EK C. 180°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

EK D. 195°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

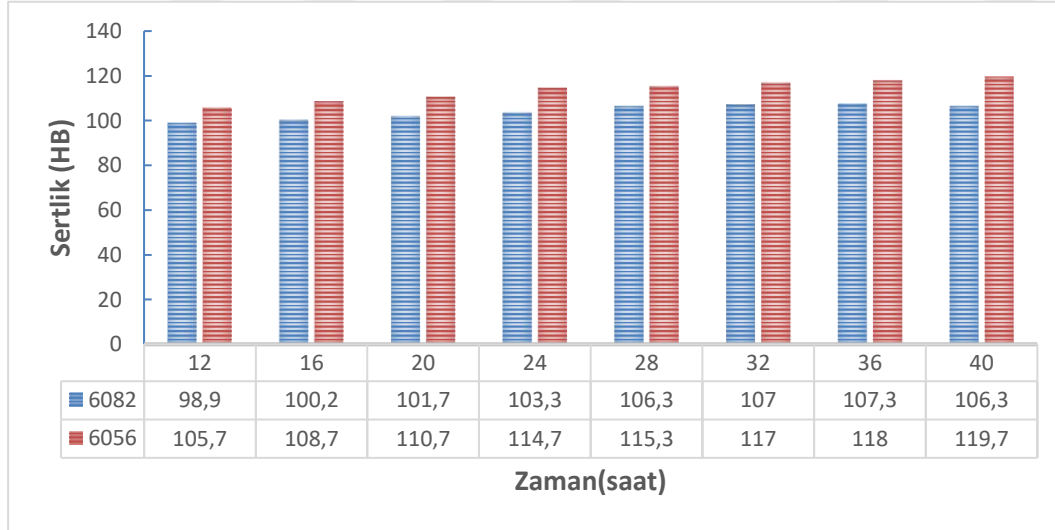
EK E. 210°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ



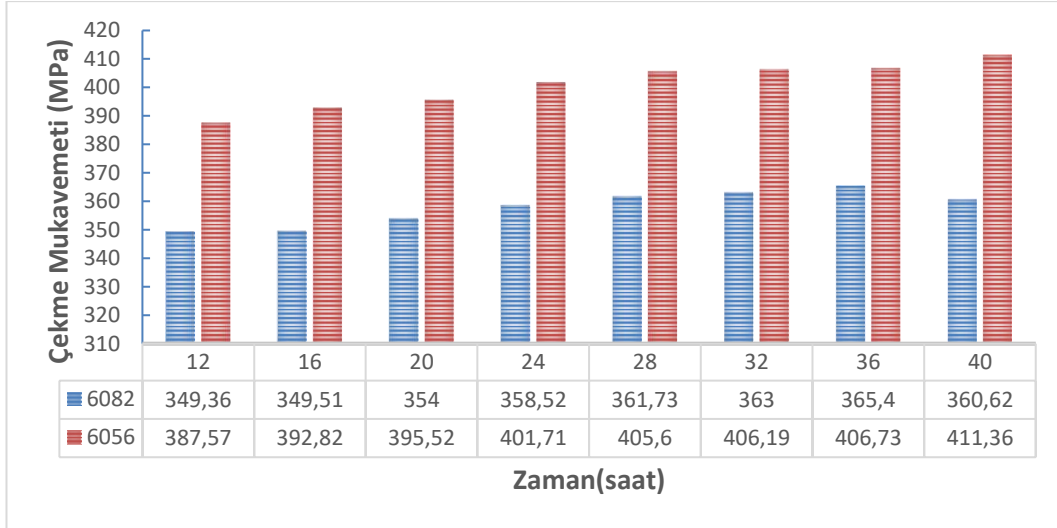
EK A. 150°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Tablo A.1. 150°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri.

