

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

**AA 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA
HOMOJENLEŞTİRME İŞLEMİNİN ISIL İŞLEM
SONRASI ÖZELLİKLERE ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Filiz ÖZKAN

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME
MÜHENDİSLİĞİ**
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sakin ZEYTİN

Ağustos 2020

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Filiz ÖZKAN

13.08.2020

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenden fazlasını sunan her sorun yaşadığımda yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve danışman hoca statüsünü hakkıyla yerine getiren Prof. Dr. Sakin ZEYTİN'e teşekkürü bir borç biliyor ve şükranlarımı sunuyorum. Yine çalışmamda konu, kaynak ve yöntem açısından bana sürekli yardımda bulunarak yol gösteren ve gelecekteki hayatında çok daha başarılı olacağına inandığım kıymetli Doç. Dr. Tuba YENER'e de sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Teşekkürlerin az kalacağı diğer üniversite hocalarıma da bana üniversite hayatım boyunca kazandırdıkları her şey için ve beni gelecekte söz sahibi yapacak bilgilerle donattıkları için hepsine teker teker teşekkürlerimi sunuyorum ve son olarak çalışmamda desteğini ve bana olan güvenini benden esirgemeyen Damla AKKOÇ'a ve beni bu günlere sevgi ve saygı kelimelerinin anlamlarını bilecek şekilde yetiştirerek getiren ve benden hiçbir zaman desteğini esirgemeyen bu hayattaki en büyük şansım olan annem Ayşe ÖZKAN'a sonsuz teşekkürler.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ALÜMİNYUM VE GENEL ÖZELLİKLERİ.....	4
BÖLÜM 3.	
ALÜMİNYUM ÜRETİMİ, TÜKETİMİ VE TİCARETİ.....	7
3.1. Birincil Alüminyum Üretimi	7
3.1.1. Boksit	7
3.1.2. Alümina	8
3.2. İkincil Alüminyum Üretimi	8
BÖLÜM 4.	
ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	10

4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması	10
4.1.1. AA alüminyum serilerinin önemli özellikleri ve genel kullanım yerleri.....	11
4.1.1.1. 1000 serisi	12
4.1.1.2. 2000 serisi	11
4.1.1.3. 3000 serisi	11
4.1.1.4. 4000 serisi	12
4.1.1.5. 5000 serisi	12
4.1.1.6. 6000 serisi	13
4.1.1.7. 7000 serisi	13
4.1.1.8. 8000 serisi	13
4.1.2. Dövme alüminyum alaşımları.....	14
4.1.3. Döküm alüminyum alaşımları.....	17
 BÖLÜM 5.	
ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SERTLEŞTİRME VE ISIL İŞLEMLER...	21
5.1. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem ve Kullanılan Semboller.....	21
5.2. Alüminyum Döküm ve Döküm Alaşımları	27
5.3. Alaşım Elementleri ve Alüminyum Alaşımına Etkileri	28
5.3.1. Bakırın alüminyum üzerine etkisi.....	29
5.3.2. Silisyumun alüminyum üzerine etkisi.....	29
5.3.3. Magnezyumun alüminyum üzerine etkisi.....	29
5.3.4. Manganın alüminyum üzerine etkisi.....	30
5.3.5. Çinkonun alüminyum üzerine etkisi.....	30
5.3.6. Demirin alüminyum üzerine etkisi.....	30
5.3.7. Geçiş metallerinin alüminyum üzerine etkisi.....	30
5.4. Isıl İşlem Uygulanabilen ve Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları	31
5.4.1. Tavlama.....	32
5.4.2. Yaşlandırma ısı işlemi.....	35

5.4.3. Yaşlandırma koşulları.....	38
5.4.4. Çözeltiye alma ısı işlemi.....	39
5.4.5. Çökeltme sertleşmesi.....	41
5.4.6. Çökelme sertleşmesi ısı işlemi.....	43
5.4.6.1. Çözündürme ısı işlemi.....	44
5.4.6.2. Hızlı soğutma.....	44
5.4.6.3. Yaşlandırma (çökeltme) işlemi.....	45
5.5. Isıl İşlemlerde Mukavemet Arttırma.....	45
5.6. Al-Zn-Mg Alaşımlarında Meydana Gelen Dönüşümler.....	46
 BÖLÜM 6.	
DENEYSEL ÇALIŞMA.....	49
6.1. Gerekçe.....	49
6.2. Deneysel Malzemesi.....	50
6.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	51
6.4. Deneysel Çalışma Programı.....	51
6.5. Mikroyapı İncelemeleri.....	52
6.5.1. Optik mikroskop incelemeleri.....	52
6.5.2. Taramalı elektron Mikroskobu.....	53
6.5.3. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) incelemesi.....	53
6.6. Sertlik Ölçümleri.....	53
 BÖLÜM 7.	
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	54
7.1. Mikroyapı İncelemeleri.....	54
7.1.1. Optik mikroskop incelemeleri.....	54
7.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri.....	60
7.1.3. EDS analizleri.....	70
7.1.4. Elemental haritalama.....	88

7.2. Sertlik Ölçümleri.....	91
7.3. Tartışma.....	97
7.4. Genel Sonuçlar ve Öneriler.....	100
KAYNAKLAR.....	102
ÖZGEÇMİŞ.....	106



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Al	: Alüminyum
BHN	: Brinell Hardness Number/Brinell Sertlik
Cu	: Bakır
Fe	: Demir
HV	: Hardness Vickers/Vickers Sertlik
Si	: Silisyum
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu/Scanning Electron Microscope
Mn	: Mangan
MPa	: Mega Paskal
nm	: Nanometre
µm	: Mikrometre
Zn	: Çinko

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Alüminyumun periyodik tablodaki yeri.....	4
Şekil 4.1. Al - Zn ikili faz diyagramı	17
Şekil 5.1. Al - Cu ikili faz diyagramı.....	31
Şekil 5.2. Al - Cu ikili denge diyagramı	36
Şekil 5.3. a) Al içindeki Cu'nun en yüksek çözünürlüğü, b) % 0.4 Cu - Al alaşımının yaşlandırma işlemi sonucunda oluşan yapıları	37
Şekil 5.4. Yaşlandırma süreçlerini, çözündürmeyi ve çökelme sertleşmesini içeren	39
Şekil 5.5. Yapı içerisinde çözünen atomun çözen atomun kafes yapısında dağılımı	41
Şekil 5.6. a) Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, b) Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti	42
Şekil 5.7. Çökeltiiler arasında yarım halka şeklinde oluşan dislokasyonlar	43
Şekil 5.8. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı	43
Şekil 5.9. 7xxx alaşımlarının yüksek yaşlandırma sıcaklıklarında meydana gelen yapısal dönüşümler	47
Şekil 6.1. Şematik Olarak Deneysel İşlem Aşamaları	52
Şekil 7.1. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C'de homojenleştirilmiş haldeki optik mikrografları: a)Homojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C'de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4).....	55
Şekil 7.2. 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C'de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrografları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat	

yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 56

Şekil 7.3. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrografları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 58

Şekil 7.4. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrografları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 59

Şekil 7.5. Homojenleştirilmemiş çözeltiye alınıp su verilmiş ve 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış numunede a) ve b) diferensiyel interferens kontrast, ve c) ve d) polarize ışık uygulaması ile tane sınırlarındaki farklı fazları ayırt etmek mümkündür 60

Şekil 7.6. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C’de homojenleştirilmiş haldeki taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500X büyütme): a)Hojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4)..... 61

Şekil 7.7. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat

yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 63

Şekil 7.8. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 64

Şekil 7.9. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 65

Şekil 7.10. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C’de homojenleştirilmiş haldeki taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000X büyütme): a)Hojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4)..... 66

Şekil 7.11. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış..... 67

Şekil 7.12. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a)

Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.....	68
Şekil 7.13. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.....	69
Şekil 7.14. Homojenleştirilmemiş (alındığı halde)numuneden alınan EDS analizleri.....	71
Şekil 7.15. Homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınıp su verilmiş (T4) numuneden alınmış EDS analizleri.....	72
Şekil 7.16. 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş numuneden alınan EDS analizleri.....	73
Şekil 7.17. 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, takiben 530°C’de 90 dakika çözeltiye alınıp su verilmiş numuneden alınan EDS analizleri.....	74
Şekil 7.18. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numunenin EDS analizleri.....	75
Şekil 7.19. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış numunenin EDS analizleri.....	76
Şekil 7.20. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış numune.....	77
Şekil 7.21. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 170oC’de 4 saat yaşlandırılmış numune.....	78
Şekil 7.22. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 170°C’de 6 saat yaşlandırılmış numune.....	79
Şekil 7.23. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 180oC’de 4 saat yaşlandırılmış numune.....	80

Şekil 7.24. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış numune.....	81
Şekil 7.25. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numune.....	82
Şekil 7.26. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış numune.....	83
Şekil 7.27. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 170°C’de 4 saat yaşlandırılmış numune.....	84
Şekil 7.28. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 170°C’de 8 saat yaşlandırılmış numune.....	85
Şekil 7.29. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış numune.....	86
Şekil 7.30. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış numune.....	87
Şekil 7.31. Homojenleştirme işlemine tabi tutulmamış ve 170°C’de 8 saat yaşlandırılmış numunenin x-ışınları elementel dağılım haritaları.....	89
Şekil 7.32. Homojenleştirme işlemine tabi tutulmuş ve 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numunenin x-ışınları elementel dağılım haritaları.....	90
Şekil 7.33. Homojenleştirilmemiş malzemenin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması.....	93
Şekil 7.34. Homojenleştirilmiş malzemenin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması.....	94
Şekil 7.35. Homojenleştirilmemiş malzemenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması.....	95
Şekil 7.36. Homojenleştirilmiş malzemenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması.....	96

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Yeryüzünde en çok bulunan on elementin kimyasal sembolleri ve bulunma sıklıkları.....	1
Tablo 2.1. Katı Alüminyum metalinin 20 °C. deki saflığıyla yoğunluğu oranı için örnek verilen değerler	5
Tablo 2.2. Katı Alüminyum metalinin 200 °C. deki saflığıyla ısı iletkenliği oranı için örnek verilen değerler.....	5
Tablo 2.3. Alüminyum metalinin özelliklerinin bazı diğer metaller ile karşılaştırılması	6
Tablo 3.1. Türkiye Boksit Rezervleri	8
Tablo 4.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	10
Tablo 4.2. Dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması	14
Tablo 4.3. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim aralıkları.....	20
Tablo 5.1. Alüminyum alaşımlarında simge dizileri	21
Tablo 5.2. Döküm Alüminyum alaşımlarındaki simgeleme dizileri	27
Tablo 5.3. Bazı Alaşım elementlerinin katılma sıcaklığında ve oda sıcaklığında.	28
Tablo 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alüminyum 7075 alaşımının kimyasal bileşimi.....	51
Tablo 7.1. Sertlik Takip Tablosu	92

ÖZET

Anahtar kelimeler: AA7075 alaşımı, homojenleştirme, çözeltiye alma, yaşlandırma, sertlik, mikroyapı incelemesi, SEM

Bu çalışmada, homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş haldeki AA7075 alaşımının T6 ısıtma işlemi uygulandıktan sonrasındaki sertlik ve mikroyapılarındaki değişimler incelenmiştir. Çalışma kapsamında dökülmüş haldeki AA7075 ingottan çıkarılan disk iki parçaya ayrılmış ve bu parçalardan birine 480°C 5 saat homojenleştirme işlemi uygulanmış, diğerine ise uygulanmamıştır. Sonrasında her iki numune grubuna 530°C 90dk çözeltiye alma ve su verme işlemleri (T4) uygulanmıştır. Homojenleştirilmemiş, homojenleştirilmiş ve bunların T4 işlemi görmüş hallerinden 20mmx20mm ölçülerinde toplamda 22 adet numune hazırlanmıştır. 1 nolu numune hiçbir işleme tabi tutulmamış (dökülmüş halde, homojenleştirilmemiş) ve referans numunesi olarak kullanılan numunedir. Bu grubun çözeltiye alınıp su verilmiş hali ile 3 farklı sıcaklık ve 3 farklı sürede yaşlandırılmış numuneler ile bir gruptan 11 numune mevcuttur. Homojenleştirilmiş gruptan da 11 numune bulunmaktadır. Yaşlandırma işlemi üç farklı sıcaklıkta (160°C, 170°C ve 180°C) ve farklı sürelerde (4 sa, 6 sa ve 8 sa) uygulanmıştır.

İşlemler uygulanan numunelere metalografik yüzey hazırlama işlemi uygulanmış ve hazırlanan numuneler mikroskop ile incelenerek görüntüleri kaydedilmiştir. Sonrasında bu numuneler optik mikroskop (OM) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiş ve bulunan fazların kimyasal analizleri enerji dağılımlı x-ışınları spectral analizi (EDS, x-ray energy dispersive spectroscopy) ile yapılmıştır. Son olarak parlatılmış numuneler üzerinde Vickers sertlik değerleri ölçülmüştür. Bu bulgular incelenerek homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numunelerin yaşlandırma sonrasındaki mikroyapı ve sertlikleri değerlendirilmiş ve homojenleştirme işleminin etkileri ortaya konulmuştur.

Sonuç olarak; homojenleştirme işlemi ile mikroyapı önemli ölçüde farklılaşmış, dendritik yapı ortadan kaldırılmıştır. Buna bağlı olarak sertlik değerinde bir düşüş yaşanmıştır. Takip eden çözeltiye alma işlemi de bir tür homojenleştirme işlemi gibi etki yaptığı için çözeltiye alınıp su verme ve yaşlandırma işlemleri sonucunda mikroyapı farklılıkları ve buna bağlı olarak sertlik farklılıkları ortadan kalkmıştır. Homojenleştirme işlemi görmemiş ve görmüş numuneler mikroyapısal olarak ve sertlik açısından benzer özellikler sahiptir. Bu sebeple homojenleştirme işleminin ısıtma işlem sonrası mikroyapı ve sertlik özelliklerine belirgin bir etkisi olmadığı tespit edilmiştir.

THE EFFECTS OF HOMOGENIZATION PROCESS AFTER HEAT TREATMENT PROPERTIES IN AA 7075 ALUMINUM ALLOY

SUMMARY

Keywords: AA7075 alloy, homogenization, solution, aging, hardness, microstructure examination, SEM

In this study, the changes in the hardness and microstructures of the non-homogenized and homogenized AA7075 alloy after T6 heat treatment were investigated. The disc removed from the cast AA7075 ingots within the scope of the study was divided into two parts and one of these parts was homogenized at 480 ° C for 5 hours, and the other was not. Subsequently, solution treated and quenching processes (T4) were applied to both sample groups at 530°C 90 min. A total of 22 samples, 20mmx20mm in size, were prepared from non-homogenized, homogenized and T4 treated. Sample 1 is the sample that has undergone no treatment (as-cast alloy, homogenized) and we use as the reference sample. There are 11 samples from one group and 3 samples with different temperatures and 3 different ages in this solution. There are also 11 samples from the homogenized group. Aging was applied at three different temperatures (160°C, 170°C and 180°C) and at different times (4 h, 6 h and 8 h).

Metallographic surface preparation process was applied to the samples and the prepared samples were examined by microscope and their images were recorded. Afterwards, these samples were examined by optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM) and chemical analysis of the phases were done by energy dispersive x-ray spectral analysis (EDS, x-ray energy dispersive spectroscopy). Finally, Vickers hardness values were measured on polished samples. By examining these findings, the microstructure and hardness of non-homogenized and homogenized samples after aging were evaluated and the effects of the homogenization process were revealed.

As a result; with the homogenization process, the microstructure was changed significantly and the dendritic structure was eliminated. Accordingly, there was a decrease in hardness value. Since the subsequent solutionizing process also acts as a kind of homogenization process, microstructure differences and accordingly hardness differences disappeared as a result of water quenching and aging processes. Samples that non-homogenized and homogenized have similar microstructural and hardness properties. For this reason, it is determined that homogenization process does not have a significant effect on microstructure and hardness properties after heat treatment.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Yeryüzünün bileşiminde silisyumdan ve oksijenden sonra en çok görülen üçüncü element Alüminyum olmasına rağmen, endüstriyel çapta üretimi 1886 yılında elektroliz yönteminin kullanımıyla gerçekleşmiştir [1].

Tablo 1.1. Yeryüzünde en çok bulunan on elementin kimyasal sembolleri ve bulunma sıklıkları

Element	Oksijen	Silis	Alüminyum	Demir	Kalsiyum	Sodyum	Potasyum	Magnezyum	Titanyum	Hidrojen
Kimyasal Simgesi	(O)	(Si)	(Al)	(Fe)	(Ca)	(Na)	(K)	(Mg)	(Ti)	(H)
Doğada Bulunabilirlik Oranı(%)	47.3	27.7	7.9	4.5	3.5	2.5	2.5	2.2	0.5	0.1

Alüminyumun saf halde bulunamamasının sebebi kimyasal aktivitesinin yüksek olmasıdır. Bu nedenle alüminyum silikat, demir oksit ve alüminyum silikat, demir oksit ve alüminyum oksitten oluşan boksit (bauxite) cevherinden elde edilir. Metalik alüminyum hakkında ortaçağ sonlarına kadar pek bilgi bulunmamasının sebebi budur. Tablo 1.1.'de görülebildiği gibi, yerkabuğunun içinde 250 farklı alüminyum minerali vardır ve % 7,9'u alüminyumdur. Bu minerallerin en önemli grupları oksit hidratlar ve silikatlardır. Boksit, günümüzde alüminyum üretiminin en önemli bileşimidir ve bir alüminyumhidrattır. Kriyolit ise doğal olarak oluşmuş bir mineral olup, alüminyum halojen bileşikler grubuna dâhildir [2].

Bir alüminyum minerali olan alum Yunanlılar ve Romalılar tarafından harç olarak kullanılıyordu. J.H. Pott, 1746 yılında alumdan alüminayı (Al_2O_3) ayırdı. İçerisinde A.L. Laosier'inde olduğu birkaç bilim adamı alüminanın bilinmeyen bir metalin oksidi olduğuna inanıyorlardı. Alüminyumun oksijene ilgisinin fazla olması sebebiyle, karbon dahil bilinen indirgeyiciler onun oksidinin redüklenmesinde etkili olmadığı gözlemlenmişti. H. Davy, 1807 yılında alüminyum oksit halindeki

bileşiginden ilk ayıran ve kısmi olarak elde eden kişi oldu. Elektrotermik ve elektrokimyasal yöntemle küçük miktarda Al-Fe alaşımını ayırmayı başarmış ve buna alüminyum ismini vermiştir [1].

1825 yılında, H.C.Oersted, alüminyum bir çeşit civalı bileşik olan potasyum amalgamının alüminyum klorüre etkisi sonucu açığa çıkan üründen civayı ayırarak elde etti. Fakat bu yeni metalin özelliklerini tespit edemedi. Sadece rengini ve çinkonun parlaklığına sahip olduğunu gözlemledi. İki yıl sonra F.Wöhler, iki yıl sonra alüminyum klorür ile metalik potasyumu ısıtıp karıştırarak küçük miktarda gri toz şeklinde alüminyum üretti [60]. ($\text{AlCl}_3 + 3\text{K} \rightarrow \text{Al} + 3\text{KCl}$) Ancak elde edilen bu metalik alüminyumun özellikleri tespit edilemedi. Wöhler, sonraki yıllarda Alüminyum ile ilgili belirsizliklere geri döndü. Bu kez, ergimiş potasyum üzerinden buhar halindeki AlCl_3 'ü geçirerek her biri 10-15 mg olan alüminyum küreciklerini ortaya çıkardı. Üretilen alüminyumun dövülebilme, ergime noktası, yoğunluğu ve çekme özellikleri tespit edildi. Alüminyumun elde edilmesi ve özelliklerinin tespit edilmesinin ilk dönemi Wöhler'in bu çalışmalarıyla kapanmıştır [2].

Teknik alüminyum üretimini ikinci dönem olarak adlandırabiliriz. İkinci dönem H.St.Claire Deville tarafından başlatılmıştır. Deville, alüminyum ısı indirgeme yoluyla sodyum tetrakloralüminattan üretti. Böylece indirgen olarak, çok pahalı olan potasyum yerine sodyum ortaya çıktı. Alüminyum üretimi için çok pahalı bir proses olduğu gözlemlenmişti bu sebeple Deville, 3. Napolyon hükümetinden araştırma için para yardımı aldı. Alüminyum metali örnekleri Paris'te sergilenirken Alüminyum'un hafifliği onun üzerindeki ilginin büyük oranda artmasına sebep oldu. İlk üretilen alüminyumda %92 oranında saflık yakalanmıştı ve safsızlık kısmındaki ana bileşenler demir ve silisyumdu [1].

1854 yılından sonra kaliteyi ve üretimi arttırma, üretim maliyetini düşürme gibi çalışmalar yapılarak üretim teknolojisi sürekli iyileştirilmesi amaçlanmıştır. O tarihlerde üretim maliyetinin yüksekliği yüzünden altın ve gümüş gibi kıymetli metaller ile birlikte sınıflandırılmaktaydı. Fransa'da ilk kurulan tesiste günde 2

kg/gün'de alüminyum üretilirken, 1857'de bu miktar 50kg/gün'e, saflığı da % 96-97'ye erişti. Tüm bu gelişmelere ve iyileştirmelere rağmen, ikinci dönemde alüminyum üretimi beklenen düzeylere erişemedi. Bugünkü endüstriyel alüminyum üretiminin temeli olan proses için 23 Nisan 1886'da P.L.T. Heroult ve 9 Temmuz 1886'da C.M. Hall tarafından, birbirlerinden habersiz olarak, ergimiş kriyolit içerisinde çözünen alüminadan elektroliz yoluyla alüminyum üretimi için patent istemeleri ile üçüncü dönem başladı. Bu sebeple Hall-Heroult olarak adlandırılan bu prosesin endüstriyel olarak uygulanmasıyla alüminyum üretiminde hızlı bir artış görülmeye başlandı [2].

Günümüzde birincil alüminyum üretiminde hala bu yöntem kullanılmaktadır. Bu yüzden 1886 yılı alüminyum endüstrisinin başlangıcı olarak kabul edilir. 1892 yılında K.J. Bayer'in, boksitten alümina elde edilmesini sağlayan Bayer prosesini bulması ve 1886 yılında Werner Von Siemens'in dinamoyu keşfi ile alüminyumun endüstriyel çapta üretimi kolaylaşmış ve kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu sayede demir çelikten sonra dünyada en çok kullanılan ikinci metal alüminyum olmuştur. 1980 yılından sonra alüminyum üretiminde büyük bir artış olmamıştır [1].

BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE GENEL ÖZELLİKLERİ

Alüminyum ve alüminyum alaşımları işlenebilme, düşük yoğunluk, iyi korozyon direnci, elektrik iletimi gibi birçok özelliği ile diğer malzemelerden farklıdır. Bu nedenle alüminyum ve alüminyum alaşımları otomotiv ve uçak endüstrisinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Sözü edilen uçak ve otomotiv endüstrisinde yüksek dayanımlı hafif metallerin kullanılması talep edilmektedir. Alüminyum ve Alüminyum alaşımlarının düşük yoğunluğa sahip ve korozyon direncinin yüksek olması, birçok uygulama alanlarında kullanılması açısından oldukça önemlidir [3, 4].

Atom Numarası	13	Atom ağırlığı	26,98
Kaynama noktası, °C	2519	Yükseltgenme basamakları	+3,+2,+1
Ergime Noktası, °C	660	Sembolü	Al
Yoğunluğu (g/cm ³)	2,70	Elektron dizilimi	[Ne]3s ² 3p ¹
		Elementin adı	Alüminyum

Şekil 2.1. Alüminyumun periyodik tablodaki yeri

Alüminyum'un bazı özellikleri mühendislik uygulamalarında kullanımını sağlamaktadır. Bunlar;

- Alüminyum'un sertliği demirden daha düşüktür ve demirden yaklaşık üç kat daha hafiftir.
- Diğer metaller ile alaşımlandırıldığında, yoğunluğu az miktarda artar fakat buna karşın mekanik özellikleri oldukça yüksek bir artış gösterir.
- Alüminyum 2.7 g/cm³ olan yoğunluk değeri ile Magnezyum ve Berilyumdan sonra en hafif 3.metaldir. Hem katı halde hemde sıvı halde alüminyum saflık miktarı arttıkça yoğunluğu azalmaktadır. Tablo 2.1.'de katı metalin saflığı ve

yoğunluğu arasındaki oranlara dair birkaç örnek verilmiştir.