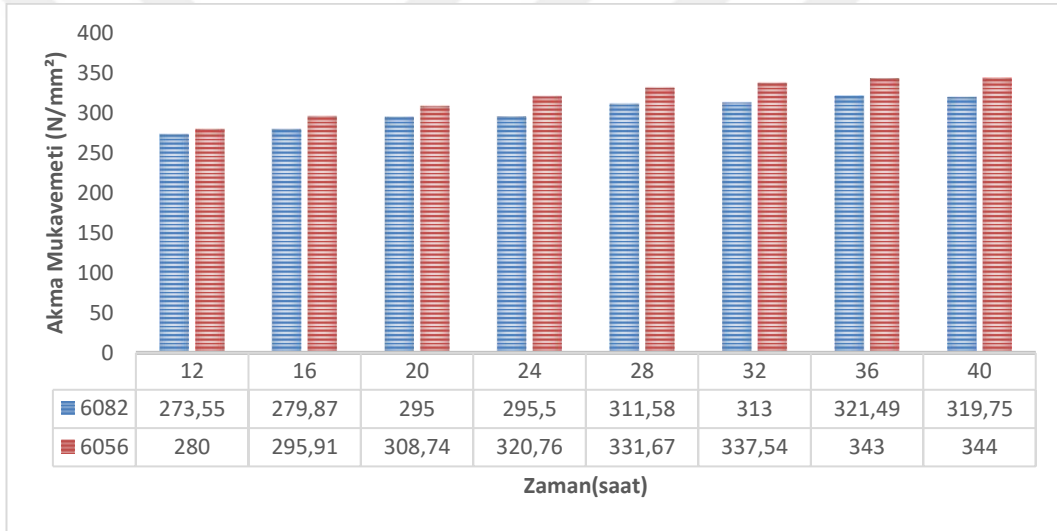
Saat	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)	
	6082	6056	6082	6056	6082	6056
12	98,9	105,7	349,51	387,57	273,55	280
16	100,2	108,7	349,36	392,82	279,87	295,91
20	101,7	110,7	354	395,52	295	308,74
24	103,3	114,7	358,52	401,71	295,5	320,76
28	106,3	115,3	361,73	405,6	311,58	331,67
32	107	117	363	406,19	313	337,54
36	107,3	118	363,4	406,73	321,49	343
40	106,3	119,7	360,62	411,36	319,75	344



Şekil A.1. 150°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik değerleri



Şekil A.2. 150°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemetleri grafiği

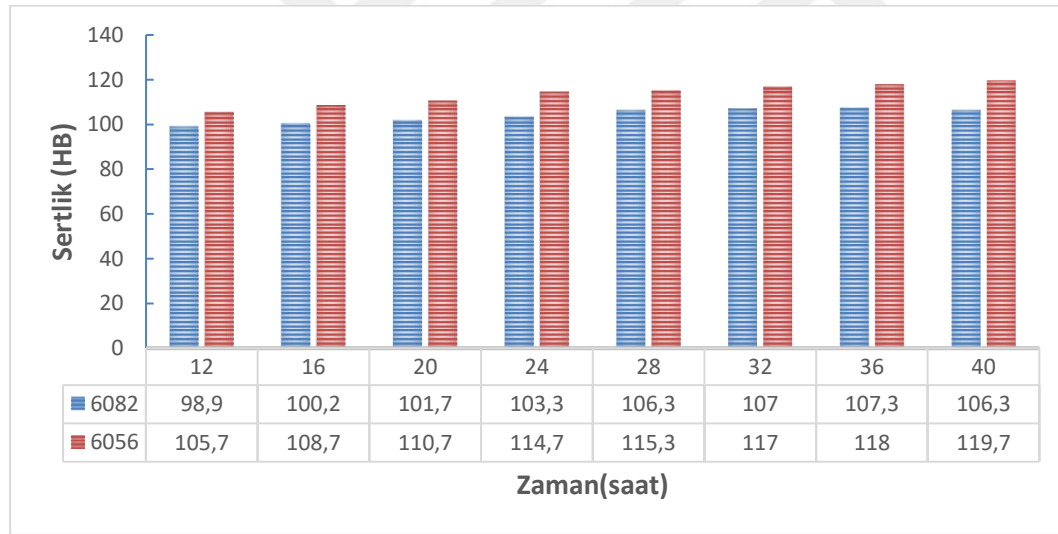


Şekil A.3. 150°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen akma mukavemetleri grafiği

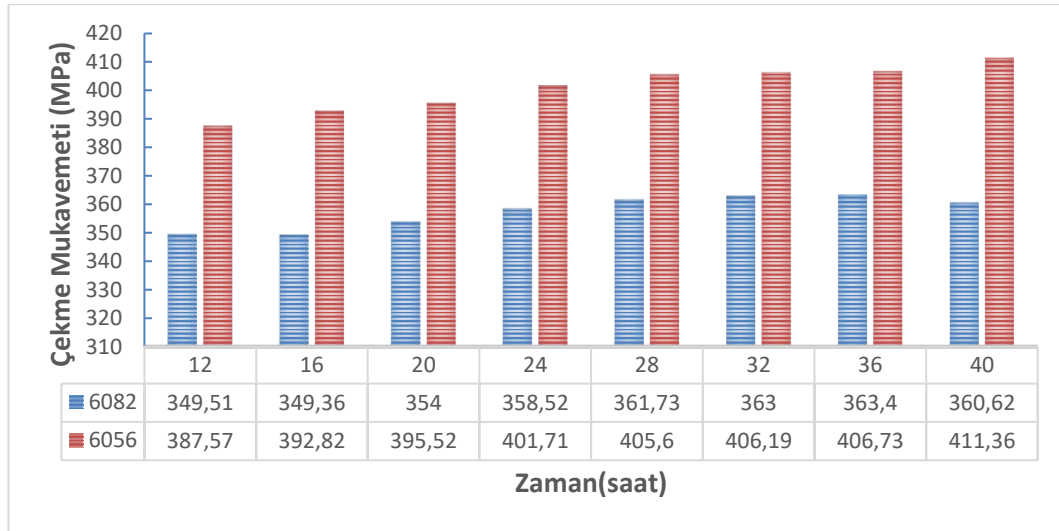
EK B. 165°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Tablo B.1. 165°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri.

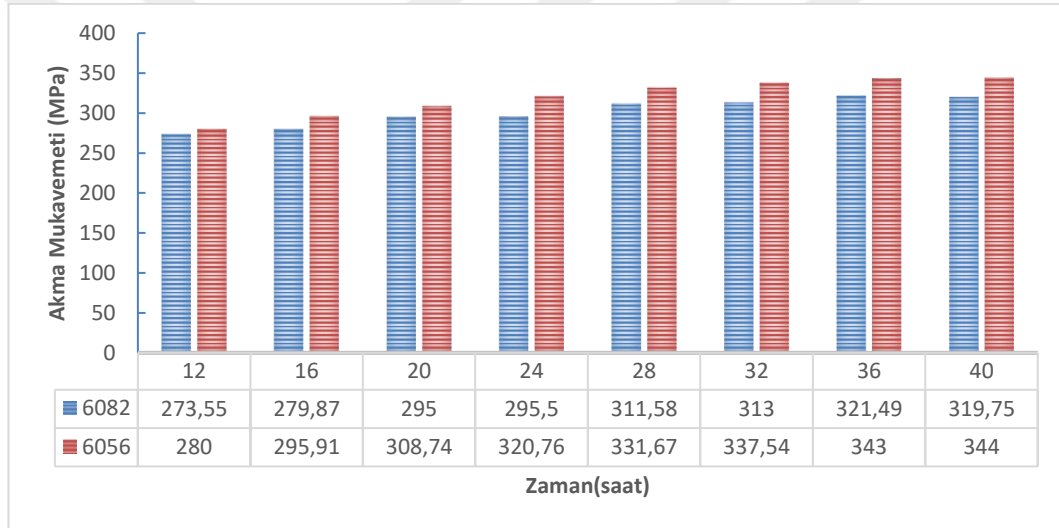
Saat	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)	
	6082	6056	6082	6056	6082	6056
8	103,3	119,7	342,23	403,17	294,38	354,53
10	104	123,7	351,94	407,19	306,76	359,65
12	107,7	123	354,27	413,33	312,69	361,58
14	107,3	124	356,49	416,64	323,7	370,36
16	109,3	125	359,51	409,29	326,87	367
18	108	124	357,11	410,35	324	371,78
20	108	122,7	356,81	411,91	323	371,72



Şekil B.1. 165°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik değerleri



Şekil B.2. 165°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemetleri grafiği