- Elektroliz şartlarında (950°C de) alüminyumun yoğunluğu 2,303 iken, özgül ağırlığı yalnızca 2,7'dir.
- Magnezyum ve Berilyumdan sonra en hafif metal olan Alüminyumun yoğunluğu 2.7 g/cm³'dür.

Tablo 2.1. Katı Alüminyum metalinin 20 °C. deki saflığıyla yoğunluğu oranı için örnek verilen değerler [5].

Al (%)	D (g/cm ³)
99,25	2,727
99,40	2,706
99,75	2,703

Alüminyumun iletkenliği bakırın iletkenliğinin yalnızca % 60'ı kadar olmasına rağmen düşük yoğunluğu yüzünden birim kütleye düşen iletkenlik olarak karşılaştırıldığında bakırdan daha yüksek iletkenliği vardır. Örneğin 20 mm çapındaki bir alüminyum telin elektrik direnci, 12 mm çapında bir bakır telin elektrik direncine eşdeğer olmasına rağmen, alüminyum tel daha hafiftir. Enerji iletim hatlarında kullanılan teller açısından bu çok önemli bir etkidir. Araştırmalar neticesinde; alüminyumdaki safsızlıklar iletkenliği farklı ölçülerde etkilerler: Altın, berilyum, nikel, silisyum, demir ve çinkonun iletkenliğe etkisi oldukça azdır. Bakır, gümüş, magnezyum iletkenliği daha kuvvetli olarak düşürürler. Alüminyumun ısı iletkenliğinin yüksek olması sebebiyle bazı ısı kazanı parçalarının imalatında kullanılmaktadır. Alüminyumun saflığı arttıkça ısı iletkenliği artmaktadır. Bu oranlara Tablo 2.2.'de bazı değerler ile örnek verilmiştir.

Tablo 2.2. Katı Alüminyum metalinin 200 °C. deki saflığıyla ısı iletkenliği oranı için örnek verilen değerler

Al (%)	Isı iletkenliği (cal/cm s °C)
99.489	0,5
99.70	0,531

Alüminyumun korozyona olan yüksek direnci yaygın olarak kullanım nedenlerinden biridir. Alüminyum'un bu özelliği sayesinde Kimya ve besin sanayinden inşaat sanayine ve ev eşyalarına dek çok geniş bir alanda kullanılmaktadır. Alüminyumun havada ince fakat çok sıkı bir alüminyum oksit tabakasıyla kaplanması sebebiyle bu

kadar mukavemetlidir. Elektron mikroskobu ile yapılan gözlemlerde bu oksit tabakanın sık ve gözeneksiz olduğunu göstermektedir. Bu tabaka, metali oksitlenmenin ilerlemesine karşı korur ve ona yüksek bir mukavemet sağlar. Metalik parlak alüminyumun yüzeyindeki bu koruyucu alüminyum oksit tabakası yaklaşık 0,2 μ kalınlığındadır.

Esneklik katsayısı, mekanik özellikleri arasında en önemli olanıdır. Alüminyum'un esneklik katsayısı değeri çeliğin esneklik katsayısı değerinin üçte birine eşit olduğu için çelik yerine alüminyum kullanılmaya karar verilirse, alüminyumda esnemenin çeliğe göre üç kat daha fazla olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

Alüminyum sertliği 19-20 BHN değer arasında olup, alüminyum alaşımlarında ise 120 BHN değerine kadar yükselebilir. Alüminyumun çekme dayanımı ise 9 MPa değerinde iken, bazı yaşlanabilir alaşımlarda 65 MPa değerinin üstüne kadar çıkabilir.

Tablo 2.3. Alüminyum metalinin özelliklerinin bazı diğer metaller ile karşılaştırılması [5].

ÖZELLİK	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elektrik Direnci (Ohm.mm ² /2), 10 ²	Isı İletkenliği (cal/cm ² /cm ² °C)	Isıl Genleşme Kat. (mm/mm°C), 10 ⁻⁶	Ergime Sıcaklığı °C	Yanma Isısı (kcal/kg)	Uzama (%)	Sertlik (BHN)
Al	2,70	2,66	0,52	24	660	6970	43	19
Cu	8,94	1,68	0,92	16,7	1083	-	50	25
Fe	7,87	9,8	0,19	11,9	1535	1600	48	70
Zn	4,1	6,00	0,27	33	420	1270	-	-
Mg	1,74	4,46	0,37	25,7	651	6000	-	-

Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırmalı olarak bazı özellikleri Tablo 2.3.'de görülmektedir [5].

Isıl işlemler metallerde mekanik özellikleri, mikroyapıyı ve kalıntı gerilme durumlarını değiştirmekte olup bir dizi soğutma ve ısıtma işlemlerini kapsamaktadır. Alüminyum alaşımlarının dayanım ve sertliklerini çökelme işlemi ile sağlanabilmektedir [6].

BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM ÜRETİMİ, TÜKETİMİ VE TİCARETİ

3.1. Birincil Alüminyum Üretimi

3.1.1. Boksit

Dünyada 55 ile 75 milyar ton arasında boksit rezervi olduğu düşünülmekte olup, bunun 25 milyar tonunun işlenebilir rezerv niteliğinde olduğu tahmin edilmektedir. Bu boksit rezervinin, %33'ü Güney Amerika, %27'si Afrika, %17'si Asya, %13'ü Okyanusya ve %10'u diğer ülkelerde yer almaktadır [7].

Orta doğu bölgesi, birincil alüminyum üretiminde en hızlı gelişmenin yaşandığı bölge olarak gösterilmektedir. Körfez ülkeleri, birincil alüminyum üretiminde yeni projeler ile sektördeki payını yükseltmektedir.

Hammaddeye yakınlık, pazara yakınlık ve enerji fiyatları; alümina, boksit ve ikincil alüminyum üretimi için pazarın şekillenmesinde önemli rol oynamaktadır. Bu faktörler pazarın şekillenmesinde oldukça büyük rol alsada aslında küresel düzeydeki oyuncuların pazara hakimiyet çabası ve yüksek rekabet pazarın gidişatını tayin etmektedir. Küresel çapta oyuncular, boksit rezervlerine sahip bölgelerde boksit madenlerini ve alümina rafinerilerini yönetmekte bununla birlikte daha ucuz enerji kaynakları bulunan ülkelerde ise smelter yatırımlar yapıp birincil alüminyumunu en uygun şartlarda üretmektedir. Bunun sonucunda küresel çapta oyuncuların stratejik planları doğrultusunda konumlarına göre ülkeler yer edinmektedir [8].

Ülkemizdeki 422 milyon tonluk rezerv potansiyelinin (dünya boksit rezervinin %1'ine tekabül etmektedir) %95'i Toros kuşağı içerisinde bulunmaktadır. Bu rezervin 57,3 milyon tonunun görünür rezerv olduğu bilinmektedir. İşletilebilir

boksit rezerv oranı ise %0,2'dir. Ülkemizin dünya boksit üretiminde %0,5'lik oranda payı vardır. Ülkemizde bulunan boksit yataklarından %88'i oranında diasporitik, demirli diasporitik ve lateritik tip boksitlerden oluşmaktadır. Tüm bu tipteki boksitlerin tamamı Toros kuşağı içerisinde. Seydişehir-Akseki bölgesindeki rezervler ülkemizde bulunan en zengin metalürjik boksit yatakları olup, işletilebilir rezerv oranının 36 milyon ton olduğu düşünülmektedir [7].

Tablo 3.1. Türkiye Boksit Rezervleri [9]

BOKSİT REZERVİ (bin ton)	BÖLGE	Seydişehir-Akseki	Muğla-Milas-Yatağan	Tufanbeyli-Saimbeyli	Zonguldak-Kokaksu	Yalvaç-Şarkıkaraağaç	İslahiye-Payas	Bolkardağı-Mersin	Alanya	Toplam
	Görünür	35.251	9.400	5.500	5.900	0	0	0	1.300	57.351
	Muh.+Müm.	1.253	11.200	6.000	3.400	115.600	215.600	3.900	7.700	364.553
	Toplam	36.504	20.600	11.500	9.300	115.600	215.600	3.900	9.000	421.904
	İşletilebilir	31.000	17.500	9.800	5.000	0	0	0	0	63.300
CEVHER TİPİ	Böhmitik	Diasporitik	Diasporitik	Böhmitik	Demirli- Diasporitik	Demirli- Diasporitik	Diasporitik	Diasporitik		

3.1.2. Alümina

Dünyada birincil alüminyum üretimi özellikle II. Dünya Savaşı'ndan itibaren hızla artmıştır. Demir dışı metaller arasında en çok kullanılan metal alüminyum olmuştur.

3.2. İkincil Alüminyum Üretimi

Sınırlı olan doğal kaynakları gelecek nesillerin ulaşabilmeleri için, sürdürülebilir kalkınma arayışı içerisinde, tüketimlerinin azaltılması, enerji harcanmasının azaltılması ve çevrenin korunması için hurda olan alüminyumlar toplatılarak yeniden değerlendirilmek üzere ikincil alüminyum sektöründe değerlendirilir.

Hurdadan üretilen alüminyumun toplamdaki alüminyum üretimi içerisindeki payı oldukça yüksektir ve artmaya devam etmektedir.

Alüminyum hurda talebinin yüksek oranda kısmı içecek kutularından dolayı oluşmakta olup, dünya ikincil alüminyum üretiminde içecek kutularının oranı %27-%55 arasında olmaktadır. Bu oran ülkelerdeki yaşam standartlarına ve nüfus miktarlarına bağlı olarak artış eğilimi göstermektedir [10].



BÖLÜM 4. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, iki grupta sınıflandırılır. Bunlar; Dövme alaşımları ve Döküm alaşımlarıdır. Alüminyum içerisine eklenen alaşım elementleri başta çekme dayanımı olmak üzere malzemenin özelliklerini ve mukavemetini değiştirmektedir. Alüminyum içerisine eklenen başlıca elementler; Manganez, silisyum çinko, magnezyum, bakır ve bazen kurşun , titanyum ve nikeldir [4].

Tablo 4.1. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [11, 12]

	1XXX	2XXX	3XXX	4XXX	5XXX	6XXX	7XXX	8XXX
DÖVME ALAŞIMLARI	İçeriği Ticari Saflikta Al (>%99 Al)	Al-Cu	Al-Mg	Al-Si veya Al- Mg-Si	Al-Mg	Al-Mg-Si	Al-Zn- Mg	-
	Isıl İşlem	Yaşlandırılmaz	Yaşlandırılabilir	Yaşlandırılmaz	Magnezyum varsa yaşlandırılabilir	Yaşlandırılmaz	Yaşlandırılabilir	-
DÖKÜM ALAŞIMLARI	İçeriği Ticari Saflikta Al	Al-Cu	Al-Si-Cu Al-Mg-Si	Al-Si	Al-Mg	Al-Ms-Si	Al-Zn- Mg	Al-Sn
	Isıl İşlem	Yaşlandırılmaz	Yaşlandırılabilir	Kısmen yaşlandırılabilir	Yaşlandırılmaz	Yaşlandırılmaz	Yaşlandırılabilir	Yaşlandırılabilir

4.1.1. AA alüminyum serilerinin önemli özellikleri ve genel kullanım yerleri

4.1.1.1. 1000 serisi

Saf olarak yada çok az alaşım elementi ihtiva eden malzemelerdir. Levha, profil yada folyo haline getirilmesi oldukça kolaydır. Derin çekme işlemi için oldukça uygundur. EC grubundaki iletkenlerin yapımında ve korniş, pencere ve kapı profili ve çeşitli eşyaların yapımında önemli rol oynar. Bazı temel özellikleri; yüksek korozyon direnci, yüksek elektrik iletkenliği, yüksek ısı ve düşük mekanik özelliklerinin yanında yüksek işlenebilirliği gösterilmektedir. Bu serideki malzemelerde deformasyon sertleşmesi ile azda olsa mukavemet elde edilebilir [5, 13].

4.1.1.2. 2000 serisi

2000 serisinde ana alaşım elementi bakırdır. Isıl işleme gereksinimi vardır. Alaşım sertleştirildiğinde çekme dayanımı yükselir ve 490Mpa'a yükselir. Korozyon direnci düşük olması sebebiyle galvaniz engelleme gerekliliği artabilir. Katı eriyik ısıl işlemi bu alaşımın en iyi özelliklerini elde etmek için yapılır. Yüksek dayanım ve düşük ağırlığın gerekli olduğu uçak, vagon gibi sanayilerde kullanımı yaygındır. Bakırın alaşım içindeki değeri %12'ye kadar artarak dayanımın yükselmesini sağlamaktadır. %12'nin üzerine çıkarsa yapıda gevreklik oluşturabilir. Isıl işlem yapıldıktan sonraki özellikleri döküm çeliğinden bile daha yüksek olabilmektedir. Mekanik özellikleri dahada arttırmak için suni yaşlandırma yöntemi kullanılabilir. En yüksek gerilim mukavemetindeki etkisi ise fazla değildir. 2000 serisindeki alaşımlarının korozyon direnci diğer seridekilere göre daha düşüktür. Bazı durumlarda taneler arası korozyon görülebilmektedir [5, 13].

4.1.1.3. 3000 serisi

%1-1,5 civarlarında mangan ana alaşım elemanı olarak bulunmaktadır. İçeriğindeki az miktarda silisyum ve demir de malzemeyi karakterize eder. Bu serideki alaşımlar iyi işlenebilir olarak görülmektedir ve orta dayanımlıdır. Tanklar, toplama kaplarında

ve çeşitli levha çalışmalarında sıklıkla kullanılır. Bu serideki alaşımlar ısı işleme yatkın olmamakla birlikte, kolay işlenebilirler ve kaynak işlemine oldukça yatkındırlar [5, 13].

4.1.1.4. 4000 serisi

4000 serisi alaşımlarda ana alaşım elementi silisyumdur. Ergime sıcaklığının düşüklüğü, esnekliği ve dekoratif görünümü bu seride öne çıkan özelliklerdir. Mimari uygulamalar, lehim teli gibi alanlarda kullanımı vardır. Ana alaşım elementi olan silisyum ilave edilirken ergime derecesini düşürürken kırılganlık yaratmamasına dikkat edilir. Bundan dolayı Al-Si alaşımları; lehim, tel kaynatma işlemlerinde anametalden daha düşük ergime sıcaklığı olması gereken yerlerde kullanılmaktadır. Bu serideki birçok alaşıma ısı işleme uygulanamaz. Yüksek oranda silisyum içeren alaşımlara anodik oksidasyon işlemi uygulandığında rengi koyu gri ye döner. Yüksek silisyumlu dökümler, vites kutularında, içten yanmalı motorlarda nikel gibi metallerin ilavesiyle de piston üretiminde kullanılır. Bu seride silisyum oranı %13 üzerine çıkarsa alaşımın işlenmesi güçleşmektedir [5, 13].

4.1.1.5. 5000 serisi

Ana alaşım elementi magnezyumdur. Çekme dayanımı, aşınma direnci, deniz atmosferine karşı korozyon direnci, kaynak edilebilirliği ve sertliği en başta gelen özellikleridir. Soğuk şekillendirme için uygun değildir. Yüksek dayanım ve sertlik isteyen yapılarda kullanılmaktadır. Manganın sertleştirici etkisi magnezyum kadar yüksek değildir. İçeriğinde yaklaşık %10 magnezyum bulunduran bir alaşıma tavlama işlemi uygulandıktan sonra diğer alüminyum döküm alaşımlarından daha yüksek çekme mukavemeti, uzama ve darbeye karşı mukavemete sahiptir. Alaşımda Magnezyum içeriği %6 dan yüksek olduğunda çökelme sertleşmesi görülmektedir. Bu seriye dahil olan alaşımlar iyi kaynak edilebilirliğe ve deniz şartlarında yüksek korozyon direncine sahiptir [5, 13].

4.1.1.6. 6000 serisi

Bu seride silisyum ve magnezyum elementleri ana alaşım elementleridir. Bu serideki alaşımlar ilaç, kimya ve gıda sanayisinde kullanıma uygundur. Alaşımın mekanik dayanım derecesi orta seviye olmakla birlikte, ısııl işleme oldukça yatkındır ve korozyon direnci başlıca özellikleridir. Bu seride en yaygın kullanıma sahip ve en iyi ısııl işlenebilirleğe sahip alaşım 6061 alaşımıdır. 6061 alaşımındaki sertleşme sebebi Mg_2Si metaller arasındaki kimyasal bileşimin sıcaklık ile değişen çözünürlüğünden dolayı olduğu görölmektedir. Bu alaşım saf alüminyumdan daha düşük korozyon direncine sahiptir. Alaşımın mukavemeti 251 ile 408MPa arasında değişkenlik göstermektedir [5, 13].

4.1.1.7. 7000 serisi

%5 dolaylarında çinko ana alaşım elementi olarak bulunur. İçeriğindeki çinko oldukça yüksek çekme dayanımı sağlar. Önemli kullanım yerleri; kamyon kasaları, tavan vinçleri, uçak, mühimmat sanayi parçalarıdır. Ana alaşım elementi olan çinko az miktarda magnezyum ile birlikte kullanıldığında oldukça yüksek mukavemetli ve ısııl işlem uygulanabilirliğı oldukça yüksek olan alaşımlar meydana gelmektedir. Alaşıma eklenen çinko malzemenin dökülebilirliğini düşürmektedir. Çinko ihtiva eden alaşımlar soğuma çekmesi ve sıcak çatlamaya uğrayabilirler. Normalde %8'den yüksek alaşımlar gerilmeli korozyon çatlamasına uğradıkları tespit edilmiştir. Buna rağmen diğer alaşım elementleride bulunduğunda dayanımı oldukça yükselmektedir [5, 13].

4.1.1.8. 8000 serisi

Ana alaşım elementi olan lityum %2 civarlarında bulunur ve malzemeye hafiflik, yüksek akma ve çekme mukavemeti sağlar. Havacılık, uzay sanayisi gibi alanlarda kullanımı vardır. Yorulma dayanımlarıda oldukça yüksektir [5, 13].

4.1.2. Dövmе alüminyum alaşımları

Dövmе alaşımları Tablo 4.2.'de görülebileceği gibi dört basamaklı sayısal sistem ile sınıflandırılmaktadır. Alüminyumun içerdiği alaşım yada saflığı son iki basamak ile belirtilir. İkinci basamak ise orijinal alaşımın modifikasyonu yada impürite sınırını belirtir [4, 6, 10].

Tablo 4.2. Dövmе alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [4, 6, 10]

Dövmе alüminyum alaşım grupları	
1xxx	%99.0 veya daha fazla Al içerir.
2xxx	Cu ana alaşım elementidir.
3xxx	Mn ana alaşım elementidir.
4xxx	Si ve Cu veya Mg ana alaşım elementidir.
5xxx	Mg ana alaşım elementidir.
6xxx	Mg ve Si ana alaşım elementidir.
7xxx	Zn ana alaşım elementidir.
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Yaygın olarak kullanılmayan seri

Bu alaşımlar ise doğal sert alaşımlar ve ısıtıl işlem ile sertleşen alaşımlar olarak iki grupta sınıflandırılır. Talep edilen harici şekilleri elde etmek için dökme, dövme, çekme, ekstrüzyon ve haddeleme gibi mekanik işlemler uygulanır. Mikroyapıyı değiştirmek, mukavemet, süneklik ve sertlik gibi mekanik özelliklere ısıtıl işlem uygulanarak müdahale edilebilmektedir [4].

Ticari saflıktaki alüminyuma %1,2 civarında Mangan ve (%6 demir ve %0,2 Silisyum ihtiva eden) ilave edilerek ısıtıl işlem uygulanamayan ve dayanımı orta seviyede olan alüminyum alaşımı elde edilir. Bu şekilde mangan ilave edilmesi mukavemetlenmesinin sebebi olarak katı eriyik mukavemetlenmesi ve ince dağılım çökmesi gösterilebilmektedir.

5xxx serilerinde ikili alüminyum-magnezyum alaşımlarına ısıtıl işlem uygulanamaması temelini oluşturmaktadır. Alüminyum alaşımında magnezyum önemli miktarda çözünürlüğe (451°C'de % 14,9) sahiptir ve sıcaklık azaldıkça katı eriyebilirlik miktarı düşmektedir. Alüminyum-magnezyum alaşımlarında magnezyum oranı %7 nin altına düştüğünde hatırı sayılır bir çökme sertleşmesi

gerçekleşmemektedir. Buna rağmen magnezyum alüminyum mukavemetini katı eriyik mukavemetlenme mekanizması ile artırır. Bu şekilde pekleşme özelliğinde katmaktadır.

Alüminyum-magnezyum alaşımlarına ısıtıl işlem yapılması mümkün değildir ama bununla birlikte içeriğinde %4'den fazla magnezyum bulunduran alaşımlar (5083, 5086 ve 5456 gibi) için tavlama sıcaklığında çözünen magnezyum miktarı oda sıcaklığında katı eriyik olarak kalan miktardan fazladır. Bunun sonucunda bu tip alaşımlar şiddetli bir şekilde pekleşir ve daha sonra uzun süre oda sıcaklığında bekletildiğinde kayma bantları boyunca Mg_2Al_3 çökeltileri oluşur. Bu tavllanmış alaşımlar yüksek sıcaklara maruz bırakıldıklarında tane sınırları boyunca çökeltiler oluşacaktır. Alüminyum alaşımlarındaki bu çökeltiler korozif ortamda gerilim korozyonuna karşı hassas hale getirir [4].

%5,5 Cu içeren 2025 alaşımı ABD'de geliştiren ilk dövülmüş ikili Al-Cu alaşımıdır. Bu alaşım 1926'da ortaya çıkmasına rağmen endrüstide kullanımı oldukça sınırlıdır. 2025 alaşımı 1926 yılında ortaya çıkan %6,3 Cu içeren 2219 alaşımına bırakmıştır. 2219 alaşımının dayanımı daha geniş ve yüksek aralıktadır, üstün korozyon direncine sahiptir, kaynak edilebilirliği önde gelen özellikleridir.

Çökelme yöntemiyle sertleştirilebilen ilk alaşımlar Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımlarıdır. İlk çökelti sertleştirilmesi uygulanan alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşımın içeriği; %4 Cu, %0,6 Mg ve %0,7 Mn'dir. Daha sonra geliştirilen 2014 alaşımı yapay yaşlandırmaya daha fazla tepki vermektedir. 2014 alaşımının içeriği; % 4,4 Cu, %0,5 Mg, %0,8 Si'dur ve günümüzde en çok kullanılan Al-Cu-Mg alaşımlarından biridir. Magnezyum içeriğini %0,5'den %1,5'e çıkarmakla yüksek dayanım elde edilmektedir. Alüminyum-bakır alaşımlarına magnezyum ilave edilmesi bakır alaşımlarındaki çökelti sertleşmesinin önemli oranda hızlanmasını sağlamakla birlikte yoğunlaştığı görülmektedir. Al-Cu-Mg alaşımları erken bulunmalarına rağmen çökelme işlemiyle ilgili detaylar tam olarak anlaşılamamıştır [4].

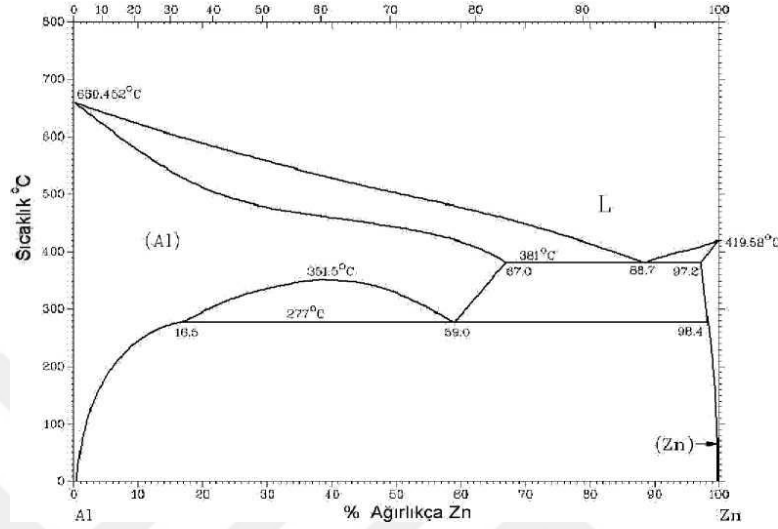
Dövülmüş çökelti sertleştirilebilen Al-Mg-Si alaşımları magnezyum (%0,6-1,2) ve silisyum (%0,4-1,3) ile 6xxx serilerinin temelini oluşturmaktadır. Alüminyum alaşımlarında normal miktarlarda magnezyum ve silisyum metaller arası Mg_2Si bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak amacıyla bulunmaktadır. Ancak Mg_2Si için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir. Birçok 6xxx serisinde magnezyum ve krom dayanımı arttırmak ve tane boyutu kontrolü için eklenmektedir. Bu tip alaşımların dayanımını bakır da arttırmaktadır. Ancak alaşımın yapısında %0,5'den yüksek olması durumunda korozyon direnci azalmaktadır.