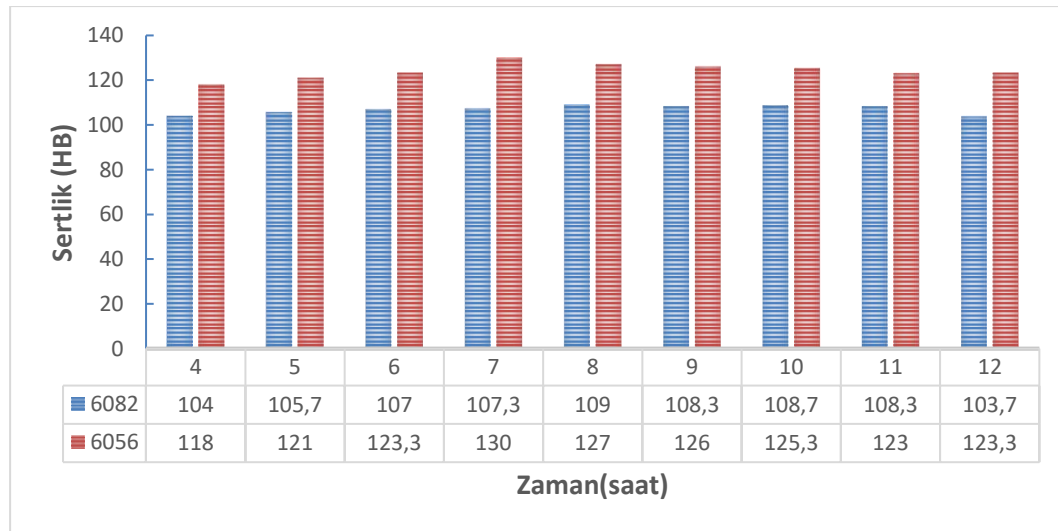


Şekil B.3. 165°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen akma mukavemetleri grafiği

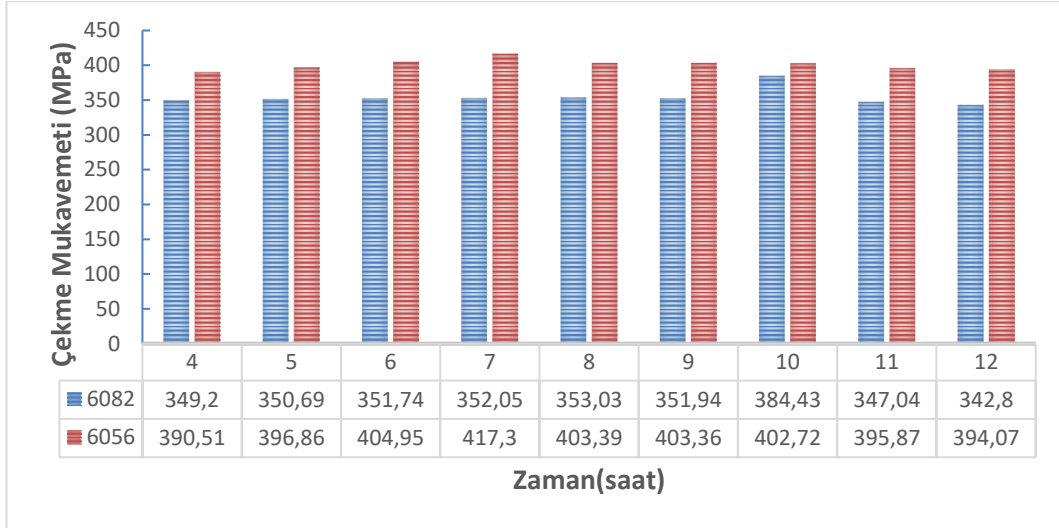
EK C. 180°C SICAKLIKTAKI YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Tablo C.1. 180°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri.