Alüminyum alaşımlarında % 4-8 Zn ve % 1-3 Mg kombinasyonları, dövülmüş ısıt işlemler uygulanabilen alüminyum alaşımlarının 7xxx serilerini üretmek için kullanılmaktadır. Bu tip alaşımların bazıları, herhangi alüminyum esaslı ticari alaşımların en yüksek dayanım özelliklerini arttırmaktadır. Çinko ve magnezyumun her ikisi de alüminyumda yüksek katı eriyebilirliğe sahiptir. Genellikle yüksek çökelti sertleşmesi özelliklerini geliştirmektedir. % 1-2 bakır ilavesi ile uçak malzemelerinde kullanılabilecek alüminyum alaşımları üretilmektedir.

Yoğun araştırmaların sonucu olarak 1943'de 7075 alaşım tanıtıldı. 7xxx serisinin bu üstün üyesinin başarılı gelişimi, bu alaşımdan yapılan levhanın gerilim, korozyon, çatlama direncini büyük ölçüde iyileştiren kromun faydalı etkisi ile mümkün hale getirilmiştir. Alaşım 7075 % 5,6 Zn, % 2,5 Mg, % 1,6 Cu ve % 0,3 Cr içermektedir. 7075 alüminyum alaşımının yüksek bir dayanım modifikasyonu 1951'de geliştirilmiştir. Bu tip yüksek miktarda Zn, Mg ve Cu içermektedir. Ticari üretimde yüksek dayanım alaşımı 7001, 1960'da tanıtılmıştır ve %1,4 Zn, %3 Mg ve %2,1 Cu içermektedir. Bakırsız (% 0,1'den az) alüminyum-çinko-magnezyum alaşımları da geliştirilmiştir. Bunlar orta dayanım değerlerine ve kaynaklanabilirliğe sahiptirler. 7004 ve 7005 gibi alaşımlar kamyon gövdeleri, treyler parçaları, taşınabilir köprüler ve tren yolu arabaları için kullanılmaktadır [4].

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından, 7xxx serisine ait, ticari 7075 alüminyum alaşımı uçaklarda yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu alaşım % 5-6 Zn, % 2-3 Mg, yaklaşık olarak % 1,5 Cu ve az miktarda Cr, Mn, Ti, Zr ve Ag

içermektedir. Alaşımda Cr, Mn, Ti, Zr ve Ag kristalleşme davranışını kontrol etmek ve çöktürmeleri modifiye etmek için kullanılan elementlerdir [4, 14]. Şekil 4.1.'de Al - Zn ikili faz diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.1. Al - Zn ikili faz diyagramı [14]

4.1.3. Döküm alüminyum alaşımları

Döküm alaşımları, plastik deformasyon ile şekillendirilen dövme alaşımlarından çok farklı mikroyapı ve kompozisyondadırlar [11, 12].

Bu gruptaki döküm alaşımları akışkanlık, süneklik ve korozyon direnci gibi çeşitli döküm sınıfları için geliştirilmiştir. Bu sebeple bunları kimyasal bileşimleri dövme alüminyum alaşımlarından farklıdır. Dört basamaklı sınıflandırma sistemi kullanılmaktadır. Bu sistem ile alaşımların dökümü ve dökümhane ingotu şeklini belirtmede kullanılır. İlk basamakta alaşım grubu görülmektedir. Son basamak bir kesir işaretiyle ayrılır ve ürünün biçimini (dökümler ve ingot) gösterir. Alaşım veya impurite sınırlarının uygulaması sayısal gösterimden önce seri harfle gösterilmektedir. “x” harfi deneysel alaşımlar için kullanılmaktadır. Alüminyum alaşımları yaygın olarak 3 gruba ayrılmaktadır.

En önemli ticari döküm alaşımları üstün döküm özelliklerinden dolayı, ana alaşım elementi silisyum içeren alaşımlardır. Alüminyum-silisyum alaşımları ergiyik

durumda akıcılığı yüksek olmasının yanında katılaşma sırasında akıcılığının homojenliği sayesinde çok az sıcak yırtılmaya uğrar. Silisyum saf alüminyumun korozyon direncini azaltmamakla birlikte bazı ortamlarda (orta asidik) korozyon direncini yükseltmektedir. İkili alüminyum-silisyum alaşımlarında ısıtılma işlemi uygulanması mümkün değildir. %1,65 oranında silisyum alüminyum içerisinde çözülebilir ve bu silisyum katı eriyik içerisinde çökelemediği için ancak çok az miktarda sertleşme sağlamaktadır [4, 15].

Döküm Alüminyum-silisyum alaşımlarının az miktarda(yaklaşık %0,35)magnezyum eklemesi ile dayanım özellikleri iyileştirilebilmektedir. A356 alaşımı kullanılan en önemli alüminyum döküm alaşımıdır. Bu alaşım içeriği %7 silisyum ve %0,35 magnezyumdan oluşmaktadır. İçeriğine eklenen silisyum dökülebilirliği iyileştirmek için, magnezyum ise ısıtılma işlemi uygulanabilir hale getirmek için eklenmektedir. Alaşımdaki Mg_2Si oranı %0,5-0,6 aralığındadır. Bu alaşımdaki çökelti mukavemetlenmesinin sebebi olarak Mg_2Si kararlılığı gösterilmektedir.

Döküm alüminyum alaşımının yapay yaşlandırılmasıyla optik olarak mikroyapısı değişmez fakat alaşımın mukavemetlenmesini sağlayan kararsız çökeltilerin ince bir dağılımının olduğu tespit edilmiştir. A356 alaşımının yapısına ergiyik haldeyken %0,025 Na ilave edilirse kum döküm ötektik yapısının incelendiği tespit edilmiştir. Bu ötektikte bulunan silisyum parçacıkları ufalarak açısı azalır. Bu küçülme neticesinde yavaş soğutulmuş kum dökümün mekanik özelliklerinde az miktarda iyileşme görülmektedir. Ancak amaç hem kalıcı kalıp hemde kum kalıplarda besleme özelliklerinin iyileşmesidir. Küçük silisyum parçacıklarının katılaşma evresinde sıvı metalin akışkanlığına daha az olumsuz etki gösterdiği görülmektedir. Sonuç olarak sodyum ile modifiye edilmiş alaşımlar motife edilmemiş alaşımlardan daha iyi kalitede yüzey elde edilmekte ve dentritler arasındaki çekilme daha azalmaktadır [4, 15].

Alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımlarının yerini nerdeyse alüminyum-bakır döküm alaşımları almıştır. Alüminyum-bakır alaşımlarının yerini almasının başlıca nedenleri, zayıf dökülme özellikleri, korozyon dirençlerinin düşük olması ve

alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımlarından yüksek özellikli ağırlıklara sahip olmalarıdır [4].

1980’li yıllarda uzay ve hava araçlarının ağırlıklarını azaltmak amacıyla alüminyum-lityum alaşımları ortaya çıkmıştır. Sıvı oksijen ve uzay araçları için hidrojen yakıt tankları gibi soğuk uygulamalar içinde çalışılmıştır. Buna rağmen lityumun yüksek maliyetinden ve işlemler için özel donanım gerektiğinden dolayı Al-Li alaşımlarının bedeli üç-beş kat yüksektir. Bu yüzden bu alaşımların uygulamasında ağırlığın öncelikli olduğu alanlar önde gelmektedir. İkili Al-Li alaşımları düşük kırılma tokluğu ve sünekliğe sahip olmaya meyilli olduklarından dolayı Al-Li alaşımları, daha homojen çökeltileler sağlayarak mukavemetlendirme için bakır ve bakır-magnezyum alaşımları içermektedir.

Yaşlanabilen alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşimlerinin aralıkları Tablo 4.3.’de gösterilmiştir. Tabloda görülebileceği gibi 7075 alüminyum alaşımına yaşlandırma işlemi uygulanabilmektedir.

Tablo 4.3. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim aralıkları [16, 17]

Alaşım	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Diğer
2011	0.4	0.7	5.0-6.0	-	0.2-0.8	0.3	-	-	0.2-0.06 Bi 0.2-0.6 Pb
2014	0.5-1.2	0.7	3.9-5.0	0.4-1.2	0.4-0.8	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr-Ti
2017	0.2-0.8	0.7	3.5-4.5	0.4-1.0	1.3-1.8	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr+Ti
2618	0.1-0.25	0.9-1.3	1.9-2.7	-	0.02	0.1	-	0.04 0.10	0.9-1.2Ni
2219	0.2	0.3	5.8-6.8	0.2-0.4	0.02	0.1	-	0.02 0.10	0.05-0.15 V 0.10-0.25 Zr
2021	0.21	0.3	5.8-6.8	0.2-0.4	1.2-1.8	0.1	-	0.02 0.10	0.1-0.25 Zr 0.05-0.2 Cd
2024	0.5	0.5	3.8-4.9	0.3-0.9	1.2-1.8	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr+Ti
2124	0.2	0.3	3.8-4.0	0.3-0.9	0.05	0.25	0.1	0.15	0.2 Zr+Ti
2025	0.5-1.2	1.0	3.9-5.0	0.4-1.2	0.05	0.25	0.1	0.15	-
2036	0.5	0.5	2.2-3.0	0.1-0.4	0.3-0.6	0.25	0.1	0.15	-
2048	0.15	0.2	2.8-3.8	0.2-0.6	1.2-1.8	0.25	-	0.1	-
2020	0.4	0.4	4.0-5.0	0.3-0.8	0.03	0.25	-	0.1	0.9-1.7 Li 0.1-0.25 Cd
6063	0.2-0.6	0.35	0.1	0.1	0.45-0.9	0.1	0.1	0.1	-
6463	0.2-0.6	0.15	0.2	0.05	0.45-0.9	0.05	-		
6061	0.4-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.25	0.04-0.35	0.15	-
6151	0.6-1.2	1.0	0.35	0.2	0.45-0.8	0.25	0.15-0.35	0.15	-
6351	0.7-1.3	0.5	0.1	0.4-0.8	0.4-0.8	0.2	-	0.2	-
6262	0.4-0.8	0.7	0.15-0.4	0.15	0.8-1.2	0.25	0.04-0.14	0.15	0.4-0.7 Bi 0.4-0.7 Pb
6009	0.6-1.6	0.5	0.15-0.6	0.2-0.8	0.4-0.8	0.25	0.1	0.1	-
6010	0.8-1.2	0.5	0.15-0.6	0.2-0.8	0.6-1.0	0.25	0.1	0.1	-
6017	0.55-0.7	0.15-0.3	0.05-0.2	0.1	0.45-0.6	0.05	0.1	0.05	-
7001	0.35	0.04	1.6-2.6	0.2	2.6-3.4	6.8-8.0	0.18-0.35	0.2	-
7004	0.25	0.35	0.05	0.2-0.7	1.0-2.0	3.8-4.6	0.05	0.05	0.1-0.2 Zr
7005	0.35	0.4	0.1	0.2-0.7	1.0-1.8	4.0-5.0	0.06-0.2	0.01 0.06	0.08-0.2 Zr
7009	0.2	0.2	0.6-1.3	0.1	2.1-2.9	5.5-6.5	0.1-0.25	0.2	0.25-0.4 Ag
7010	0.1	0.15	1.5-2.0	0.3	2.2-2.7	5.7-6.7	0.05	0.03	0.11-0.17Zr
7016	0.1	0.12	0.45-1.0	0.03	0.8-1.4	4.0-5.0	-	0.15	-
7017	0.35	0.45	0.2	0.05-0.5	2.0-3.0	4.0-5.2	0.35	0.1	0.1-.25 Zr min. 0.15 Mn+Cr
7039	0.3	0.4	0.1	0.1-0.4	2.3-3.3	3.5-4.5	0.15-0.25	0.1	-
7049	0.25	0.35	1.2-1.9	0.2	2.0-2.9	7.2-8.2	0.1-0.22	0.06	-
7050	0.12	0.15	2.0-2.6	0.1	1.9-2.6	5.7-6.7	0.04	0.2	0.08-0.15 Zr
7075	0.4	0.5	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	5.1-6.1	0.18-0.28	0.06	0.25 Zr + Ti
7475	0.1	0.12	1.2-1.9	0.06	1.9-2.6	5.2-6.2	0.18-0.25	0.2	-
7178	0.4	0.5	1.6-2.4	0.3	2.4-3.1	6.3-7.3	0.18-0.35	0.1	-
7079	0.3	0.4	0.4-0.8	0.1-0.3	2.9-3.7	3.8-4.8	0.1-0.25	-	-

BÖLÜM 5. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA SERTLEŞTİRME VE ISIL İŞLEMLER

5.1. Alüminyum Alaşımlarında Isıl İşlem ve Kullanılan Semboller

Bu simgeleme yöntemi işlenmiş alüminyum ve alüminyum alaşımları için en yaygın kullanılan simgeleme dizisidir. Amerikan Standartlar Birliği (ASA) tarafından belirlenen ve uygulanan simgeleme dizisidir. 1957 yılında standart haline getirilmeden önce Amerikan Alüminyum Birliği tarafından kullanılmaktaydı. Bu simgeleme metodu 4 rakam kullanılarak düzenlenmiş ve Tablo 5.1.'de görüldüğü gibi kullanılmıştır. Bu görülen simgelemeye göre bu simgenin ilk rakamı alüminyum alaşımının içerdiği ana alaşım elementini göstermektedir [5, 13].

Tablo 5.1. Alüminyum alaşımlarında simge dizileri [5]

SİMGE	Temel Alaşım Elementi
1xxx	Alaşımsız alüminyum alaşımı
2xxx	Bakırlı alüminyum alaşımı
3xxx	Manganezli alüminyum alaşımı
4xxx	Silisli alüminyum alaşımı
5xxx	Magnezyumlu alüminyum alaşımı
6xxx	Magnezyum + Silisli alüminyum alaşımı
7xxx	Çinkolu alüminyum alaşımı
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Kullanılmayan dizi

1xxx dizisinde arı alüminyum (%99,00) oranını belirtir. Son iki rakamda %99 değerinde virgülden sonraki rakamları ve bu şekilde alüminyumun en dar aralığını gösterir. 1xxx dizisindeki ilk iki rakam ise empurite elementlerinin sayısını özel olarak denetler ve gösterir. 1'den 9'a kadar rakamlar ile belirtilebilir. Mesela 1042 numaralı alaşımı örnek verirse; arı alüminyum ve anlık yüzdesinin %99,42 olduğunu varsayabiliriz. 1042'de bulunan 0 ise geri kalan (%1,00 - %0,42 = %0,58) içerisinde denetlemeyi gerektiren herhangi bir element bulunmadığını belirtir.

2xxx dizisinden 8xxx dizisine kadar olanlar Tablo 5.1.'de görülen alaşımları simgeler. İlk rakamda alaşım türü betimlenirken ikinci rakam yapıdaki değişimleri gösterir. Spesifik olarak denetlenen alaşımların sayısı, 1 ile 9 arasında gösterilerek ikinci rakamı olarak kullanılır. Mesela 5065 alaşımında özelliğinde hiçbir alaşım elementinin denetlenmediği Al-Mg alüminyum alaşımını gösterir.

9xxx dizisinde bulunan alaşımlar ise deneysel olarak geliştirilmekte olan alaşımlar için kullanılmaktadır. Deneysel olandan çıkıp üretime geçildiği andan hemen sonra 9xxx simgesi değiştirilerek en uygun dizi ile adlandırılır. Bahsi geçen bu alaşım standart bir alaşım olarak anılana kadar dört basamaklı simgesinin önünde X konularak kullanılır.

Isıl işlem davranışlarına göre işlenik alüminyumlar iki sınıfta nitelenirler; ısıl işlem uygulanabilen alaşımlar ve ısıl işlem uygulanamayan alaşımlardır [5, 13].

Isıl işlemle özellikleri iyileştirilebilen alaşım dizilerinin isimleri; 2xxx, 4xxx, 6xxx, 7xxx dizileridir. Isıl işlem uygulanamayan alaşım dizileri ise 3xxx ve 5xxx dizileridir. Bu alaşımların dayanımlarını iyileştiren elementler bileşimlerindeki mangan ve magnezyum olduğu görülmektedir. 3xxx ve 5xxx dizilerindeki alaşımlar soğuk işleme tabi tutulduğunda gerilim sertleşmesine maruz kalırlar [13].

Dökümle veya şekillendirilerek elde edilen alüminyum ve alüminyum alaşımlarında ısıl işlem prosesleri; eklenen bir veya birkaç harf ile tanımlanmaktadır.

Genel olarak ısıl işlemlerin 5 harf işareti vardır. Bunlardan (O) tavlanmış, (F) fabrikasyondan çıkmış hali, (H) yeniden kristallenme sıcaklığından düşük sıcaklıklarda plastik şekil verme sonunda mukavemet ve sertlik artışı, (T) ısıl işlem durumunu göstermekle birlikte (W) solüsyona alma ısıl işleminin ardından geçici (kalıcı olmayan) yapıyı göstermekte ve zamanı belirtilmiş ise belirlenen ısıl işlemi göstermektedir.

- EC; Elektrik iletimi ile ilgili işlerde kullanılmakta olan alüminyum içindir. En az %99,45 aralığındadır. Az miktarda Be ve Cu içermektedir. Katışıkların denetimi oldukça sıklıdır.
- F; Fabrikasyonun ardından (üretildiği şekilde) mekanik özelliklerine etki etmeden (sertlik veya mukavemetini değiştirmek için bir işlem yapmadan) üretimden hemen sonraki fiziksel durumunu belirtir. Değiştirilen bu alüminyum alaşımlarının mekanik yapısı ve özelliklerinin hiçbir garantisi yoktur. Örneğin döküm hali için 43-F terimi kullanılabilir.
- O; Tavlanmış, yenilenmiş alaşımları temsil etmektedir. Tavlanmış, yeniden kristalleşmiş şekillendirilebilir alüminyum alaşımlarının en düşük sertlik durumunu belirtir.
- H; Bu ısıt işlem türü genelde yassı ürünlerde (sac ve levha gibi) kullanılmakta olan bir ısıt işlemdir. Sadece gerilim sertleşmesi ile sertleşebilen alaşımlara uygulanabilir. H harfinden sonra iki veya daha çok rakam olur. İlk rakam temel işlemi göstermektedir. Daha sonraki rakamlar plastik şekillendirme dahilindeki son fiziksel özelliklerini gösterir.
- H1; Gerilim sertleşmesi (soğuk işlenmiş) işlemini göstermektedir. Bunu takip eden ikinci değerde 1 ile 8 arasında olur. 8 en yüksek olan sertliği belirtirken 1 en düşük sertliği göstermektedir. Buna göre 1; düşük sert, 2; çeyrek sert, 4; yarı sert, 6; üç çeyrek sert, 8; tam sert durumu göstermektedir. Görülen tam sert, tavlama işlemi uygulanan alaşımların %75'i soğuk işlem yapılmış yapısındaki çekme dayanımına eşdeğer bir sertliği ifade eder. Bazen sertliği çok yüksek olan alaşımlar için 9 rakamda kullanılabilir. Eğer bu simgeleme dizisine tam uygun olmayan ve özel olarak alaşımlandırılmış bir malzeme söz konusu ise, bu üçüncü bir rakamın varlığını gerektirir. Mesela H121 örneğinde; H; soğuk işlem uygulanmış bir alaşım, 1; sözügeçen alaşımların sadece soğuk işlemle sertleştirildiğini, 2; alaşımların çeyrek sertlikte olduğunu,

1; ise bu alaşımın H12 alaşımının simgelediği etkiden biraz daha fazla olduğunu gösterir.

- H12; gerilim sertleştirilmesi işlemi uygulanmış ve kısmen yenileme yapılmış sertlik durumunun gösterilmesi şart olan alaşımlar için ikinci rakam gösterilir.
- H24; soğuk işleme tabi tutulmuş ve kısmen yenilenmiş ve bunun sonucunda yarı sert olmuş alaşımını simgelemektedir.
- H3; gerilim sertleştirilmiş magnezyum içerikli alaşımlardır ve düşük sıcaklıklara ısıtılırlarsa, yapılarındaki değişimlerle daha avantajlı duruma geçerler. Bunun sonucu olarak sürekli yükselir.
- H3; sonuna ikinci bir rakam eklenmesi durumunda bunun sertliği belirttiği bilinmektedir.
- H34; Soğuk işleme uğramış, kararlı hale getirilmiş ve yarı sert alaşımı simgeler.
- W; çözeltiye alma ısıl işleminin ardından sürekli olmayan yapıyı simgeler. Bu durum doğal yaşlanmadan dolayı yaşlanma süresinin belirtilmesi ile görülmüş olur.
- T; F, H ve O durumları dışında yapıda srekliplik sağlanması için uygulanan ısıl işlemleri göstermektedir. Bu harfin temsil ettiği durum, plastik şekillendirme uygulansada uygulanmasada yapının kararlı hale gelmesi için uygulanması gereken ısıl işlem cinsini ifade etmektedir. Alaşım soğuk işleme maruz kalmış ya da kalmamış olabilir. T harfinden sonra 2 ile 9 arasında rakam yazılabilir. Bu rakamlar uygulanacak bazı işlemleri ifade etmektedir. ısıl işlemlerin bikaç türü aşağıda belirtilmektedir [18, 19, 20].

- T1; Döküm ya da ekstrüzyon gibi yüksek sıcaklıkta işlemlerinden geçmiş alaşımların daha sonrasında soğutulup kararlı bir hale getirilen kadar doğal yaşlanmaya uğramış alaşımlardır.
- T2; Sıcak işlem uygulandıktan sonra soğutulmasının ardından soğuk işlem yapılır ve doğal yaşlanmayla kararlı hale gelir. Tavlanmış (sadece dökümler) alaşımları belirtir.
- T3; Çözeltiye alma işlemi uygulanan alaşımlara bu işlemden sonra soğuk şekillendirme ile sertleştirilmiştir. Bundan sonra yaşlandırma işlemide uygulanabilmektedir.
- T36; Çözeltiye alma işlemi uygulanan alaşıma bunun ardından %6'lık bir soğuk deformasyon uygulanır. Bu işlemlerin ardından doğal yaşlandırılır.
- T4; Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulandıktan sonra doğal yaşlanma işlemi uygulanmıştır.
- T42; Daha önce uygulanan (sadece 2014 ve 2024 alaşımları uygulamaya uygundur) işlemler gözardı edilerek çözeltiye alınma işlemi uygulandıktan sonra doğal yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.
- T4511, T351, T451, T3510, T3511, T4510; Çözeltiye alınma işlemi uygulanmış ve uygulanan alaşıma bağlı olarak %1-3 oranları arasında kalıcı deformasyona uğratmak için gererek gerilim giderme işlemine maruz bırakılmıştır.
- T5; Ekstrüzyon yada döküm gibi yüksek sıcak işlemlerinden sonra soğutuma sonucunda oluşan yaşlanma ile sertleştirilmektedir.
- T6; Çözeltiye alma ısıtma işleminden sonra yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.

- T62; Daha önce yapılan işlemleri (sadece 2014 ve 2024 alaşımları uygulamaya uygundur) gözardı ederek çözeltiye alma işleminin ardından yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.
- T652; Çözeltiye alma ısıtma işlemi uygulanmış, basma ile deformasyon işlemine maruz kalmış ve yapay yaşlandırma işlemi uygulanmıştır.
- T8511, T651, T851, T6510, T8510, T6511; Çözeltiye alma işlemi uygulanmış, %1-3 arasında kalıcı deformasyon sağlamak için gerilim giderme işlemine maruz bırakılmış ve yapay yaşlandırılmıştır.
- T7; Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapıldıktan sonra aşırı yaşlandırma işlemi yapılmıştır. En yüksek oranda sertlik için gereken sıcaklık ve süreyi geçtiğinde geride kalan iç gerilmeler ve büyümenin kontrol edildiği durumlarda kullanılmaktadır.
- T8; Çözeltiye alma ısıtma işlemi yapıldıktan sonra soğuk deformasyon uygulanmıştır ve yapay olarak (termik) yaşlandırılmaktadır.
- T/4; çözeltiye alma işleminden sonra doğrultma yada düzeltmeyle soğuk deformasyona uğramış ve yapay olarak yaşlandırılmıştır.
- T86; Çözeltiye alma işleminden sonra %6 oranında deformasyona uyratılmış ve yapay olarak yaşlandırılmıştır.
- T9; Çözeltiye alma işleminden sonra yapay olarak yaşlandırılmış ve soğuk deformasyon işlemi uygulanmıştır.
- T10; Yüksek sıcaklıktaki şekillendirme işlemlerinin ardından yapay yaşlandırma işleminin ardından soğuk deformasyon işlemini tanımlar [5].

5.2. Alüminyum Döküm ve Döküm Alaşımları

Döküm alaşımları ve alüminyum dökümlerde gösterim için kullanılan simgeleme dizisi işlenmiş alüminyum alaşımlarının simgeleme dizisine benzer. Bu simgelerde de dört rakamlı bir sayı simgelemesi vardır. Öncekinden farklı olarak üçüncüden sonra bir nokta ile ayrılmıştır. Bu alaşımlar için simgeler tablosu Tablo 5.2.'de gösterilmektedir.

1xx.x için ikinci ve üçüncü rakamlarda alüminyumun %99,00'dan sonraki saflık derecesi görülmektedir. Son rakamı 0 olduğunda parça döküm, 1 olduğunda ingot temsil eder. Rakamların önünde 1x olduğu durumlarda alaşımın deneme aşamasından olduğunu anlatmaktadır.

2xx.x – 9xx.x arasındaki simgelemelerde ise Tablo 5.2.'de alaşım türleri belirtilmektedir. İkinci ve üçüncü rakamlarda sıralama sayıları görülmektedir. Son rakam 0 olduğunda parça döküm, 1 olduğunda ingot temsil eder. 2 rakamı olduğunda da 0 ın değişimi olduğu görülmektedir.

Örnek vermek gerekirse, 332.0 alaşımındaki ilk 3 rakamı alüminyum, bakır ve/veya magnezyum ile alaşımlandığını göstermektedir. 0 rakamı ise bu alaşımın parça döküm olduğunu belirtir. 32 ise özel bir anlam ifade etmemektedir [5].

Tablo 5.2. Döküm Alüminyum alaşımlarındaki simgeleme dizileri [1, 13]

SİMGE	
1XX.X	Alüminyum % 99.00 en az
2XX.X	Bakır
3XX.X	Silis- Bakır ve/veya Magnezyum
4XX.X	Silis
5XX.X	Magnezyum
6XX.X	Kullanılmayan dizi
7XX.X	Çinko
8XX.X	Kalay
9XX.X	Diğer elementler

5.3. Alaşım Elementleri ve Alüminyum Alaşımına Etkileri

Alüminyum sıvı haldeyken diğer birçok metalle karışabilir. Bununla birlikte katı haldeki metallerin alüminyum alaşımı içerisindeki çözünürlükleri çok düşüktür. Birçok alüminyum alaşımında metaller arasında bileşik oluşturarak bu alaşımların birçok özelliğini önemli ölçüde değiştirir. Alüminyum bünyesinde hiçbir metal tamamen (%100) çözünemez. Daha önce anlatılan metallerarası bileşikler yüksek alaşımlı bileşimlerdir. Çok sert ve kırılgan olduklarından mekanik özellikleri kötü yönde etkilerler. Genelde alaşım elementlerinin toplamı %15ten fazla değildir. En yaygın olan alaşımlar 2xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx ve 7xxx dizilerindendir.

Faz diyagramlarına bakıldığında Cu, Mn, Si, Mg ve Zn gibi elementler ile alüminyumun oluşturduğu bileşiklerin faz diyagramları ile oldukça benzer görünmektedir. Hepsini incelendiğinde yüksek sıcaklıklarda katı çözünürlüğün yüksek olduğu fakat buna karşın oda sıcaklığındaki katı çözünürlüğü oldukça düşüktür. Bunlardan bazıları Tablo 5.3.'de gösterilmiştir.

Çözünürlüğün yüksek sıcaklık ile oda sıcaklığı arasında katı çözünürlüklerinin bu kadar fark olmasının sebebi bu elementlerin alaşımlarında çökeltme sertleşmesinin gerçekleşmesi olduğu bilinmektedir. Bu yaşlanma prosesinin temelinde yatan sebeptir [5, 13].

Tablo 5.3. Bazı Alaşım elementlerinin katılaşma sıcaklığında ve oda sıcaklığında

Alaşım Elementi	Cu	Mg	Mn	Si	Zn
Katılaşma Sıcaklığında Çözünürlük (%)	5,65 (548°C)	14,9 (450°C)	1,8 (659°C)	1,65 (577°C)	82 (382°C)
Oda Sıcaklığında Çözünürlük (%)	0,02	2,5	0,3	0,1	2,0

Alaşım elementleri, çökeltme sertleşmelerini etkilemenin yanı sıra, katı çözelti sertleşmesi ve işlenebilirliğin artması gibi korozyon direncinide etkileyebilir.

5.3.1. Bakırın alüminyum üzerine etkisi

Bakır oranının %12'ye kadar kısmı alüminyum alaşımı içerisinde dayanımın artmasını sağlamaktadır. %12'den yüksek olduğu durumlarda ise alaşımın yapısında gevreklik oluşturur. Genellikle sıcaklığın artması işlenebilirliği yükseltmektedir.

Bakırın alüminyum içerisindeki çözünürlüğü %5,65'tir. Alüminyum alaşımı içerisinde %1,5 ile %5 arasında Cu içeren alaşımlara çökelme sertleşmesi uygulanabilir. CuAl_2 bileşiğinin katı eriyiği θ fazıdır. Çökelme yaşanması uygulanması için alaşım α fazı bölgesine kadar ısıtılıp daha sonra soğutulurken suda işlem yapılır. Bu aşamadan sonra doğal yaşlanma için bırakılır yada yapay yaşlanma prosesi uygulanır. En çok bilinen Al-Cu alaşımı %4 Cu içeren Duralüminyum'dur [38]. Al-Cu alaşımı içeriğinde az miktarlarda Si, Fe, Zn, Mn, Mg, Cr gibi alaşım elementleri bulundurulur. Örnek vermek gerekirse; %4,5 Cu içeren alaşımın içerisine %1,5 Mg eklendiğinde bu alaşımın mukavemetini etkiler ve yükseltir [5].

5.3.2. Silisyumun alüminyum üzerine etkisi

Alaşım içeriğine silisyum katıldığında malzemenin akışkanlığı artmaktadır. Buna rağmen sıcak çatlama eğiliminin azaldığı görülmektedir. Alaşımda bulunan silisyum oranı %3 üzerine çıktığında işlenmesinin zorlaştığı tespit edilmiştir. Ayrıca alaşıma ilave edilen silisyum korozyon direncini yükseltmektedir [5].

5.3.3. Magnezyumun alüminyum üzerine etkisi

Alaşıma eklenen magnezyum malzemede katı çözelti sertleşmesi gözlenmesine sebep olmaktadır. Yaşlanabilirliğini oldukça artırır. Magnezyum içeriği %6'nın üzerine çıktığında çökelme sertleşmesi olduğu görülmektedir. Magnezyumlu alaşımlarda döküm işlemi zorlaşmaktadır [5].

5.3.4. Manganın alüminyum üzerine etkisi

Mangan, alaşım içerisine demir ile birlikte katılarak alaşımın dökülebilirliğini yükseltmek için kullanılır. Bununla birlikte metaller arası bileşiklerin özelliğini etkileyerek değişiklik yaptığı görülmektedir. Yapıya katıldığında çekmeyi azaltmada rol alır. Alaşımlara katıldıklarında süneklik ve tokluk değerlerini yükselttiği görülmektedir [5].

5.3.5. Çinkonun alüminyum üzerine etkisi

Alaşıma katılan mangan dökülebilirliği yükseltmesine rağmen çinko tersine dökülebilirliği azaltmaktadır. Bunun gibi alaşıma katılan mangan nasıl çatlama eğilimini azaltıyorsa, çinko katılmış alaşımlarda sıcak çatlama ve soğuma çekmesi oluşturmaktadır. Zn alaşımları %10'dan yüksek olan alaşımlarda gerilim yeri çatlamaına sebep olmasına karşın, diğer alaşımlarla birlikte katıldığında ise dayanımı oldukça arttırdığı gözlenmektedir.

Alaşımda çinko oranı %3'den az olması halinde özelliklere etki etmediği görülmektedir [5].

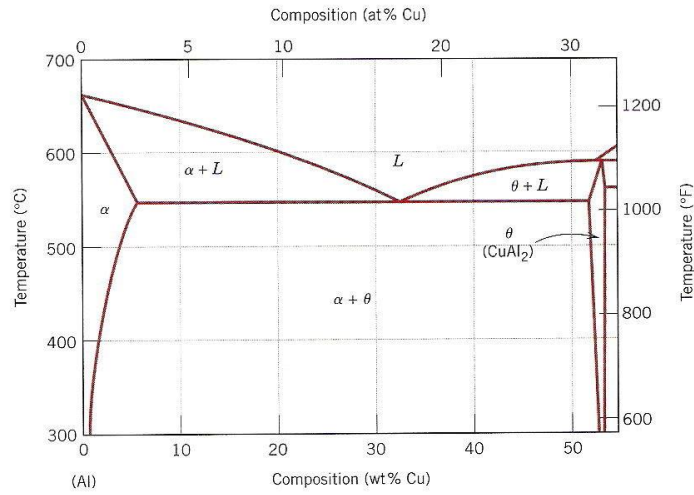
5.3.6. Demirin alüminyum üzerine etkisi

Alüminyum içerisinde normalde yani cevher halindeyken bile bulunur. Bazı alaşımlarda az oranlarda sertlik ve dayanımlara olumlu yönde etki eder. Alaşımdaki demir dökümlerin sıcak çatlamaıya meyilini azaltmaya yönelik rol almaktadır [5].

5.3.7. Geçiş metallerinin alüminyum üzerine etkisi

Alüminyumda geçiş metalleri krom, titan ve zirkonyum gibi bazı metallerdir. Geçiş metalleri katı eriyikte bulunduğunda alüminyumdaki magnezyum ve çinkodaki magnezyum ve çinko katı eriyik dayanımını büyük oranda düşürürler. Alüminyumdaki zirkonyum oranının artmasıyla birlikte, magnezyum ve çinko katı

eriyiğinin dayanımının azaldığı elektron mikroskopuyla incelenerek tespit edilmiştir. Ana alaşım elementlerindeki dengeli çözünürlük katı eriyikte bulunan geçiş metallerinin varlığı ile yükselmektedir. Aynı zamanda katı alüminyum eriyiğinde bulunan geçiş metallerinin atom bağlarını güçlendirmeye ve atomların difüzyon hareketini azaltmaya yönelik etki ettiği görüşüde savunulmaktadır. Bu görüşte belirtilene göre geçiş metalleri katı eriyiğe girdiğinde dayanımının artmalıdır. Ancak buna rağmen alaşımda bulunan çinko ve magnezyum katı eriyiğinin dayanımının alaşıma eklenen geçiş metalleri ile azaldığı gözlemlenmiştir. Bu karşılaştırmalardan anlaşılacağı gibi çözünürlüğün yükseldiğini belirten görüşün daha doğru olduğu görülmektedir. Geçiş metali olarak eklenen krom ve zirkonyumun katılmasıyla da yaklaşık olarak aynı etkiler olduğu söylenebilmektedir [5].



Şekil 5.1. Al - Cu ikili faz diyagramı

5.4. Isıl İşlem Uygulanabilen ve Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları

Bakır gibi bazı alaşım elementleri alüminyum alaşımlarına eklendiklerinde sertlik ve mukavemeti ısıtıl işlem ile arttırılabilen hale getirirler. Fakat bazı durumlarda bazı alaşım elemanları eklendiğinde alaşım ısıtıl işlem ile müdahale edilemeyecek duruma gelebilirler. Bu sebepten ötürü dövme ve döküm alüminyum alaşımları ısıtıl işleme karşı hassasiyetlerine göre ısıtıl işleme tabi tutulabilen ve tutulamayan alaşımlar olarak ikiye gruba ayrılır [4, 21].

Kontrollü olarak soğutma ve ısıtma işlemleri yapıldıktan sonra mekanik özellikleri değiştirilebilen ve geliştirilebilen alaşımlara bu isim verilmektedir. Dövme alaşımlarında ısıtma işlemi görebilen alaşımları; 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061 ve 7075 nolu alaşımlardır. Dökme alüminyum alaşımlarında ise ısıtma işlemi görebilen alaşımlar; 112, 142, 195, 319, 333 ve 356 dahildir.

Bu alüminyum alaşımlarının içerdiği bileşim elemanları ve eleman grupları, yüksek sıcaklıklarda ve büyük ölçüde katı eriyik olması özelliklerine sahiptir. Bununla birlikte düşük sıcaklıkta görülen bu özellikler sınırlıdır. Bu etkiler alaşımın ısıtma işlemi uygulanabilir hale getirilmesini sağlamaktadır. Bu grupta yüksek bakır oranına sahip yatak alaşımları (2014, 2017, 2024 ve 2025), magnezyum silikat alaşımları (6051, 6081) ve yüksek çinko oranına sahip yatak alaşımları (7075) de dahil edilebilmektedir.

Oda sıcaklığında kalıcı olarak deforme edilip dayanımları yükseltilebilen fakat ısıtma işlemi uygulamaya uygun olmayan alaşım grubuna verilen genel ad ısıtma işlemi uygulanamayan alaşımlardır. 3xxx ve 5xxx serisi alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanamaz. Bu alaşımların kaynakla birleştirme işlemi yapılırken en sık karşılaşılan sorunu ısıdan etkilenen bölgede yumuşama gerçekleşerek soğuk deformasyon etkisinin kaynak bölgesinde kaybetmektedir [4, 21].

5.4.1. Tavlama

Mekanik işlem uygulanan alaşımların üretim aşamasının ardından tavlama işlemi uygulanmalıdır. Tavlama prosesi soğuk şekillendirmeden sonra sertleşen malzemenin gerilimlerini azaltarak veya ısıtma işlemi uygulanarak yaşlandırılan malzemeyi yumuşatmak için kullanılan bir prosestir.

Yapıda bulunan tanelerin yeniden kristalleşmesi için ötektik noktanın altındaki belirlenen sıcaklığa kadar tavlama işlemi yapılır. Tavlama işlemiyle alaşımın sertliğini ve yapıdaki diskonyasyonların etkilerini ortadan kaldırılır.

Metale soğuk işlem uygulanması sertliği ve çekme mukavemetini yükseltmektedir. Uygulanan bu proses ile alaşımın süneklik değeri düşmektedir. Alaşıma uygulanan ısıtıl işlem prosesinde tav süresi oldukça önem arz etmektedir. Örnek vermek gerekirse yeniden kristalleşme işlemi yapılırken alaşım gerekli sıcaklıkta ve sürede tutulmazsa tekrar meydana gelen kristallerin özellik ve şekilleri tamamen değişmezler.

Ayrıca, tavlama alüminyum alaşımının yanlarındaki kenar kısımları ve incelen yerlerinde hızlı tavlama neticesinde bozulma yaşanmaması için sıcaklık artışını oldukça yavaş tutmak gerekmektedir. Bunun için alüminyum alaşımının soğuma eğrisi dikkate alınır. Sözügeçen bu olay işlemin başlangıç safhalarında gerçekleşmektedir. Bu aşamada gerilmeler ortadan kalkar ve soğuk şekillendirme yüzünden yokolan yüzde uzama katsayısı kabiliyeti geri kazanılmaktadır [4, 21].

Tavlama olayı süregelirken sıcaklık, başlangıçtaki orijinal tanelerden bazılarının yeniden kristalleşip gerilme olmayan tanelerin oluşabileceği değere kadar artmaktadır. Bu durumun meydana gelebilmesi için malzemede yeterli miktarda soğuk deformasyon ile şekil değiştirme olmalıdır [21].

Soğuk işleme uğramış malzeme, içerisinde bulunan alaşım elementlerinin ergime sıcaklığından daha düşük sıcaklıklara ısıtıldığında, soğuk deformasyona uğramış alaşım eğer malzeme deformasyon yeterliyse, kaybolurlar ve bunun yerine yeni ve gerilimsiz taneli yapı oluşmaktadır. Bu olay yeniden kristalleşme olarak isimlendirilmektedir.

Soğuk deformasyon işlemi esnasında meydana gelen yüksek enerjiye sahip bölgeler, yeni taneler ortaya çıkarken çekirdek görevi üstlenir. Soğuk deformasyon miktarı yeterli olmazsa yeniden kristalleşme tamamlanamaz. İşlem sırasında uygulanan sıcaklığa bağlı olarak yeniden kristalleşmeden sonra oluşan taneler iri taneli olmaktadır.

Yeniden kristalleşme işleminin ardından yeni oluşan taneler en düşük enerjili duruma gelebilecekleri ana kadar büyümeye devam ederler. Genel olarak tavllanmış malzemedeki tane büyüklüğü yeniden kristalleşme işleminden sonraki tane büyüklüğüyle orantılı değildir. Toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane irileşmesi periyodları arasında belirlenmiş bir ayırma noktası yoktur [21]. Yeniden kristalleşme aşamasından sonra yeni oluşan taneler sertbest kalan enerjilerini atmak istedikleri için diğer tanelerle birleşirler ve yüzey alanını genişletirler. Bu büyümeyi etkileyen etkenler; Sürecin başındaki tane büyüklüğünün boyutu soğuk şekillendirme cinsine bağlıdır. Soğuk şekillendirme sonucunda elde edilen sertlik değeri, alaşımdaki tane büyüklüğüne orantılıdır. Kalıcı şekil değiştirme oranının az olduğu durumlarda işlemden önceki malzemenin tane büyüklüğü ile işlem sonrası tane büyüklüğünü etkilemektedir. Limitli miktarda soğuk işlem yapılan malzeme, yeniden kristalleştirme işlemine maruz kaldıktan sonra eskisine oranla daha büyük taneler halinde ortaya çıkar.

Isıtma hızı düşük olduğunda toparlanma periyodu daha büyük olacağından dolayı yeniden kristalleşme işlemi sonrası taneler daha büyük olmaktadır. Bunun sonucunda yeniden kristallenme prosesinden sonra oluşan tanelerin daha iri olduğu gözlenmektedir. Tanelerdeki bu büyüme, tanelerin düşük enerjili olma eğilimine bağlıdır. Teoride tanelerine büyümesinde etkili olan durum son sıcaklığın yüksek olmasıdır.

Sıcaklığın yüksek olduğu durumda bekletme süresi uzadıkça sahip oldukları enerjiyi atmak için taneler birbirleriyle birleşerek enerjilerini azaltırlar. Tane büyüklüğünün artması bekleme süresinin artmasıyla doğru orantılıdır.

Genellemek gerekirse, soğuk deformasyona uğramış alaşımların tavllanması prensipte tüm alüminyum alaşımlar için aynıdır. Bu alaşımlarda kullanılan metodların sebepleri alaşımın içerisine katılan ve ısıtılabilirliğini etkileyen alaşım elemanlarıdır [21].

5.4.2. Yaşlandırma ısıt işlemleri

Alüminyum alaşımlarında uygulanan ısıt işlemleri sonucunda ortaya çıkan malzemede farklılıklar ortaya çıkabilir. Tavlama işlemi sonucunda alüminyum mukavemetini belli oranda kaybeder ve yalnızca soğuk deformasyon ile sertleşebilir. Sertleşen alüminyum alaşımları belirli şartlarda (sıcaklık ve zaman) bekletilerek mukavemeti ve sertliği artırılabilir. Bu bekletme işlemi yaşlandırma ve bu olay da çökelme sertleşmesi olarak adlandırılmaktadır [22]. Yaşlandırma işleminin iki türü vardır. Yapay(suni) yaşlandırma ve doğal (tabii) yaşlandırmadır. Yaşlandırma işlemi belirli sıcaklıkta ve belirli sürede yapılırsa suni yaşlandırma, oda sıcaklığında yapılırsa tabii yaşlandırma olarak isimlendirilir.

Yaşlandırma ısıt işlemi, yumuşak ve sünek matriste; ince, sert ve matrisle entegre çökeltilerin oluşmasını sağlamak için uygulanır [12].

Matriste düzenli şekilde dağılan çökeltiler, alaşımların mukavemet değerlerinin yükselmesine sebep olurlar. Bu yükselmeye yol açan neden ise dağılan çökeltilerin dislokasyon hareketini engellemesidir.

Yaşlandırma işlemi ile; Martenzitik paslanmaz çeliklerin, Bakır alaşımların, Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının, sertleşmesi sağlanır ve dayanımları artırılabilir.

Alüminyum alaşımlarının ısıt işlem ile sertleştirilmesi süreci dört aşamada incelenebilir:

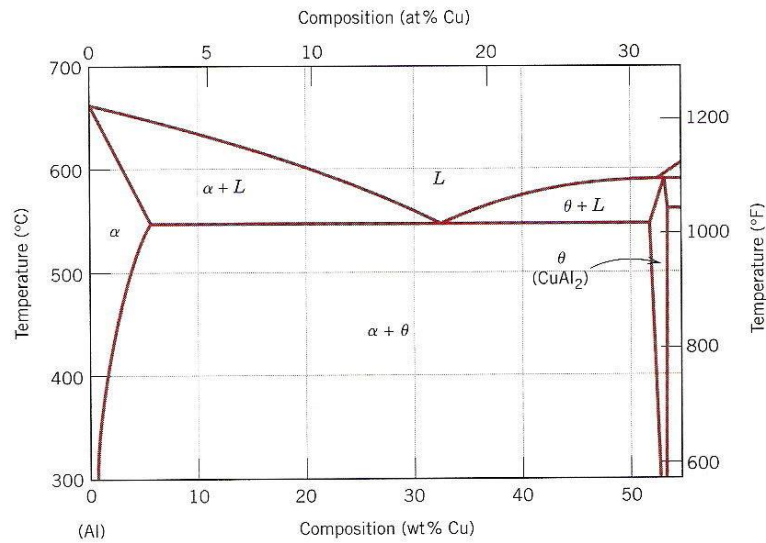
- Belirlenen sıcaklığa kadar ısıtma (çözeltiye alma)
- Tayin edilen bir süre bu sıcaklıkta bekletme
- Düşük bir sıcaklığa hızla su verme
- Su verme işlemi sonrasında yaşlandırma ve çökelme sertleştirilmesi

Al-Cu alaşımında bir katı çözeltiye yüksek sıcaklıklardaki tek faz bölümünde çözündürme ısıt işlemi uygulanır. Sonrasında ansızın çözünürlüğün çok daha düşük

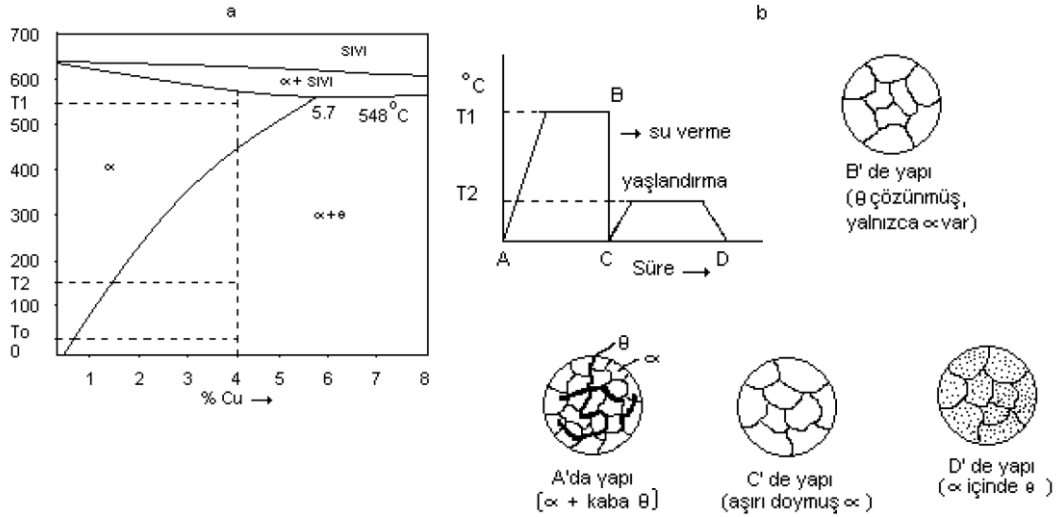
olduğu oda sıcaklığına kadar soğutulursa (su verme işlemi) katı çözelti aşırı doymuş katı çözelti olarak yarı kararlı durumda olur. Sözügeçen bu aşırı doymuş çözelti, oda sıcaklığında ya da daha düşük sıcaklıklarda ısıtılarak, yarı kararlı durumdan tamamen kararlı duruma geçiş yapabilir. Bu olay metalürjide daha önceden bildiğimiz gibi, denge dışındaki durumlarda çökelme diye anılmaktadır. Bu çökelme işleminin sonucunda su verilen yapının sertlik değeri yükselir. Oda sıcaklığında ya da daha yüksek sıcaklıklarda, sertlik değerinin zamana bağlı olarak yükselmesine, metalürjide yaşlanma ya da çökelme sertleşmesi; bunun olmasını sağlayan ısı işleme de yaşlandırma denir [5, 23].