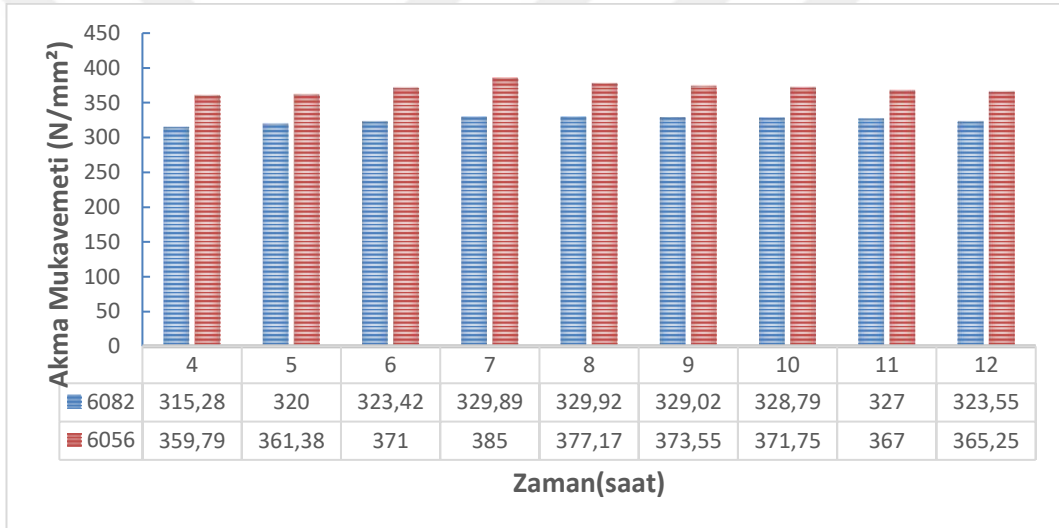
Saat	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)	
	6082	6056	6082	6056	6082	6056
4	104	118	349,2	390,51	315,28	359,79
5	105,7	121	350,69	396,86	320	361,38
6	107	123,3	351,74	404,95	323,42	371
7	107,3	130	352,05	417,3	329,89	385
8	109	127	353,03	403,39	329,92	377,17
9	108,3	126	351,94	403,36	329,02	373,55
10	108,7	125,3	384,43	402,72	328,79	371,75
11	108,3	123	347,04	395,87	327	367
12	103,7	123,3	342,8	394,07	323,55	365,25



Şekil C.1. 180°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik değerleri



Şekil C.2. 180°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemetleri grafiği

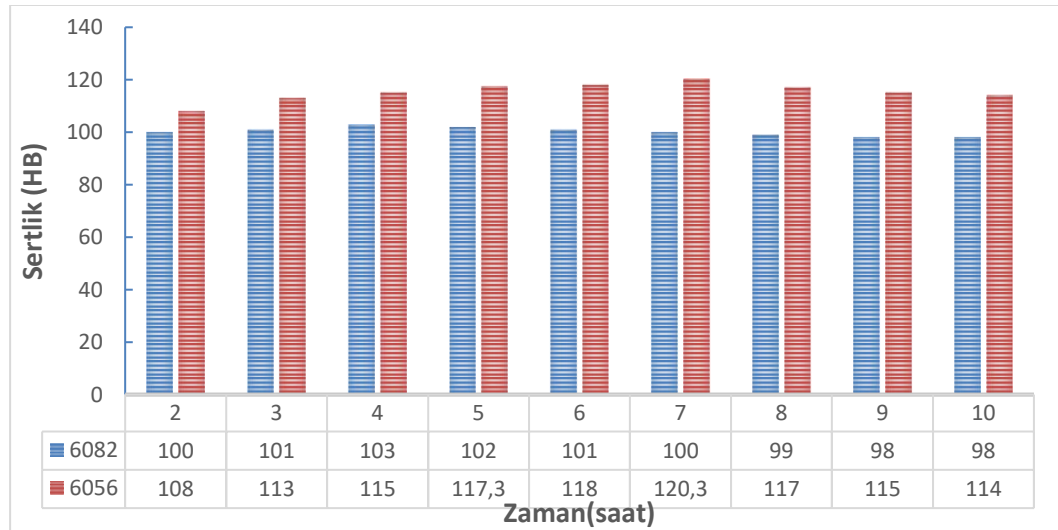


Şekil C.3. 180°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen akma mukavemetleri grafiği