Yaşlanma olayının en belirgin olarak tespit edilebildiği alaşımlar Al-Cu alaşımlarıdır. Al-Cu alaşımında %5,7 Cu olan en yüksek çözünürlük değerinin altında kalmak şartıyla, bileşim oranları %1 ile %4,5 Cu aralığında değişen alaşımlar, 500°C sıcaklıkta çözündürme ısı işleme uygulanmasının ardından su verilme işlemi uygulanıp 150°C’de bekletilirse buna yapay yaşlandırma denir. Su verildikten sonra numune doğal oda şartlarında bekletilirse buna doğal yaşlandırma ismi verilir ve %Cu miktarı arttıkça yaşlandırma etkisinin yükseldiği bilinmektedir [5, 23].

%4 Cu bileşime sahip Al-Cu alaşımı T1 sıcaklığında çözündürme ısı işleme yapıldıktan sonra yavaş olarak soğutulursa Şekil 5.3.’de görülen A daki yapı ortaya çıkar [5, 23].



Şekil 5.2. Al - Cu ikili denge diyagramı



Şekil 5.3. a) Al içindeki Cu'nun en yüksek çözünürlüğü, b) % 0.4 Cu - Al alaşımının yaşlandırma işlemi sonucunda oluşan yapıları

α tane sınırlarında çökelmiş kaba β faz çökeltileri gözlemlenir. Tespit edilen bu faz CuAl_2 bileşiğidir; α tane sınırlarında çökeltme işlemiyle yapı oluşur [23].

Yavaş soğuma yerine 500°C sıcaklıktan bu alaşıma su verilerek, θ fazı çökmesi işlemi için gereken yayılım gerçekleşemez ve C'deki gibi α aşırı doymuş çözeltisi ortaya çıkar. Bu aşırı doymuş çözelti oda sıcaklığında dış etkenler olmadan, daha yüksek sıcaklıklarda ise hızlandırılmış olarak aşırı doymuşluk durumundan, D'de de görülebildiği gibi, çökeltme yöntemiyle ortaya çıkar. Su verilen alaşım 20°C'de sabitlenecek olursa aşırı doymuş katı çözelti, çökelmeye mahal vermeden, yarı kararlı durumunu korumaktadır [5, 23, 24].

Daha önceki paragraflarda anlatılanlar sadece Al-Cu alaşımı için söylenmez. Al-Mg alaşımlarının tepkileride benzerlik göstermektedir. Bu alaşımlarda Al_3Mg_2 bileşiği; Al-Mg-Si alaşımlarındaysa Mg_2Si bileşiği oluşur. Eğer alaşım Al-Mg-Cu-Si alaşımıysa bu sefer Mg_2Si ve CuAl_2 her ikisinde çökeler. Sertleşme bunlar yüzünden oluşmaktadır [5, 23, 24].

Yapay yaşlandırma sıcaklığı, oda sıcaklığından 200°C'ye kadar yükseltildikçe, çökeltme ve bunun sonucu sertleşme hızı artar. Sertlik değerinin en yüksek değere ulaştığı zaman ışık mikroskopunda, yapıda çökeltiler gözlenmez. Fakat aşırı

yaşlandırılmış ve yumuşatılmış yapılarda bile çökeltileri gözlemlemek normaldir [5, 23, 24].

5.4.3. Yaşlandırma koşulları

Çökelme sertleşmesinin ortaya çıkabilmesi için uygulanacak alaşımlarda birkaç özellik aranmaktadır. Bunlar; denge diyagramına göre sıcaklık azaldıkça, azalan katı çözelti ortaya çıkmaktadır. Yani denge diyagramında bir solvüs eğrisi bulunmalıdır. Matrisin yapısı yumuşak ve sünek, çözeltisi ise sert ve gevrek olmak zorundadır. Yaşlandırılabilir birçok alaşımda çökeltiler sert intermetalik bir bileşik olmaktadır. Alaşıma su verilebilmelidir.(yapıdaki ikinci faz soğuma ile engellenebilmeli)

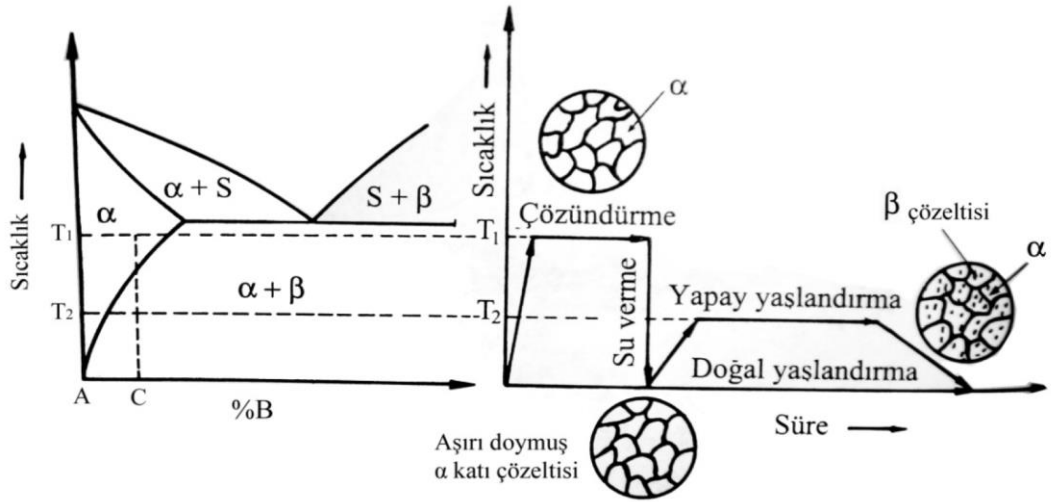
Çökeltiler en yüksek mukavemet ve sertliği karşılayabilmek için matris yapısı ile uyum sağlamalıdır. Bunun yanında çökeltilerin boyutunun, şeklinin ve dağılımının kontrolü sağlanabilmelidir.

GP zone ları ile çökeltiler α fazı ile süreklilik ve sürerlilik görülmektedir. θ fazının kristal yapısı tetragonal dir ve alüminyumun birim alanında iki yönde uyar ama üçüncü yönde ise uyumlu değildir. Bu sebeple yapı içerisinde sıkışma olmaktadır. Bu sıkışma bağdaşıklıkta gerilimlere yol açabilmektedir. Yaşlanma sonucunda oluşan sertleşmenin sebebi olarak bu gösterilebilir. Bu olay en iyi alüminyum ve alaşımlarında gözlemlendiği için uygulamada en çok bu alaşımlar kullanılmaktadır [5, 23, 24].

Çökelme sertleşmesi işlemi ilk olarak birinci dünya savaşı zamanında zeppelinlerde kullanılmıştır. α bölgesinde tavlanan alüminyum alaşımı perçinler suda soğutulup buzdolabına konulup gerektiği zaman müdahale edilerek yumuşak haldeyken perçinlenir. Perçin kısmı belirli bir zaman sonra sertleşerek mukavemeti artar. Paslanmaz çeliklerde bu yöntem kullanılarak sertleştirilmektedir [5, 23, 24].

5.4.4. Çözeltiye alma ısıt işlemi

Sıvı olduğunda her oranda fakat katı formda olduğunda kısmen çözünebilen yapıdaki alaşım, tek fazlı bir yapı (α) elde etmek için Şekil 5.4.'de görüldüğü gibi, alaşımın faz diyagramında görüldüğü gibi solvüs sıcaklığının üzerinde, T_1 sıcaklığına çıkana kadar ısıtılır ve T_1 sıcaklığındaki alaşımdaki tüm fazların (α ve β) tek faz bünyesinde çözünmesi sağlanıncaya kadar bu sıcaklıkta bekletilir. Bekleme süresi, alaşımların türüne göre değişiklik göstermektedir. Alüminyum alaşımlarına uygulanan bu ısıt işlem çözündürme uygulaması veya çözeltiye alma ısıt işlemi (solution heat treatment) olarak adlandırılır [25].



Şekil 5.4. Yaşlandırma süreçlerini, çözündürmeyi ve çökeltme sertleşmesini içeren karşılaştırma [45]

Çözeltiye alma işlemi için alaşım tayin edilen sıcaklığa kadar ısıtma işlemine maruz bırakılır. Bu işlemin yapılma sebebi sertleşme sırasında malzeme içeriğinde oluşan ve kontrolsüz olan fazların çözünmesini sağlamaktır. Sıcaklık derecesi bu işlem için önem arz etmektedir. Sıcaklığın istenenden yüksek ya da düşük olmasının istenmeyen sonuçları olabilir. Örnek vermek gerekirse olması gerekenden düşük sıcaklıkta katı eriyikte istenen sonuçlar alınamaz, buna karşılık istenenden yüksek sıcaklıktada ergime tehlikesi olabilir. İşlem yapılırken alaşım içerisindeki alaşım elementlerinden en küçük ergime sıcaklığına sahip olanın sıcaklığından düşük bir sıcaklık seçmek gerekmektedir. Isıtma hızı da çözeltiye alma işlemi için önemlidir. Tavsiye edilen ısıtma değeri genellikle orta hızlı 20°C 'de ısıtmadır. Isıtma eğer yavaş olarak uygulanırsa eriyen elementlerin difüzyonu artar. Buna ek olarak taneler büyük

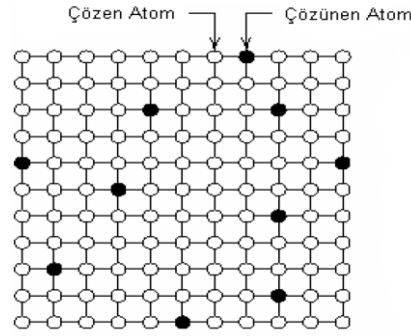
olarak oluşur. Malzeme soğuk deformasyona uğramış ise tanelerin büyük olmasını engellemek amacıyla ısıtma hızı uygun yükseklikte olmak zorundadır. Malzemede kritik miktarda soğuk deformasyon yok ise tane büyümesi riski yok denilebilir [22]. Malzemede arzu edilmeyen durumların oluşmaması için ısıtma hızı ve bekletme süresi çok önemlidir.

Bekletme süresinin değişmesine sebep olan faktörler; malzemenin çıkarıldığı sıcaklık, tavlama şekli, malzemenin cinsi ve buna benzer sebeplerdir. Bekleme süresinin uzun olması difüzyonda artışa ve tanelerde büyümeye sebep olur. Malzemenin her noktasında eşit olarak ölçüm sonuçları alındığında, çözeltiye alma sıcaklığındaki bekleme süresinin belirlenmesine başlanır.

Bekletme süresi alaşımın türüne bağlı olarak, ince kesitli parçalarda ortalama 10 dakikadan başlayarak kalın kesitli parçalarda 12 saate kadar çıkabilir. Kalın kesitli parçalarda her 1,5 cm için bekleme süresi 1 saat olarak kabul edilir. Bekletme süresi seçilirken, bütün eriyebilen alaşım elemanlarının katı eriyik olabileceği uzunlukta olmasına dikkat edilmelidir [22].

Su verme işlemi, çözeltiye alma ısıtma işlemi sonucunda elde edilen tek fazlı α katı çözeltisini, çökeltilerin oluşmasına yer vermeyecek şekilde, belirli bir T_1 sıcaklığından hızlıca soğutularak yapılır (Şekil 5.4.'e göre). T_1 sıcaklığındaki malzemenin, aniden sıvı içerisinde soğutulmasıyla aşırı doymuş katı eriyik ortaya çıkar. Aşırı doymuş katı eriyik, malzemenin içindeki çözenin dengeli koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği orandan daha yüksek oranda madde çözmesi anlamına gelir ve kararlı olmayan bir durumdur.

Kararlı bir yapının ortaya çıkması, orta derecede dayanıma ve yüksek oranda sünekliğe sahip bu yapıya yaşlandırma işlemi uygulanması ile mümkündür. Su verme prosesinin uygulanmasından sonra ısıtılarak gerçekleştirilen yaşlandırmaya doğal yaşlandırma denir [25]. Su verme üç farklı metod ile yapılabilmektedir. Bu yöntemlerden biri seçilirken, sonuçta istenen özelliklere ve gösterdiği kolaylıklara göre bakılır.



Şekil 5.5. Yapı içerisinde çözünen atomun çözen atomun kafes yapısında dağılımı [26]

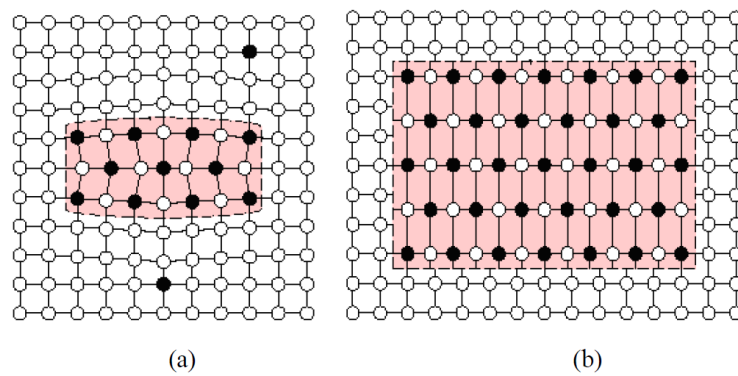
Az dövülmüş alaşımlara soğuk su banyolarında su verme işlemi uygulanır. Su verme öncesinde su sıcaklığı en fazla 30°C olmalıdır. Sıcaklık değişiminin en fazla 10°C olabilmesi için yetecek miktarda su olmalıdır. Bu yöntem oldukça etkilidir. Büyük ve kesiti kalın dökme parçalara 75°C - 90°C yada 100°C su verilebilmektedir. Bu şekilde su verme yöntemleri kullanıldığında distorsiyon en az oranda olmakta ve sıcaklığın eşit olmamasından doğabilecek çatlama tehlikeside önlenmiş olur. Bu işlemde suyun sıcaklığı, korozyon dayanımını yüksek oranda etkilemektedir. Dövme alaşımlarda ise bu şekilde su verme yöntemi kullanılmaktadır. Kalın kesitli parçalarda korozyon dayanımı ince kesitli parçalara göre daha yüksek önem arz etmektedir. Yüksek hızda su püskürterek su verme işlemi levhalara ve yüzeyi geniş parçalara uygulanır. Bu şekilde su verme yöntemi kullanılarak distorsiyon oluşma olasılığı çok azalmakta ve su verme işleminden doğabilecek çatlakların önüne geçilebilmektedir. 2017 ve 2024 alaşımlarında ise korozyon mukavemetini azalttığından dolayı bu yöntem kullanılamamaktadır.

5.4.5. Çökelme sertleşmesi

Bir metalin kristal yapısının plastik şekil değişimine karşı direncini artırabilmek için üç önemli genel yöntem vardır. Bunlar soğuk şekil verme, katı çözelti sertleşmesi ve çökelme sertleşmesidir. Bugün çok yüksek dayanımlı alaşımların elde edilmesi bu yöntemlerin bir veya bir kaçının kullanılmasına bağlıdır. Alaşım elementleri, esas metale özelliklerini değiştirmek ve arzu edilen karakteristikleri kazandırmak için eklenir. Alaşım elementlerinin katı çözelti içine girmesiyle, elektriksel iletkenlik ve

süneklikte azalma, sertlik ve mekanik dayanımda artma vardır ve bu katı çözelti sertleşmesi veya alaşım sertleşmesi adını alır [23].

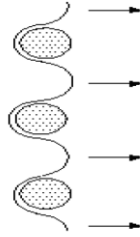
Çözeltiye alma işleminde ortaya çıkan ve dayanımı orta derecede ve sünekliği oldukça yüksek olan aşırı doymuş yapının mukavemeti çökelme sertleşmesi ile daha yükselebilmektedir. Yaşlandırmanın ilk adımında, aşırı doymuş katı eriyik içindeki fazlalık atomları kümeleşerek ilerleyen adımlarda çekirdek mekanizmasının da etkin hale gelmesiyle, β fazının (çökeltiler) çekirdeklerini ortaya çıkarmaktadır. Şekil 5.5.'de bu atom yapısının kafes yapısı görüntüsü görülmektedir [22]. Çökelme sertleşmesinin gerçekleşmesi, matris içerisinde çözünen atomlardan meydana gelen uyumlu çökeltilerin oluşmasına bağlıdır. Şekil 5.6. a) Uyumlu çökelti oluştuğunda, çökelti kafes yapısının atom düzlemleri ile matris kafes yapısı düzlemleri arasında süreklilik oluşmaktadır. Süreklilik oluşumu yüzünden çökeltinin çevresinde geniş bir gerilme alanı ortaya çıkar ve bu alan içerisinde geçebilecek dislokasyonların hareketini zorlaştırır [12]. Alaşımın matris yapısı ile uyum gösteren çökeltiler, dislokasyon hareketlerine engel olup, alaşımın mukavemetini ve sertliğini oldukça arttırmaktadır. Fakat, aşırı yaşlandırma aşamasında çökeltiler daha fazla büyüyerek matristen bağımsız bir hal alarak kendi kristal yapılarını oluşturur. Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu olmayan bir yapı ortaya çıkarır. Şekil 5.6. b) Bu durum gerçekleştiğinde malzemenin mukavemetinde azalma görülmektedir.



Şekil 5.6. a) Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, b) Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti [26]

Bu duruma ek olarak, çökelme sertleşmesinde, alaşımın dayanımını ve sertliğini yükselten bir diğer etken ise, çökelti boyutudur. Yaşlandırma süresi arttırıldığında,

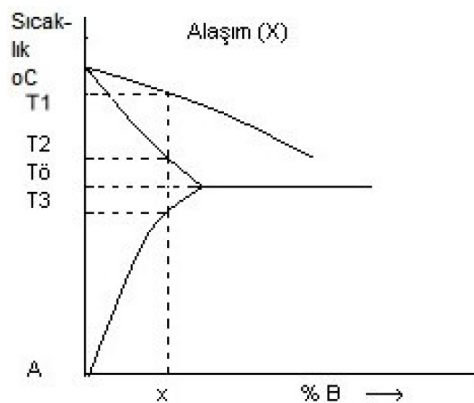
çökelti boyutları artarak aralarındaki mesafe azalmakta ve bu sebeple dislokasyon hareketlerini engelleyip mukavemetin yükselmesine neden olmaktadır. Ancak çökelti boyutunun fazla büyümesi dislokasyon hareketlerinin ilerlerlemesini kolaylaştırmaktadır. Bu sebeple dayanım azalmaktadır. Çözeltinin dislokasyon hareketini engellemesi Şekil 5.7.'de şema ile gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Çökelti arasında yarım halka şeklinde oluşan dislokasyonlar [27]

5.4.6. Çökelme sertleşmesi ısı işlemi

Çökelme sertleşmesi bazı alaşımlarda sertlik ve dayanımı yükseltmek için geliştirilmiş bir temel sertleştirilme mekanizmasıdır. Çözünmenin temel mantığına dayanır. Bu işlemin prensibi genelleme olarak Şekil 5.8.'deki diyagramda gösterilmektedir. Sıvı X alaşımı denge sınırının altına kadar soğutulursa, T1 sıcaklığında katılaşmanın başladığını ve T2 sıcaklığında bittiği görülmektedir.



Şekil 5.8. Çökelme sertleşmesi faz diyagramı

T3 sıcaklığına erişinceye kadar fazda bir değişiklik olmaz. Soğutma işlemine devam edilirse ikinci bir faz tane sınırları boyunca ve kayma düzemlerinde çökelme

gerçekleşir.(katılaşma sınırını geçerken) Bu çökelen faz, aslında esas metal, ergiyik metal veya bir ara faz olma ihtimali vardır [5, 23].

Başka bir deyişle, eğer soğutma hızı çok hızlı olursa tamamlanmamış çökeltme oluşabilir. Pratikte T2 ve T3 sıcaklıklarının arasındaki hızlı yapılan soğuma birçok alaşımda çözeltideki tüm ikinci faz içeriğini tutmaya izin vermeye yeterlidir. Mesela aşırı doymuş bir alaşımda, çözeltide buluna B atomları fazla olduğunda çökeltmenin meydana gelme eğilimi vardır. Uygulama süresince çökeltmenin meydana gelme durumu difüzyon hızına göre belli olmaktadır. Difüzyon hızı yeterliyse, çökeltme oda sıcaklığında oluşabilir. Bu durumda alaşım doğal yaşlanabilir. Brçok alaşımda, oda sıcaklığında difüzyon hızı oldukça düşüktür. T3 den daha düşük sıcaklıkta ısıtma difüzyon hızını artırır ve çökeltme oluşmasına izin verir. Bu durumda alaşım hızlı olarak yapay yaşlanma sürecine girer. Çökeltme sertleşmesi üç işlem ile gerçekleşir.

- Çözündürme ısıl işlemi
- Yüksek hızda soğutma
- Çökeltme (yaşlandırma) işlemi

5.4.6.1. Çözündürme ısıl işlemi

Alaşımları Şekil 5.8.'de görülen T3 sıcaklığının üzerine (fakat T₀ sıcaklığının altına) ısıtılmasını ve homojen bir yapı elde etmek için bir süre tutulmasını kapsar. T3 tam çözünme için izin verilen en düşük sıcaklıktır. T₀ ise yarı kararlı olabilen ötektik erimesini engellemek için kullanılan en yüksek sıcaklıktır. Gerçekte mümkün olan maksimum sıcaklık en yüksek difüzyon hızını elde etmek için kullanılır. Örneğin, Al-Cu da 2024 (Ağırlıkça %4,5 Bakır içermektedir.) ötektik sıcaklığı 500°C'dir. Çözündürme ısıl işlemi normalde 488-500°C sıcaklıkları arasında gerçekleşmektedir [5, 23].

5.4.6.2. Hızlı soğutma

Sözgeçen alaşım düşük sıcaklığa (genelde oda sıcaklığına) hızlı olarak soğutulur (suda soğutma yeterli olmaktadır.). Soğutma ortamı oda sıcaklığında genelde su

olmaktadır. Suda hızlı soğutmanın ardından alaşım örneğinin yapısı aşırı doymuş katı çözelti içermektedir [5, 23].

5.4.6.3. Yaşlandırma (çökeltme) işlemi

Yaşlandırma işlemi, dayanım ve sertlikde talep edilen yükselme meydana gelene kadar, malzemeyi uygun sıcaklıkta tutmayı gerektirir. Alaşımdaki ince dağınık çözeltinin oluşması, çökeltme sertleşmesi işleminde amaçlanmaktadır. Aşırı doymuş çökelti kararsız olduğunda ikinci fazın çökelebilmesi için kesin bir yönelim vardır. İşlem sıcaklığında α çözeltisinin kabul etmek istemediği en fazla β atomları belirli bir kristal yapısında düzlemlere doğru difüzyon eğilimindedir [5, 23].

5.5. Isıl İşlemlerde Mukavemet Arttırma

Metallerde dengeli soğuma süresinde oluşan yapılar kararlı olup belirli özelliklere sahiptirler. Denge diyagramları bileşim ve sıcaklığa bağlı olarak oluşan kararlı fazları ve faz dönüşüm sıcaklıklarını gösterir. Bu durumda soğuma süresinde faz dönüşümleri zorlayıcı etki bulunmaksızın kendiliğinden tamamlanır. Ancak kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri ile sağlanan aşırı koşullar altında (su içinde soğutma gibi) denge hali faz dönüşümleri kısmen veya tamamen önlenabilir. Bu koşullarda elde edilecek bazı denge dışı yarı kararlı fazlar üstün özelliklere sahip olabilirler. Bu ilkelere dayanarak endüstride çeşitli ısıl işlemler geliştirilmiştir. Çeliklere uygulanan su verme sertleştirilmesi ile bazı alüminyum alaşımlarına uygulanan çökeltme veya yaşlanma sertleşmesi bunlara birer örnek olarak gösterilebilir.

Bir ana faz içinde çok küçük parçacıklar halinde çökelmiş ikinci bir faz şekil değiştirmeyi çok kısıtlar, dolayısıyla sertlik ve mukavemet artar. Bu ikinci faz genellikle aşırı doymuş bir fazdan kontrollü çökeltme yöntemi ile elde edilir. Bu yöntem birbirlerini sıcaklığa bağlı olarak sınırlı oranda eriten sistemlere uygulanır. Bunun en tipik örneği Al-Cu alaşımlarıdır [5, 23].

5.6. Al-Zn-Mg Alaşımlarında Meydana Gelen Dönüşümler

Al-Zn-Mg 7xxx alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma işlemleri sırasında meydana gelen çökelti fazlarının oluşma aşamaları ve çeşitleri, alaşımın bileşimine, çözeltiye alma koşullarına ve yaşlandırma sıcaklıklarına bağlıdır [16]. Alüminyum 7xxx serisi alaşımlarında kabul gören ardaşık yapılardan birincisi;

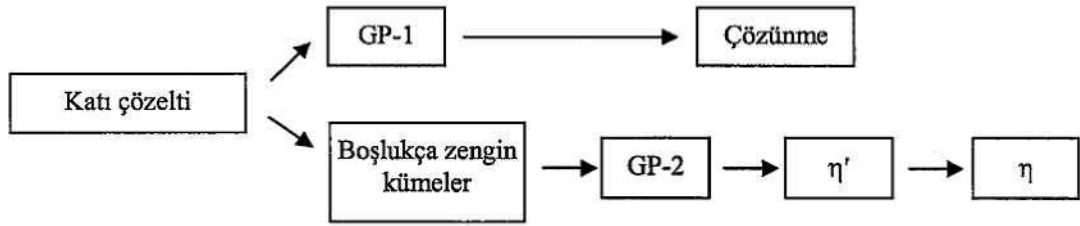
$\alpha_{\text{Aşırı doymuş}} \rightarrow \text{GP 1-2 zonları} \rightarrow \eta' \rightarrow \eta(\text{MgZn}_2)$ olarak gerçekleşmektedir [10,28,29].

Yaşlandırma işleminde gerçekleşen ilk dönüşümler GP-1 ve GP-2 zonlarıdır. GP-1 zonu yapısı içerisinde Mg oranı düşük olmakta ve çözünen atomlar bu zonda yüksek oranda olduğu tespit edilmiştir. GP-2 zonlarının içyapısı ise boşluk ve çözünen atomca yüksek orandadır. GP zonlarının olduğu en yüksek sıcaklık limiti, alaşımın kimyasal bileşimine bağlı olarak 100°C - 180°C arasında değişebilmektedir. GP-1 ve GP-2 zonlarının oluşabilmesi için geçen süreler farklılık göstermektedir. GP-1 zonları alüminyum matriks ile tamamen uyumlu davranış sergiler ve oda sıcaklığından 140°C – 150°C sıcaklıklara kadar soğutma sıcaklığına bağlı olmadan yapılan yaşlandırma işlemlerinin ardından Al, Zn ve Mg atomlarının matriks kafes yapısında alt birimler şeklinde periyodik olarak sıralanması ile oluşur. Oda sıcaklığından 60°C – 70°C sıcaklıklara kadar sadece GP-1 zonlarının olduğu gözlenmektedir buna bağlı olarak doğal yaşlandırma sürecinde oluşan GP zonları, GP-1 tipinde olmaktadır [10,28,29].

Yapı içerisinde oluşan GP-2 zonlarının meydana gelişi ise 450°C üzerindeki çözeltiye alma sıcaklıklarından ani soğutma sonrası ve 70°C üzerindeki sıcaklıklarda yapılan yaşlandırmalarda meydana gelmektedir. Düşük sıcaklıklarda ise GP-2 zonları birkaç hafta veya daha fazla bekleme sürelerinde yaşlandırılan numunelerde düşük oranlarda meydana geldiği gözlenmiştir. GP-2 zonlarının difraksiyon kontrastı ile görüntülenmesi oldukça güçtür. Ancak, yüksek çözünürlüklü SEM ile 1-2 atom kalınlığında ve 3-5 nm genişliğinde Zn oranınca zengin ince tabakalar olarak kolaylıkla görüntülenebilmiştir [10, 29]. GP-2 zonu, η' fazının oluşması için ana yapıyı meydana getirdiği olarak da değerlendirilmekte ve oluşumunun, ani soğutma

sırasında meydana gelen boşlukça zengin kümelerden kaynaklandığı belirtilmektedir. Yarı kararlı η' fazının, alaşımın dayanımını arttırdığı dikkate alındığında, dayanım arttırmada belirgin rol oynayan aşamanın GP-2 zonundan η' fazının oluşması gösterilebilir [10, 29].

Su verme sırasında yapı içerisinde kalan boşlukların, doğal yaşlandırma sırasında önemli etkilerinin olması gerektiği düşünülmektedir. Ancak, araştırmalar oda sıcaklığında kararlı olan bu boşluklara GP-1 zonlarının meydana gelmesi için çok yeterli olmadığı saptanmıştır. Dolayısıyla, bunlara daha yüksek sıcaklıklarda bir ara faz olarak GP-2 zonlarının meydana gelmesinde katkıda bulunduğu belirtilmektedir. Bu sırada, GP-1 zonları, yapı içerisinde çözünmekte veya kritik bir boyutun üzerinde olmaları durumunda η' fazına dönüştüğü belirtilmektedir [10,28]. Yapı içerisindeki fazların dönüşümü şematik olarak Şekil 5.9.'da verilmektedir.



Şekil 5.9. 7xxx alaşımlarının yüksek yaşlandırma sıcaklıklarında meydana gelen yapısal dönüşümler [10,28]

Yapılan çalışmalarda [10, 53, 54] 7xxx alaşımlarında meydana gelen farklı bir çökelti oluşum mekanizması mevcuttur. Bu farklı oluşum fazı;

$\alpha_{\text{Aşırı doymuş}} \rightarrow \text{GP zonları} \rightarrow \text{T}' \rightarrow \text{T}(\text{AlZn})_{49}\text{Mg}_{32} = (\text{Mg}_3\text{Zn}_3\text{Al}_2)$ şeklinde meydana gelmektedir [17, 30, 31].

Meydana gelen dönüşüm sırasında oluşan GP zonları, 7xxx alaşımları için tanımlanan diğer çökelti oluşum sırasında oluşan GP zonlarından boyut, oluşum hızı ve bileşim bakımından oldukça farklıdır. Boşlukça zengin GP zonları, ana malzeme ile uyumlu T'ara fazına dönüşmektedir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla T'fazından kararlı denge fazı T oluşmaktadır. T fazı, kübik kristal yapıya sahip, $(\text{AlZn})_{49}\text{Mg}_{32}$ bileşiminde ve ana malzeme ile uyumsuz oldukça kararlı bir denge fazıdır. Mg/Zn

oranı 1/2 ve 1/3 arasında değişen 7xxx alaşımlarında, 200°C'den yüksek sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma sonucu oluşmaktadır. Karşılaşılan bu durumda diğer çökelme sırasında oluşan denge fazı η 200°C altındaki yaşlandırma sıcaklıklarında çökelmektedir [10, 31].



BÖLÜM 6. DENEYSEL ÇALIŞMA

6.1. Gerekçe

Bilindiği gibi, alüminyum alaşımları düşük yoğunluğu, yüksek plastisitesi ve şekillendirilebilirliği ve yüksek spesifik mukavemeti nedeniyle sanayinin her alanında kullanılmaktadır ve kullanım miktarları ve alanları da her geçen gün artmaktadır. Özellikle otomotiv, uçak ve havacılık uygulamalarında orta ve yüksek mukavemetli alüminyum alaşımları hızlı bir şekilde çeliğin yerini almaktadır.

AA7075 alüminyum alaşımı yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından biridir. Ana alaşım elementleri çinko ve magnezyum olmakla beraber bir miktar bakır da bileşimde yer almaktadır. Demir ve silisyumun da bileşimde bulunduğu göz önüne alındığında, alaşımda çok farklı intermetalik fazların bulunacağı kolayca anlaşılmaktadır. İntermetalik fazlar, özellikle, küçük partiküller şeklinde yapıda yer alırlarsa mukavemeti artırıcı yönde etki ederler. Bunlar arasında Mg_2Si , $MgZn_2$ (S) ve $CuAl_2$ (θ) fazları alüminyum alaşımlarında yaşlanma sırasında mukavemet artışından sorumludurlar. AA7075 alaşımında; bunlardan Mg_2Si ve $MgZn_2$ fazları bulunmaktadır. Bunların yanı sıra Al_2CuMg (η), Al_7Cu_2Fe fazları da kaba partiküller olarak yapıda yer alır. Bu kompleks intermetalik faz mevcudiyeti AA7075 alaşımının 180 HV'ye varan ve neredeyse çelik düzeyinde olan sertlik kazanmasına yol açmaktadır. Bu da hafifliğin ön planda olduğu uçak ve havacılık uygulamalarında AA7075 alaşımını cazip hale getirmektedir.

AA 7075 alaşımı ısıtılma işlemle mukavemeti artırılabilen alüminyum alaşımlarından biridir. Bu alaşıma geleneksel olan T6 ısıtılma işlemi yanında (öncesinde veya bağımsız olarak) RRA adı verilen retrogresyon ve tekrar yaşlandırma işlemi de uygulanmaktadır. Bu tez çalışmasında ise geleneksel T6 ısıtılma işlemi uygulanmıştır.

Numuneler dökülmüş halde bir alüminyum firmasının ürettiği ingottan disk şeklinde kesilerek çıkarılmıştır. Disk 15 mm kalınlıklı ve yaklaşık 150 mm çapındadır.

Rutin uygulamalarda, dökülmüş ingotlar öncelikle homojenleştirme işleminden geçirilmekte ve kullanıma bu şekilde verilmektedir. Bu çalışmada, bir grup numune döküldüğü halde (homojenleştirilmemiş durumda) bir grup numune ise homojenleştirilmiş halde önce çözeltiye alma ve su verme (T4) işlemine tabi tutulmuş, bu numunelere takiben T6 ısıtma işlemi (yaşlandırma) uygulanmıştır. Çalışmada, homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numunelerin mikroyapı ve sertlik açısından karşılaştırılması, yani homojenizasyonun etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Bu tez çalışmasında 480°C'lik homojenleştirme sıcaklığı seçilmiştir. Döküm halindeki alaşımın mikroyapısı tamamen dendritik karaktere sahiptir. Dendrit boyutları mikron mertebesinde. Bu yapının ıslah edilebilmesi için homojenleştirme işlemi gereklidir. Literatürde homojenleştirme işlemi için sabit bir sıcaklık tanımlanmamıştır. Örneğin Khalil ve arkadaşları [32] 460°C'lik bir homojenleştirme sıcaklığı seçmişler ve 3 saat süre ile homojenleştirme uygulamışlardır. Bu çalışmada ise, 480°C'de 5 saat süre ile homojenleştirme yapılmıştır.

6.2. Deney Malzemesi

Bu çalışmada kullanılan alüminyum 7075 alaşımlı malzemenin kimyasal bileşimi Tablo 6.1.'de verilmektedir.

Tablo 6.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alüminyum 7075 alaşımının kimyasal bileşimi (ağ.%)

Element	Ort %
Al	89,6
Si	0,403
Fe	0,549
Mn	0,014
Cu	1,568
Mg	2,596
Zn	5,48
Cr	0,0125
Zr	0,0305

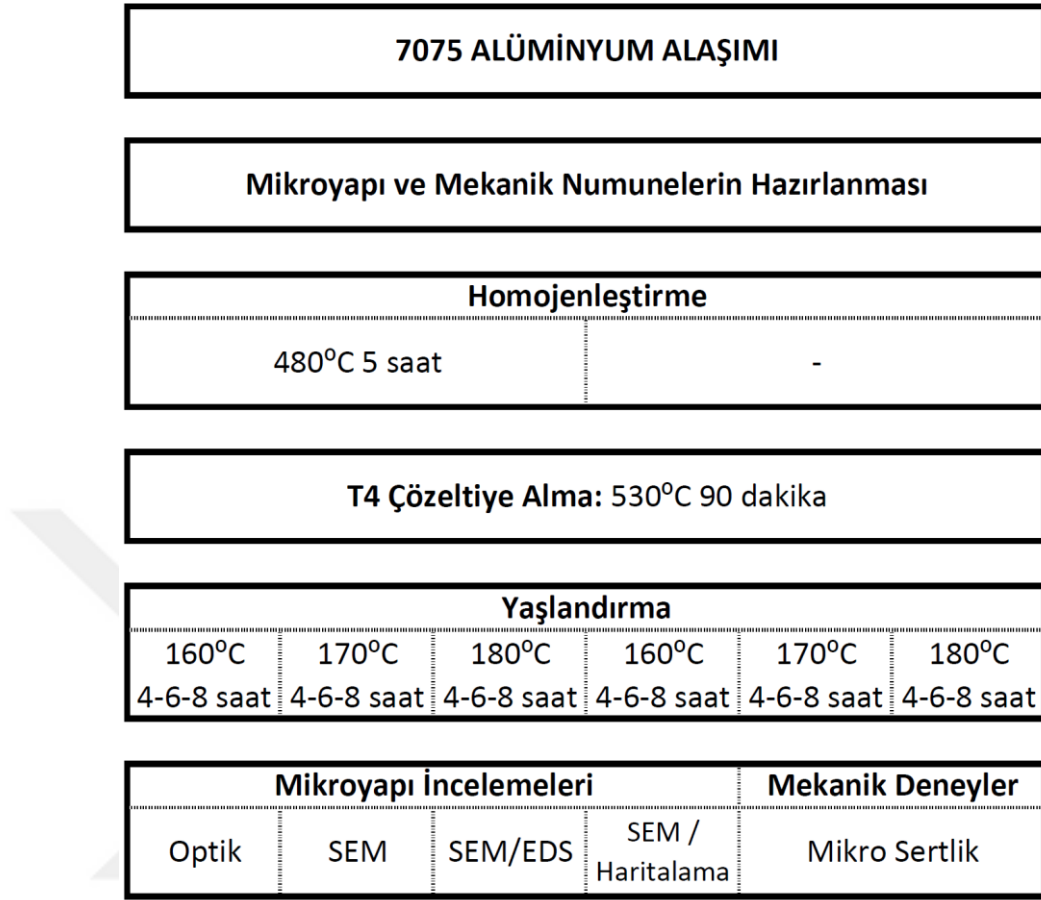
6.3. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Dökülmüş ingottan kesilen yaklaşık 15 mm kalınlığındaki silindirik levha şeklindeki malzeme iki parçaya ayrılmıştır. Bu parçalardan birine homojenleştirme işlemi uygulanmış diğerine uygulanmamıştır. Bu işlemden sonra her iki levhadan 20x20mm ölçülerinde parçalar alınarak kesme izlerini gidermek için yüzeyleri 80-120-240-400-800-1000 mesh zımparalardan geçirilmiştir.

6.4. Deneysel Çalışma Programı

İki grup numuneye uygulanan işlemler Şekil 6.1.'de gösterilmiştir. Buna göre dökülmüş haldeki ve 480°C'de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş haldeki numuneler 530°C'de 90 dakika süre ile çözeltiye alınmış, su verilmiş (T4), takiben 160 °C - 170 °C ve 180°C'lerde 4 saat - 6 saat ve 8 saat süre ile yaşlandırılmıştır (T6). Bu işlemler elektrik direnç fırınında gerçekleştirilmiştir. Son olarak numunelerin yüzeyleri tekrar 1000 grit zımparadan geçirilmeyi takiben 0,3 mikron elmas pasta ile parlatılmıştır. Nihai olarak yüzey parlaklığı sağlamak amacı ile koloidal silika ile son bir parlatma işlemi uygulanmıştır.

Parlatılmış numuneler üzerinde sertlik ölçümü yapılmış ve mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler 5 ml HF, 10 ml H₂SO₄, 85 ml H₂O oranında hazırlanan Keller Çözeltisi ile 1-2 dk süre boyunca dağlanmıştır. Mikroyapılar optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiş, mevcut fazlar ve partiküller enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (EDS) analiz edilmiştir.



Şekil 6.1. Şematik Olarak Deneysel İşlem Aşamaları

6.5. Mikroyapı İncelemeleri

6.5.1. Optik mikroskop incelemeleri

Metalografik inceleme için hazırlanan numuneler, sırasıyla 80-120-240-400-800-1000 grit numaralı SiC zımparalarla su altında zımparalanmıştır. Zımparalama işleminden sonra numuneler 0,3mikron elmas pasta ile mikroyapı incelemeleri için parlatılmıştır. Parlatılan numuneler su ile yıkanıp yüzeyleri alkol ile silinerek kurutulmuştur. Mikroyapı incelemeleri için hazırlanan numuneler 5 ml HF, 10 ml H₂SO₄, 85 ml H₂O oranında hazırlanan Keller Çözeltisi ile 1-2 dk dağlanmışlar ve optik mikroskop ile incelenmişlerdir.

6.5.2. Taramalı elektron mikroskobu

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM, JEOL 6060 LV), yaşlandırma işlemi ile mikroyapıda meydana gelen değişiklikler ve ikinci faz partiküllerini incelemek için kullanılmıştır.

6.5.3. Enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) incelemesi

Alüminyum 7075 alaşımı numunelerine uygulanan işlemler sonunda oluşan özelliklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak için yüzeylerdeki ve bazı bölgelerdeki element yoğunluğunu belirlemek için numuneler SEM'e bağlı EDS ünitesinde analiz edilmiştir.

6.6. Sertlik Ölçümleri

Sertlik değerlerinin ölçülmesinde Vickers sertlik ölçme metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Celal Bayar Üniversitesi laboratuvarında bulunan sertlik cihazında 0,5 kg yük uygulanarak yapılmıştır. Her numuneden üç farklı sertlik ölçümü yapılarak ortalamaları alınmıştır.

BÖLÜM 7. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

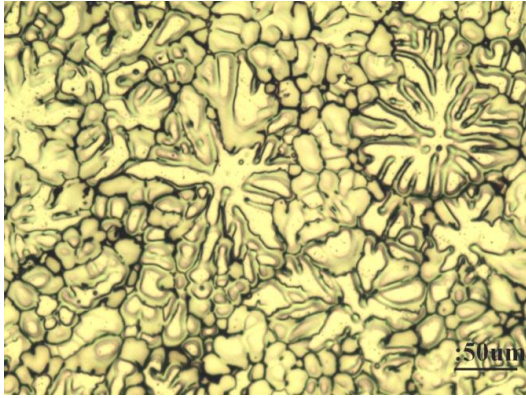
7.1. Mikroyapı İncelemeleri

7.1.1. Optik mikroskop incelemeleri

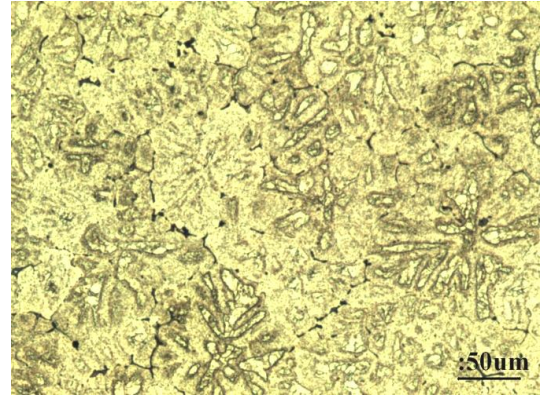
AA7075 alaşımından hazırlanan numuneler homojenleştirilmemiş halde (alındığı durumda), 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş halde, homojenleştirilmemiş halde iken 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınıp su verilmiş halde (T4) ve homojenleştirildikten sonra 530°C’de çözeltiye alınıp su verilmiş halde (T4) ve homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş halde iken 160 °C - 170 °C ve 180°C’lerde 4 saat – 6 saat ve 8 saat yaşlandırıldıktan sonra optik mikroskop ile incelenmiştir. Metalografik olarak hazırlanmış numuneler Keller Çözeltisi ile (5 ml HF, 10 ml H₂SO₄, 85 ml H₂O) dağlanmıştır. Optik mikroskop görüntüleri Şekil 7.1., Şekil 7.2., Şekil 7.3., Şekil 7.4. ve Şekil 7.5.’te verilmektedir.

Homojenleştirilmemiş

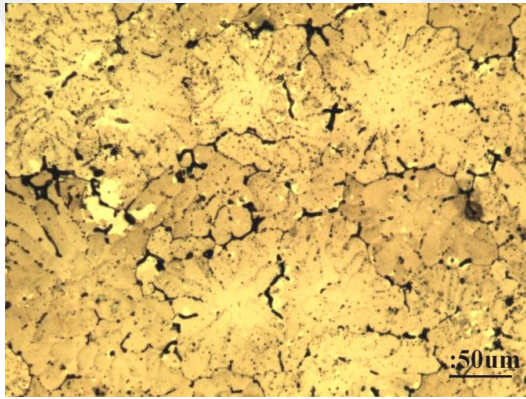
Homojenleştirilmiş



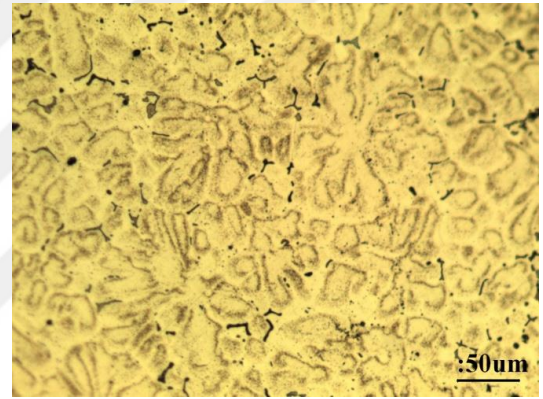
(a)



(b)



(c)



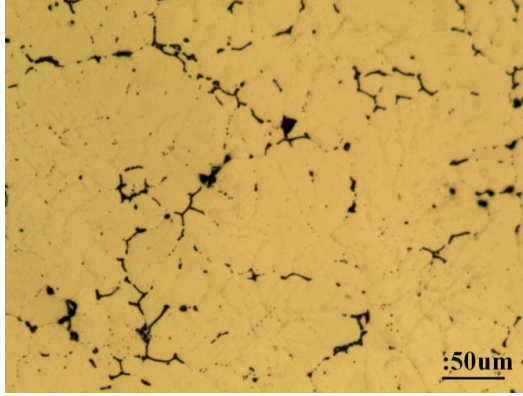
(d)

Şekil 7.1. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C’de homojenleştirilmiş haldeki optik mikrografları: a)Homojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4).