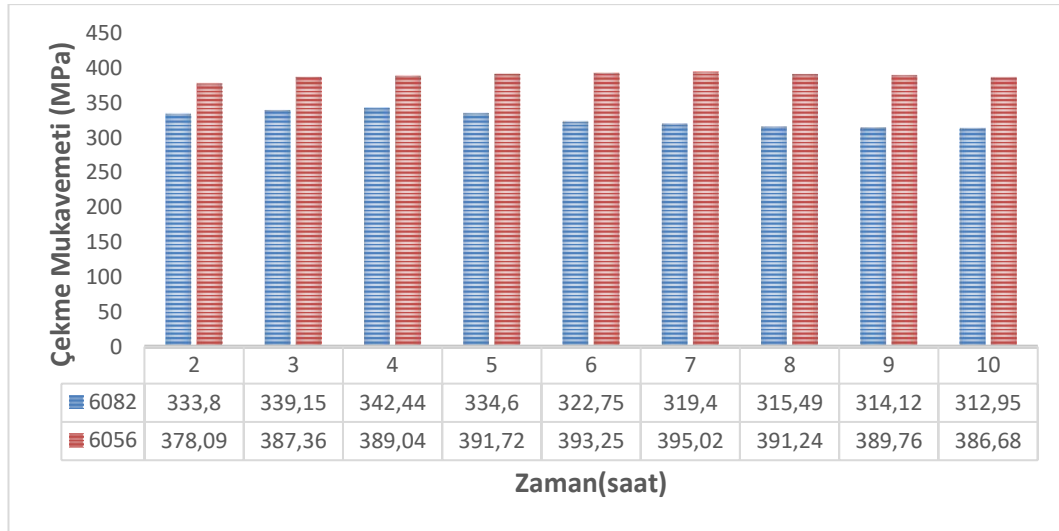
EK D. 195°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Tablo D.1. 195°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri.

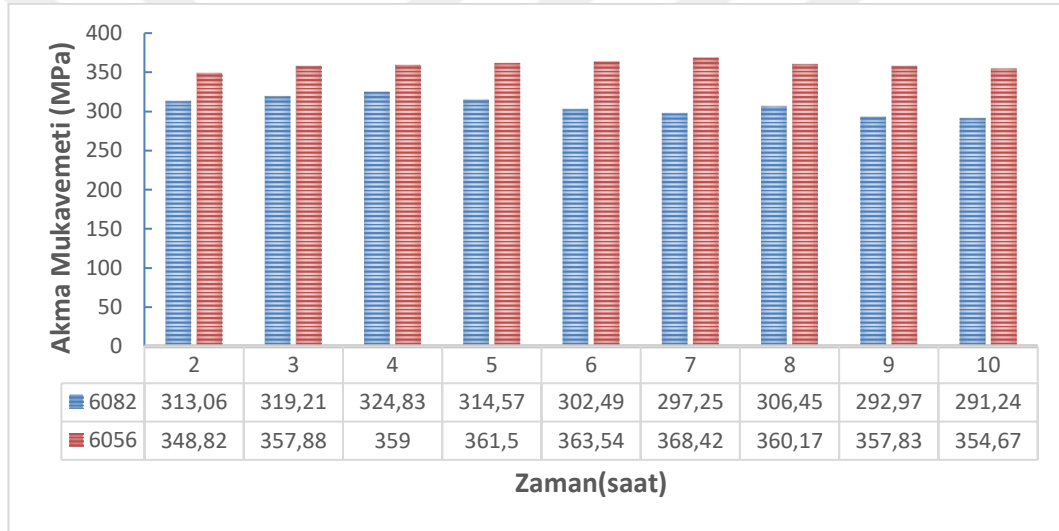
Saat	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (MPa)	
	6082	6056	6082	6056	6082	6056
2	100	108	333,8	378,09	313,06	348,82
3	101	113	339,15	387,36	319,21	357,88
4	103	115	342,44	389,04	324,83	359
5	102	117,3	334,6	391,72	314,57	361,5
6	101	118	322,75	393,25	302,49	363,54
7	100	120,3	319,4	395,02	297,25	368,42
8	99	117	315,49	391,24	306,45	360,17
9	98	115	314,12	389,76	292,97	357,83
10	98	114	312,95	386,68	291,24	354,67



Şekil D.1. 195°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik değerleri



Şekil D.2. 195°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemetleri grafiği

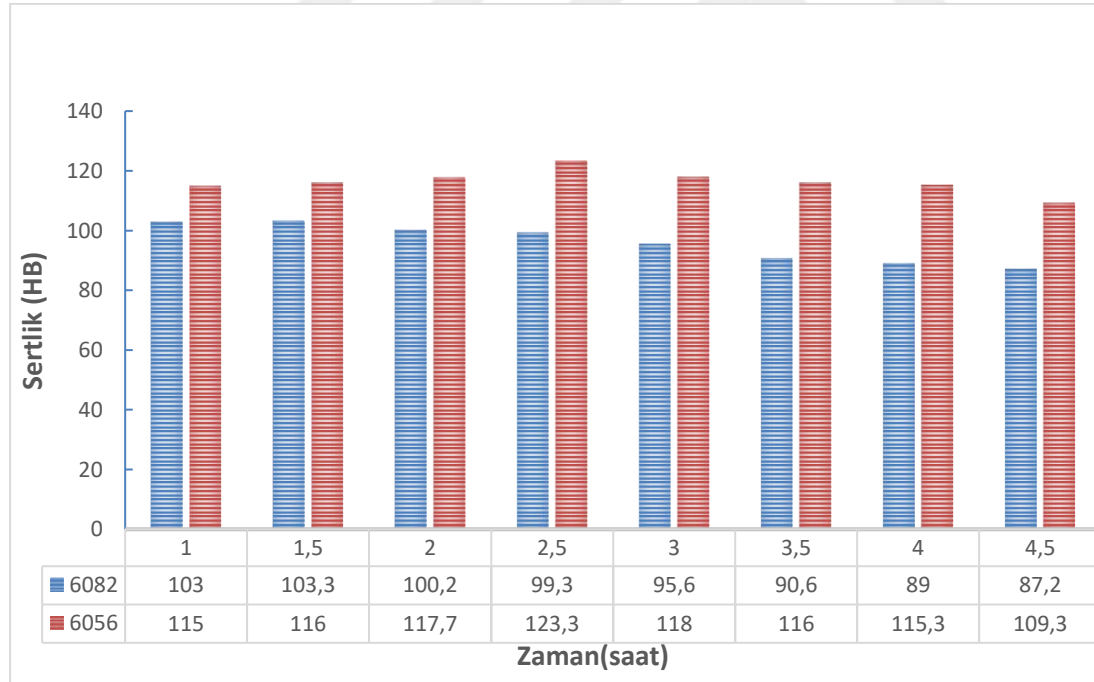


Şekil D.3. 195°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen akma mukavemetleri grafiği