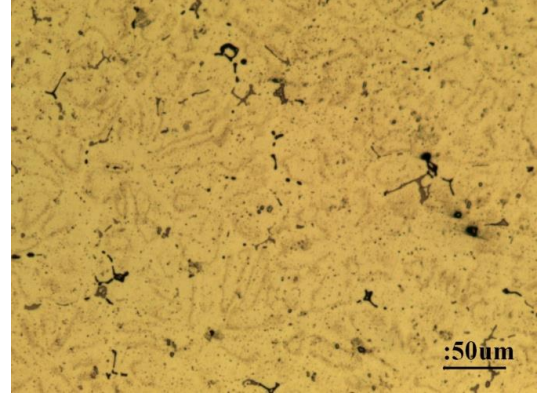
Şekil 7.1.’de dökülmüş haldeki homojenleştirilmemiş alaşımın optik mikrografı görülmektedir. Mikroyapı tipik dendritik karakteristiğe sahiptir. 480°C’de 5 saat süreyle uygulanan homojenleştirme işleminden sonra dendritik karakteristikler önemli ölçüde yok olmuş, kaba tane sınırları görünür olmuştur (Şekil 7.1.b). Homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numunelerin 530°C’de 90 dakika çözeltiye alınıp su verilmesi sonucu oluşan mikroyapıları sırasıyla Şekil 7.1.c ve 7.1.d’de verilmiştir. Dendritik karakteristikler halen belli olmakla beraber tane yapısı daha belirgin haldedir ve tane sınırları boyunca yerleşmiş koyu renkli fazlar açık bir şekilde görülmektedir.

Homojenleştirilmemiş

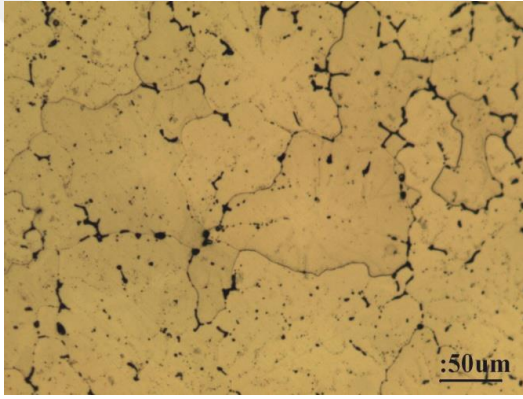
Homojenleştirilmiş



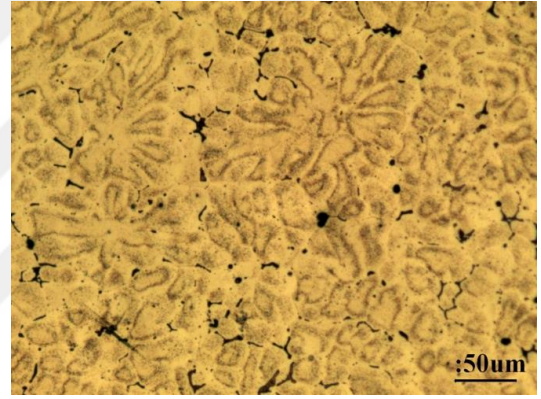
(a)



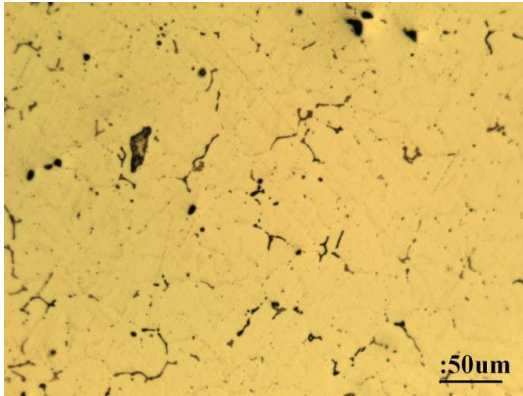
(b)



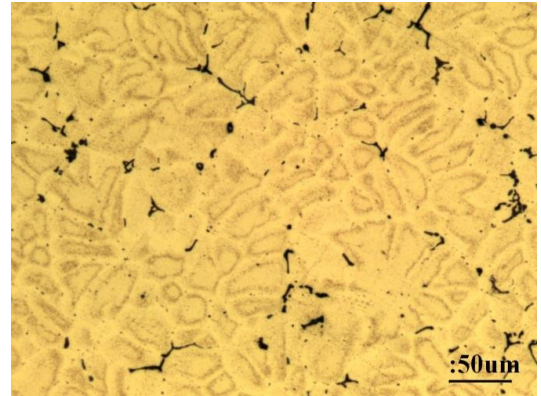
(c)



(d)



(e)



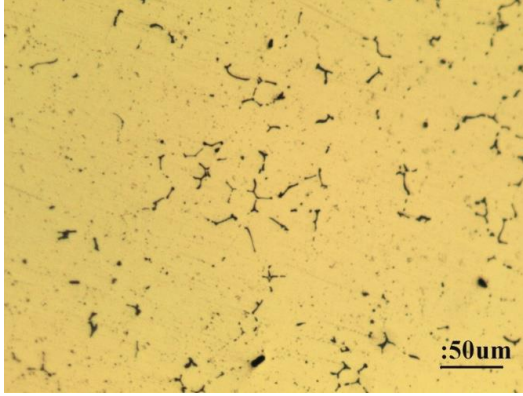
(f)

Şekil 7.2. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrogramları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

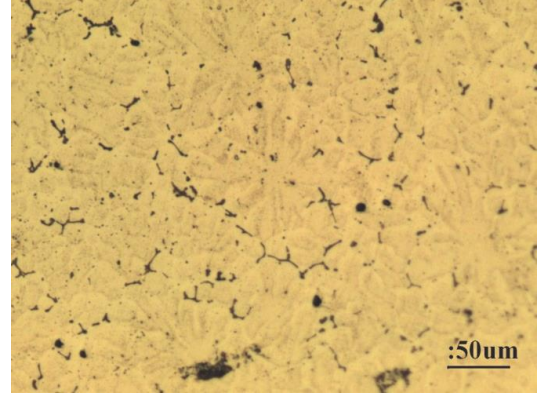
Homojenleştirilmemiş alaşım çözeltiye alınıp su verildikten sonra 160 °C - 170 °C ve 180°C’lerde 4 saat – 6 saat ve 8 saat sürelerle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılmış numunelerde esas itibariyle, mikroyapısal açıdan yaşlandırma süresine bağlı olarak önemli bir fark yoktur. Mikroyapı, alüminyumca zengin katı çözelti matris fazı ile çoğu tane sınırlarına yerleşmiş intermetalik fazlardan ibarettir (Şekil 7.2.a, 7.2.c, 7.2.e). Homojenleştirilip çözeltiye alınan ve su verilen numunelerin yaşlandırılmış haldeki mikroyapıları da homojenleştirilmemiş numunelerin mikroyapılarına benzerdir (Şekil 7.2.b, 7.2.d, 7.2.f). Homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numunelerin 170 °C ve 180°C’lerde yapılan yaşlandırma sonrasındaki mikroyapıları da benzer karakteristikler sergilemektedir (Şekil 7.3. ve 7.4.). Elbette, yaşlandırma sıcaklık ve süresine bağlı olarak intermetalik fazların tür ve miktarlarında değişiklikler olmuştur, ancak bunları optik mikroskop ile fark etmek kolay değildir. Bununla birlikte farklı optik mikroskop teknikleri kullanılarak faz farklılıklarını algılamak/görünür hale getirmek bir derecede mümkündür. Şekil 7.5. diferensiyel interferans kontrast (DIC) ve polarize ışık tekniği kullanılarak tane sınırlarındaki farklı fazların ortaya çıkarılmasına bir örnektir. Fakat bu durumda fazları tanımlamak, eğer yeterli deneyim yok ise, mümkün değildir ve daha kuvvetli analitik tekniklere (SEM - EDS gibi) ihtiyaç vardır.

Homojenleştirilmemiş

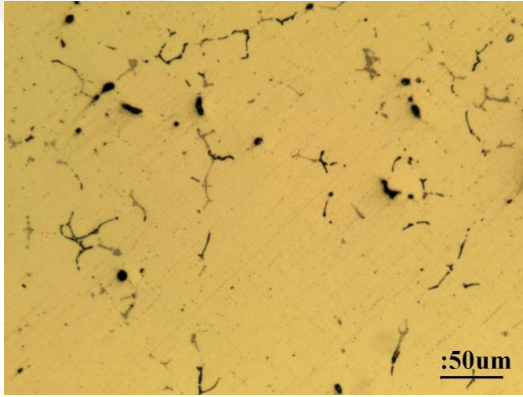
Homojenleştirilmiş



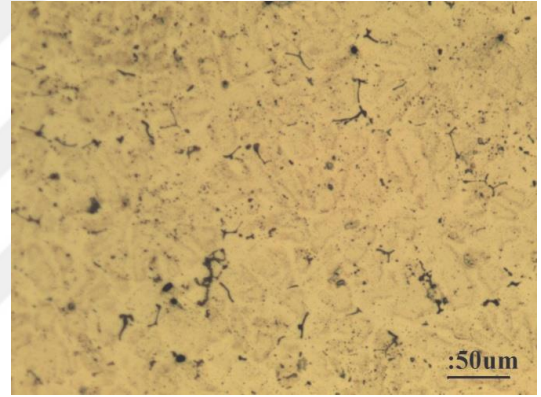
(a)



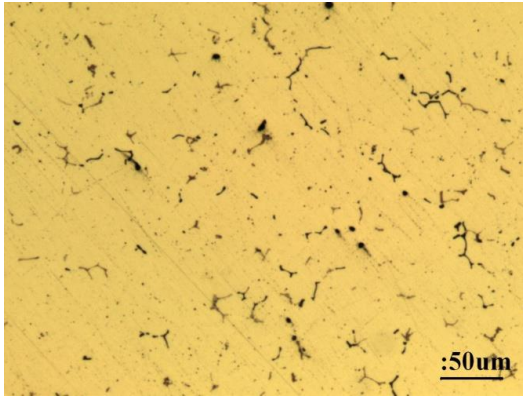
(b)



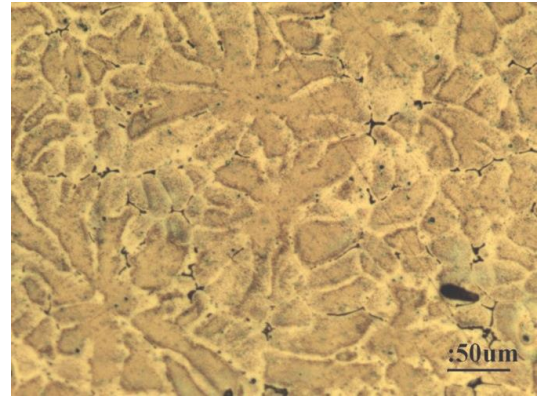
(c)



(d)



(e)

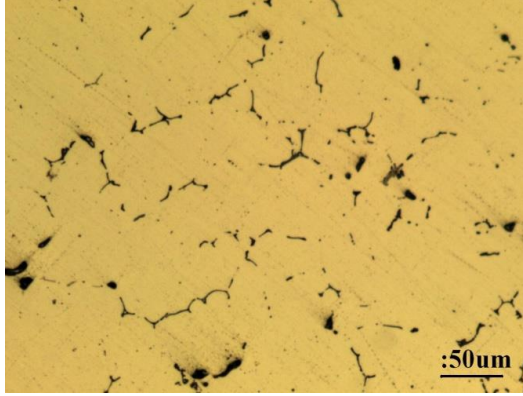


(f)

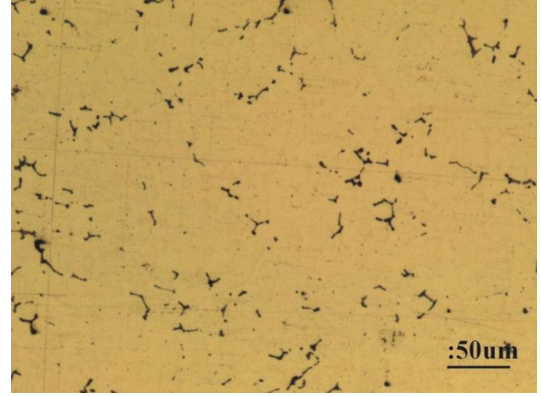
Şekil 7.3. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrografları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

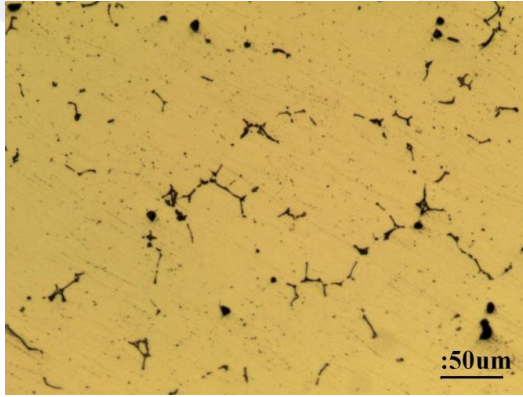
Homojenleştirilmiş



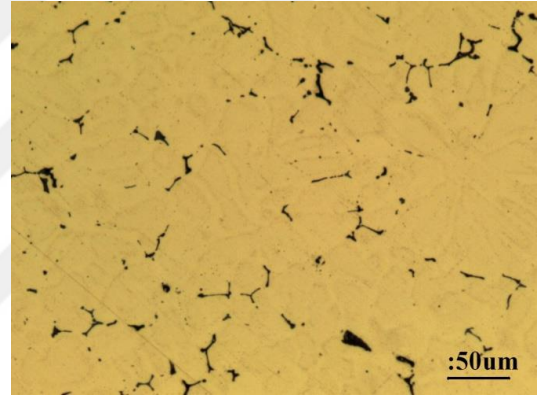
(a)



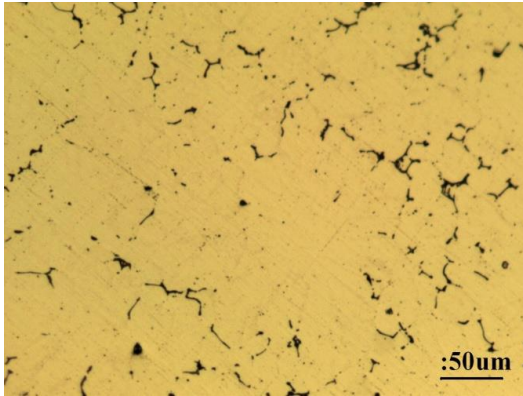
(b)



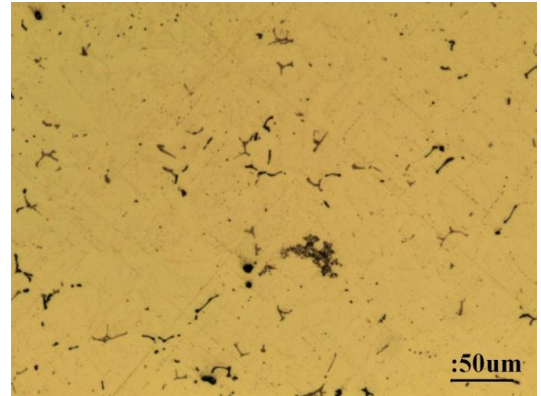
(c)



(d)

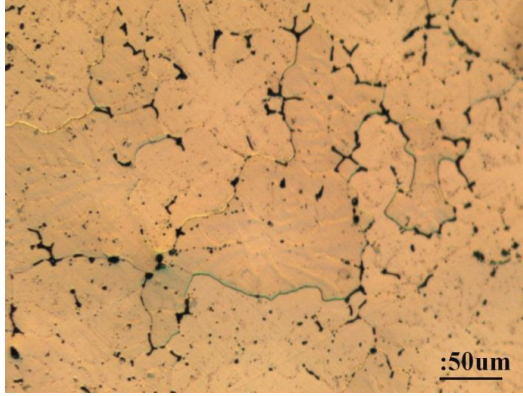


(e)

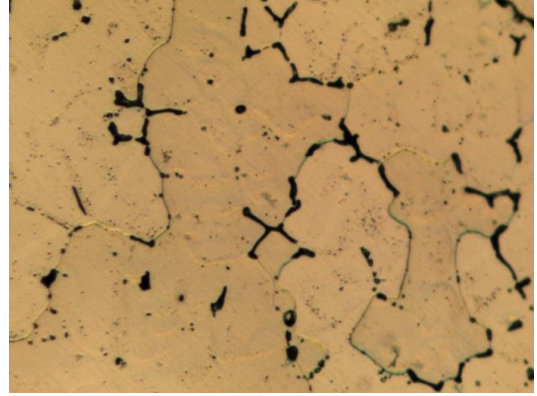


(f)

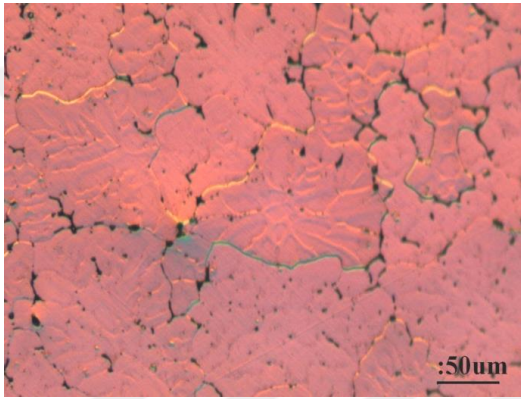
Şekil 7.4. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin optik mikrografları: a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.



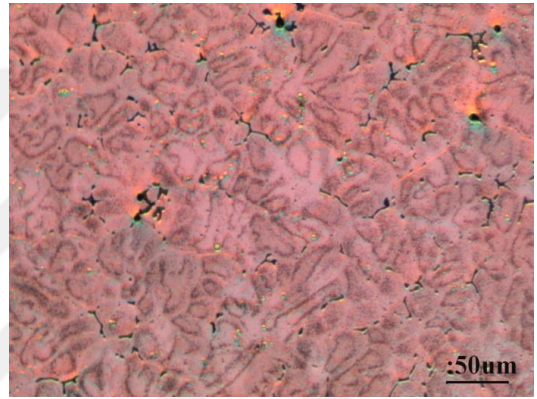
(a)



(b)



(c)



(d)

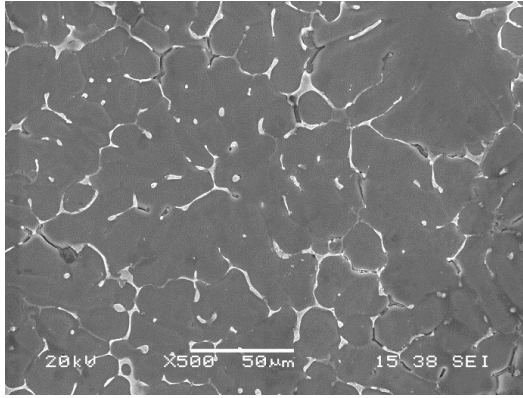
Şekil 7.5. Homojenleştirilmemiş çözeltiye alınıp su verilmiş ve 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış numunede a) ve b) diferensiyel interferens kontrast, ve c) ve d) polarize ışık uygulaması ile tane sınırlarındaki farklı fazları ayırt etmek mümkündür.

7.1.2. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri

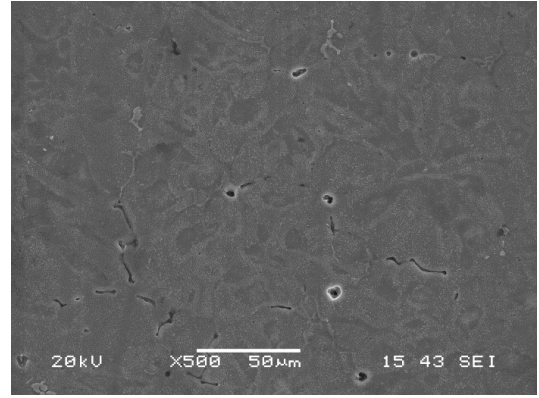
Optik mikroskop ile incelenen numuneler taramalı elektron mikroskobu (SEM-JEOL 6060 LV) ile de incelenmiş ve mikroyapıda görülen fazların kimyasal analizleri enerji dağılımlı x-ışınları spektroskopisi (EDS) ile yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri iki farklı büyütme için (500X ve 1000X) sırasıyla Şekil 7.6.’dan Şekil 7.13.’e verilmiştir.

Homojenleştirilmemiş

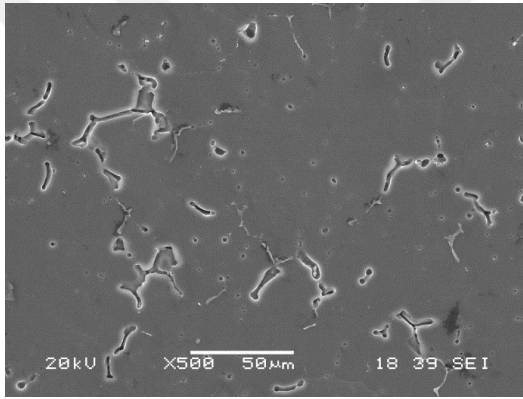
Homojenleştirilmiş



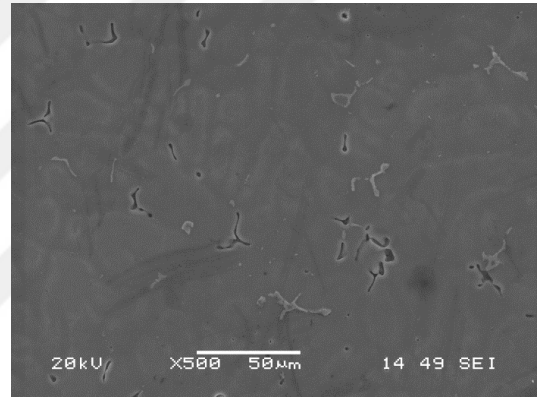
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 7.6. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C’de homojenleştirilmiş haldeki taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500X büyütme): a)Homojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4).

Homojenleştirilmemiş (Şekil 7.6.a), homojenleştirilmemiş çözeltiye alınıp su verilmiş (T4) (Şekil 7.6.c), homojenleştirilmiş (Şekil 7.6.b) ve homojenleştirilmiş çözeltiye alınıp su verilmiş (T4) (Şekil 7.6.d) numunelerin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri Şekil 7.6.’da verilmiştir. Bu resimlerde dendritik yapı pek fark edilmemektedir. Ancak homojenleştirilmiş numunelerde tane sınırı fazlarının bir kısmının katı çözeltiye geçtiği anlaşılmaktadır.

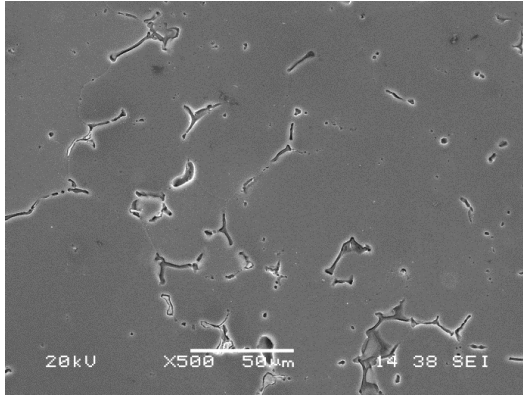
Homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numuneler çözeltiye alınıp su verme (T4) işlemini takiben 160 °C - 170 °C ve 180°C’lerde 4 saat – 6 saat ve 8 saat süreyle

yaşlandırılmıştır. Bu numunelerin 500X büyütmede alınan görüntüleri Şekil 7.7., Şekil 7.8. ve Şekil 7.9.'da 1000X büyütmede alınan görüntüleri ise Şekil 7.10., Şekil 7.11., Şekil 7.12. ve Şekil 7.13.'te verilmiştir. Bu görüntülerden, yaşlandırma sıcaklığı ve süresine bağlı olarak mikroyapılarda önemli bir fark olmadığı anlaşılmaktadır. Aslında, yaşlandırma sırasında olagelen mikroyapı değişiklikleri çok daha küçük boyutlarda meydana gelmektedir ve bunları görebilmek için çok daha yüksek büyütmelerde çalışmak gereklidir. Buna her zaman ihtiyaç ta duyulmayabilir. Zira alüminyum alaşımlarında ısıtıl işlemle meydana gelen faz değişimlerini mikroyapıdan takip etmek yerine mekanik özellikler üzerinden (özellikle sertlik) değerlendirmek sıklıkla takip edilen bir yoldur.