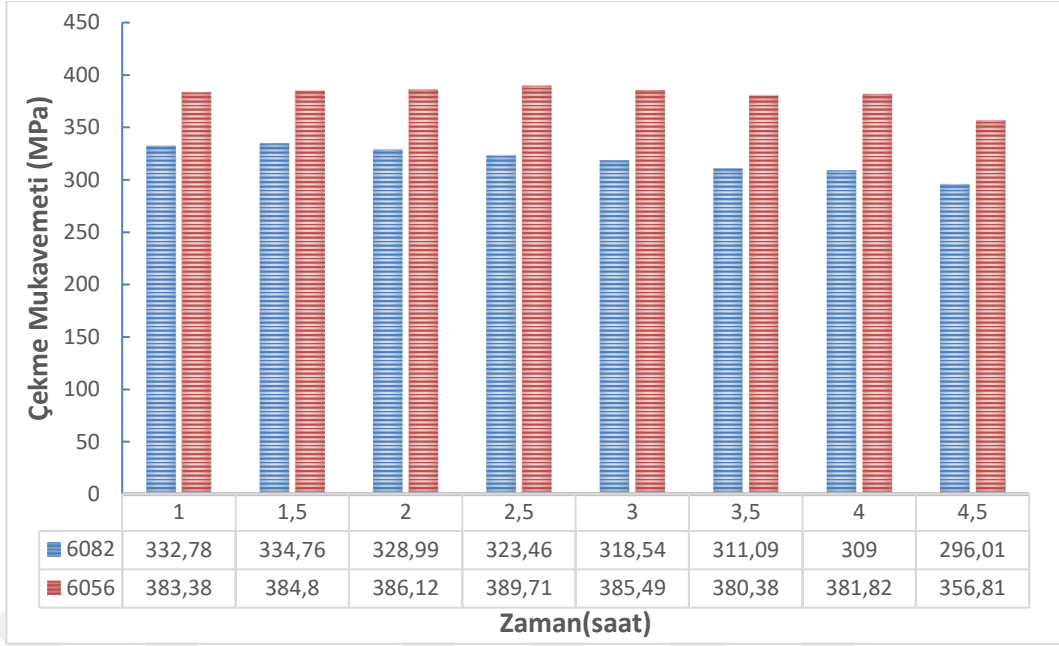
EK E. 210°C SICAKLIKTA YAPILAN SUNİ YAŞLANDIRMA İŞLEMİ

Tablo E.1. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik, çekme ve akma mukavemeti değerleri.

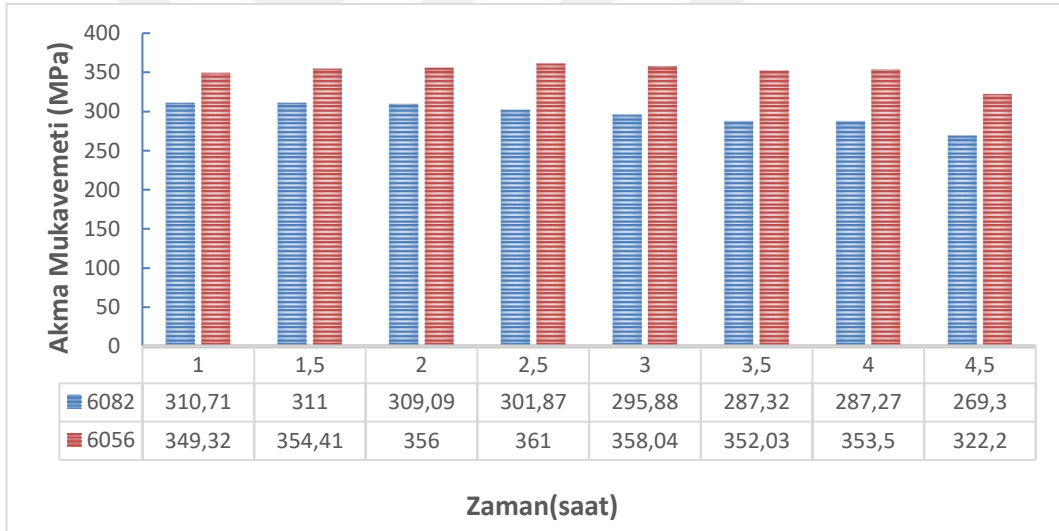
Saat	Sertlik (HB)		Çekme Mukavemeti (MPa)		Akma Mukavemeti (Mpa)	
	6082	6056	6082	6056	6082	6056
1	103	115	332,78	383,38	310,71	349,32
1,5	103,3	116	334,76	384,8	311	354,41
2	100,2	117,7	328,99	386,12	309,09	356
2,5	99,3	123,3	323,46	389,71	301,87	361
3	95,6	118	318,54	385,49	295,88	358,04
3,5	90,6	116	311,09	380,38	287,32	352,03
4	89	115,3	309	381,82	287,27	353,5
4,5	87,2	109,3	296,01	356,81	269,3	322,2



Şekil E.1. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen sertlik değerleri grafiği



Şekil E.2. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen çekme mukavemetleri grafiği



Şekil E.3. 210°C sıcaklıkta yapılan suni yaşlandırma işlemi sonucunda elde edilen akma mukavemetleri grafiği



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Dilek DENİZ

ÖĞRENİM DURUMU :

- **Lisans** : 2019, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği
- **Lisans** : 2019-Halen, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme Bölümü (Açık Öğretim)
- **Yükseklisans** : 2020-Halen, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 15.02.2021-Halen, Sistem Alüminyum San. ve Tic. A.Ş. Proses Kalite Mühendisi