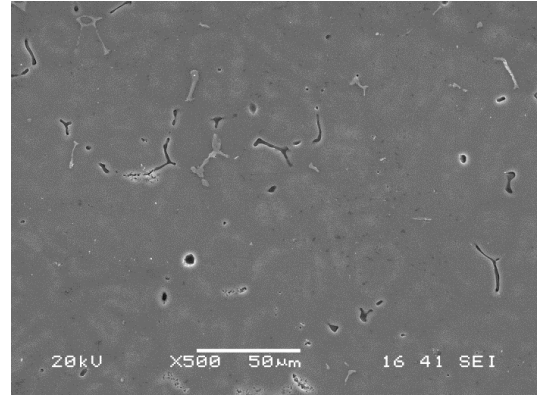


Homojenleştirilmemiş

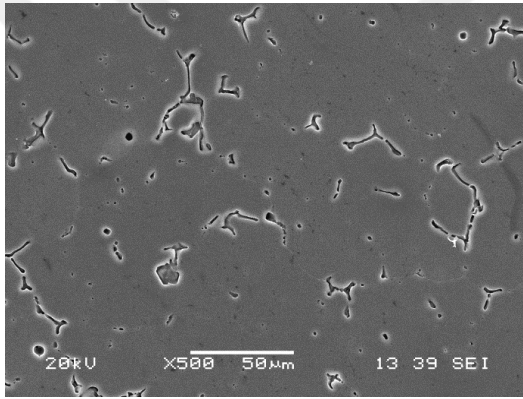
Homojenleştirilmiş



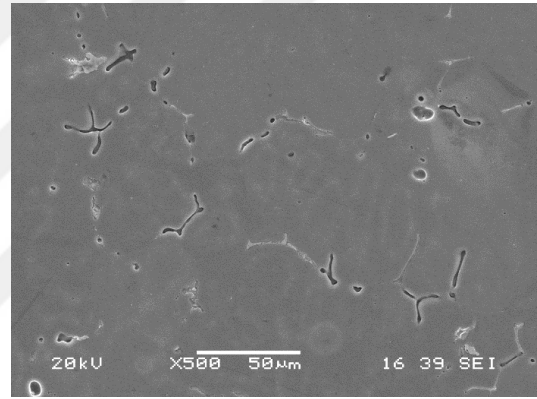
(a)



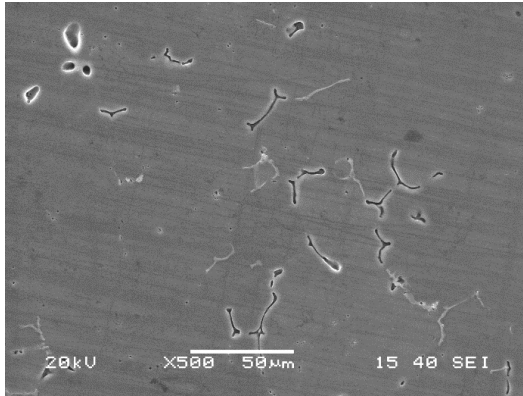
(b)



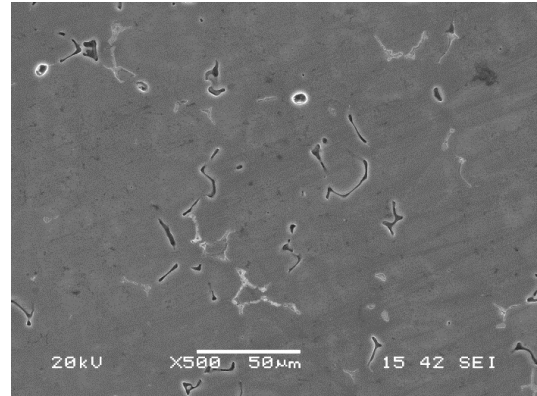
(c)



(d)



(e)

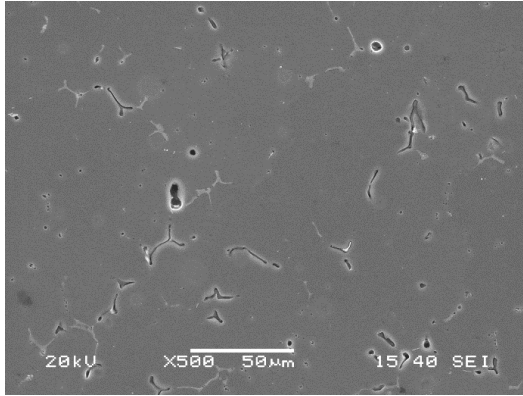


(f)

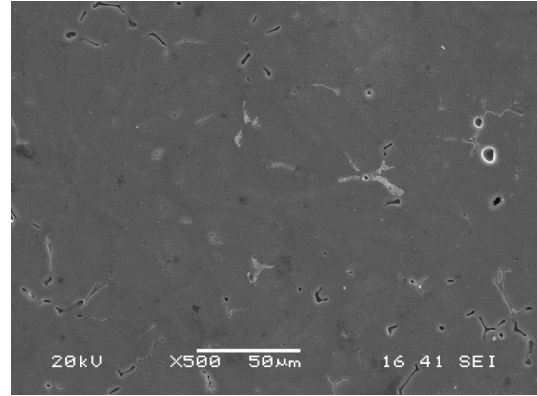
Şekil 7.7. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

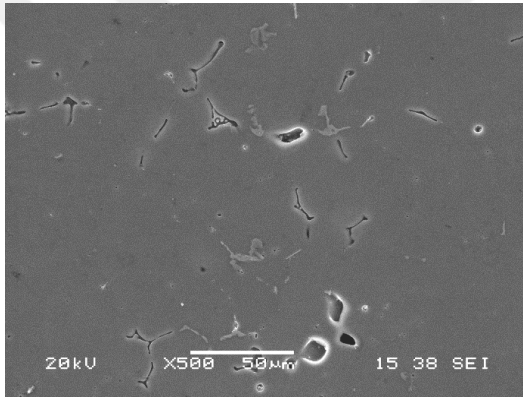
Homojenleştirilmiş



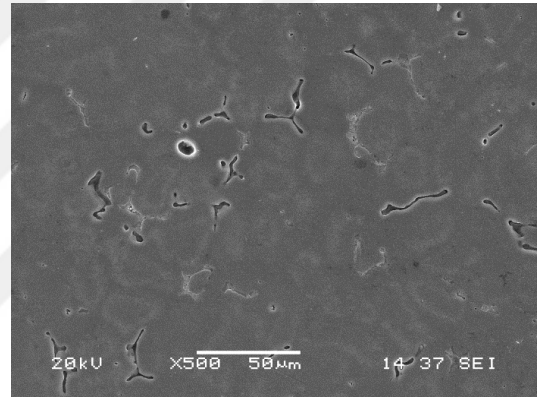
(a)



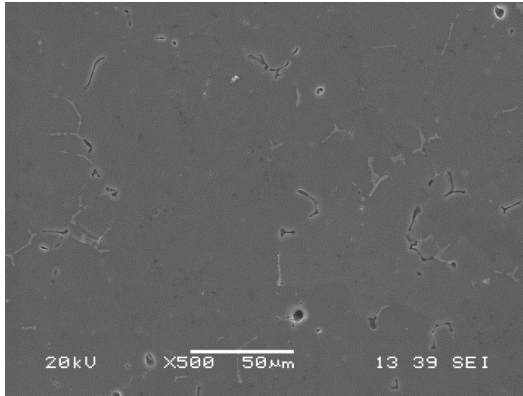
(b)



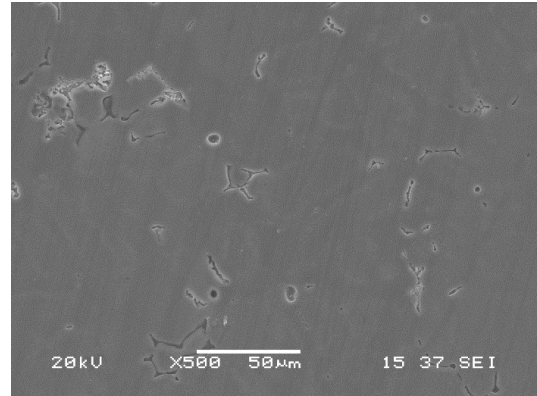
(c)



(d)



(e)

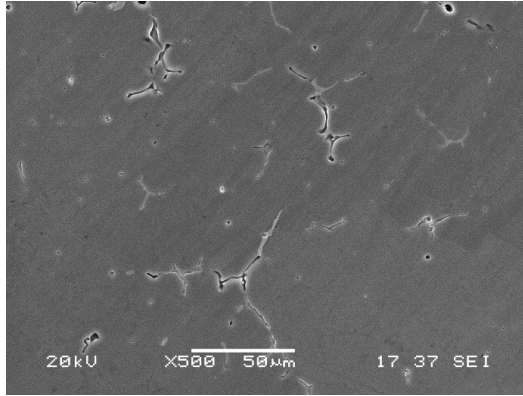


(f)

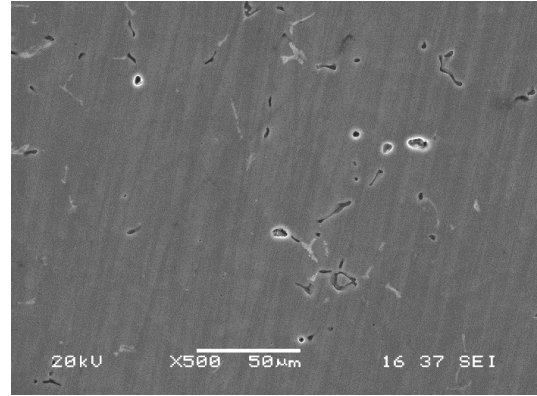
Şekil 7.8. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

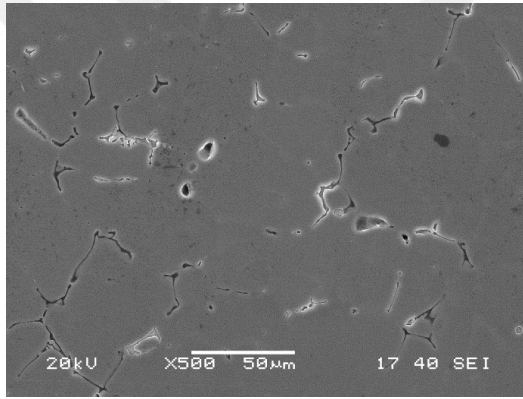
Homojenleştirilmiş



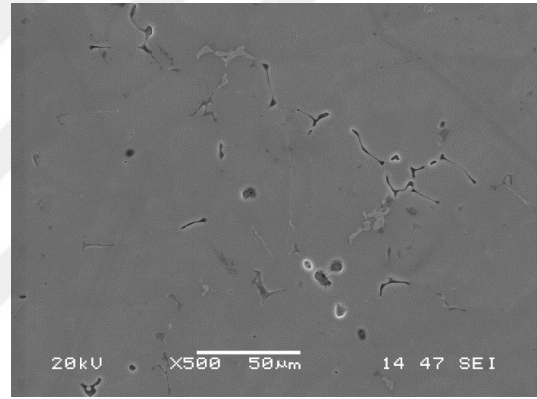
(a)



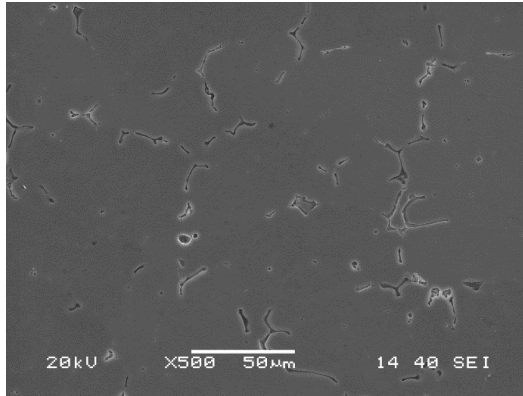
(b)



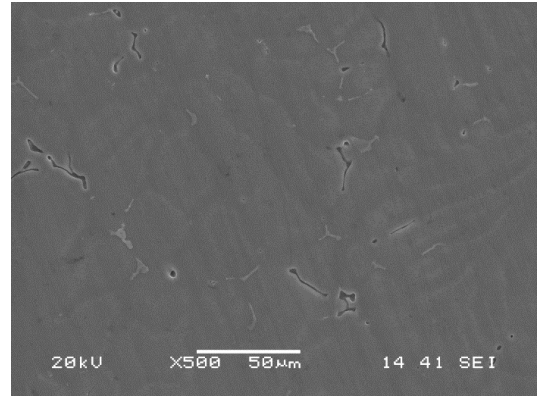
(c)



(d)



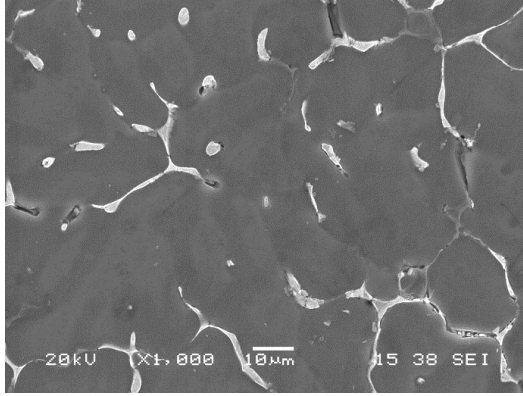
(e)



(f)

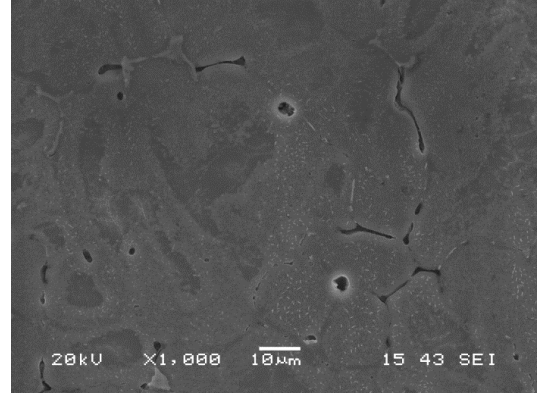
Şekil 7.9. 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C’de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (500x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

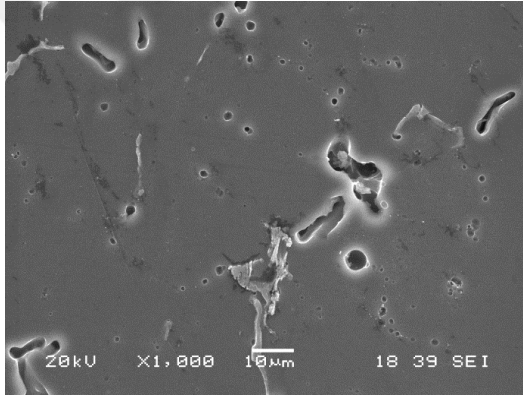


(a)

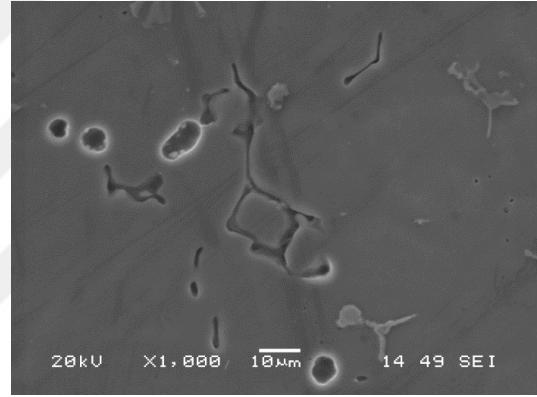
Homojenleştirilmiş



(b)



(c)

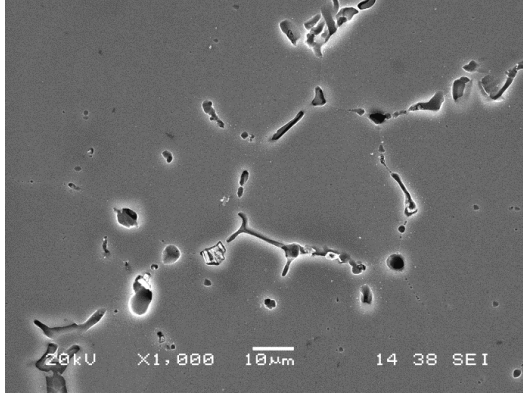


(d)

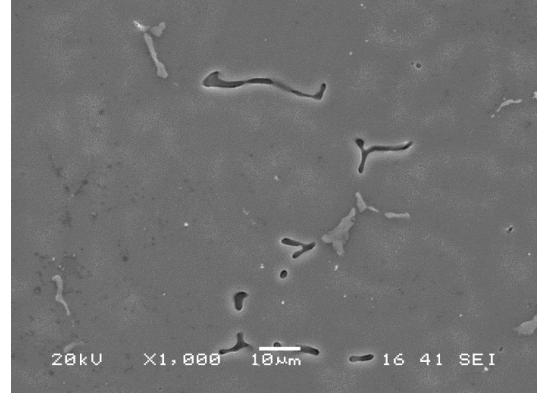
Şekil 7.10. AA7075 alaşımı numunelerin homojenleştirilmemiş ve 480°C’de homojenleştirilmiş haldeki taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000X büyütme): a)Homojenleştirilmemiş (alındığı halde), b) 480°C’de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, c) homojenleştirilmemiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4), d) homojenleştirilmiş, 530°C’de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış (T4).

Homojenleştirilmemiş

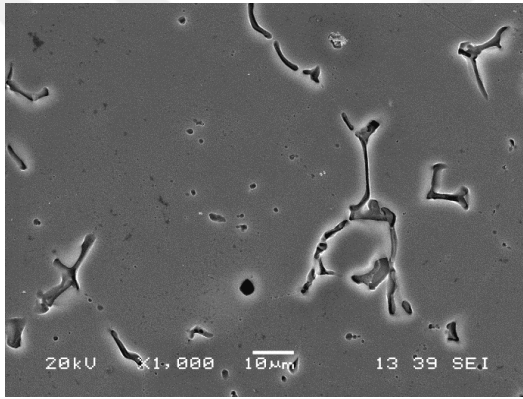
Homojenleştirilmiş



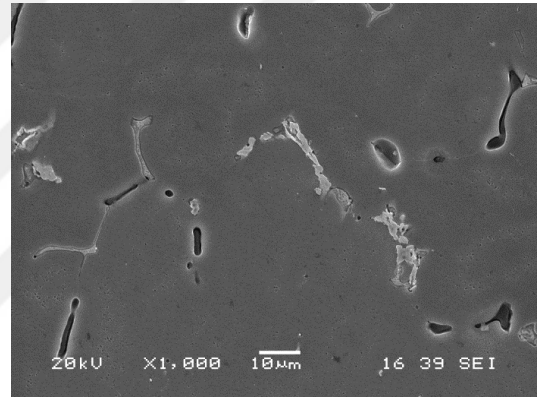
(a)



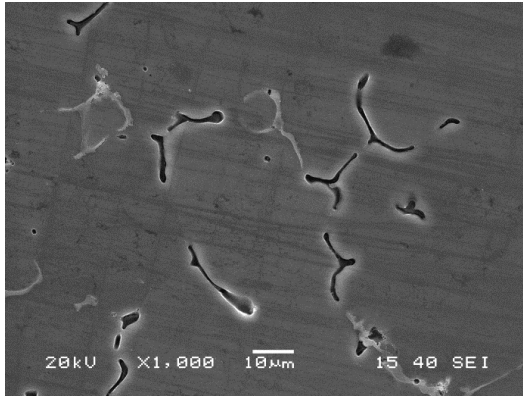
(b)



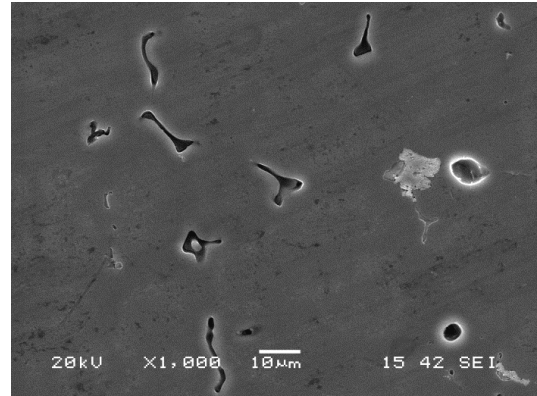
(c)



(d)



(e)

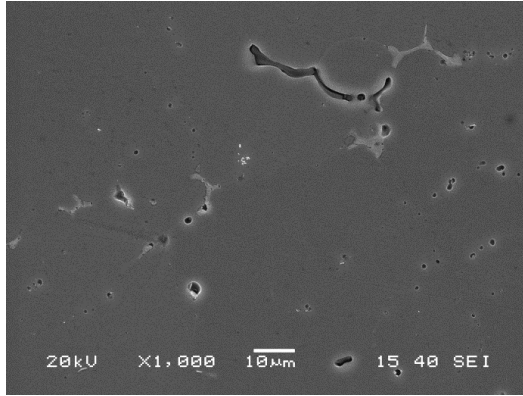


(f)

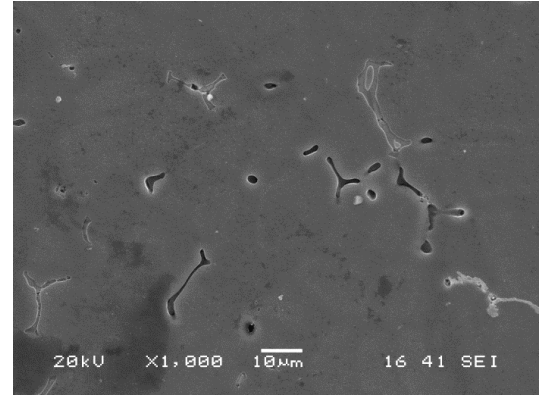
Şekil 7.11. 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 160°C'de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

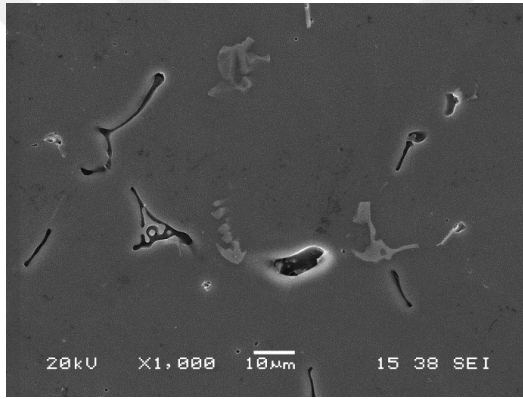
Homojenleştirilmiş



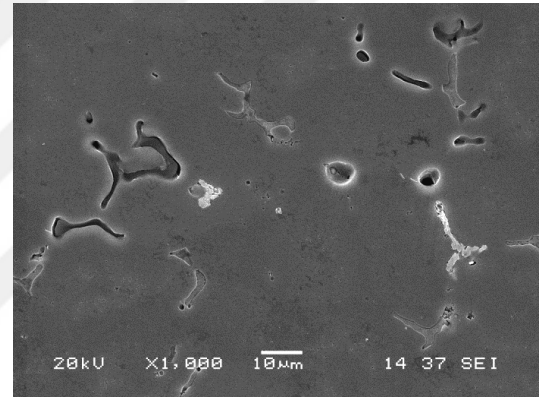
(a)



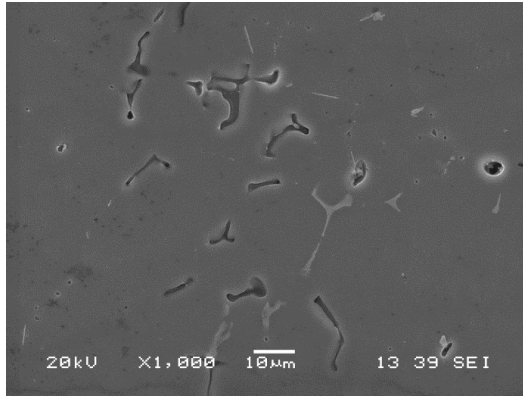
(b)



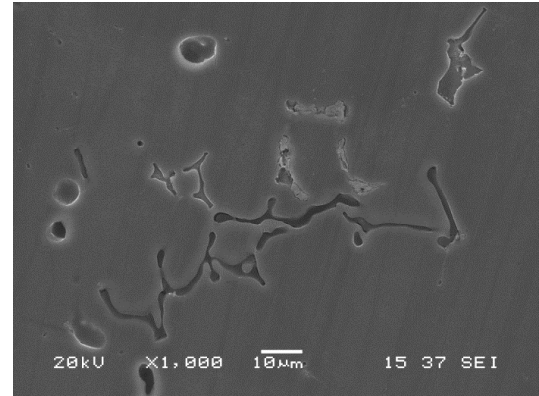
(c)



(d)



(e)

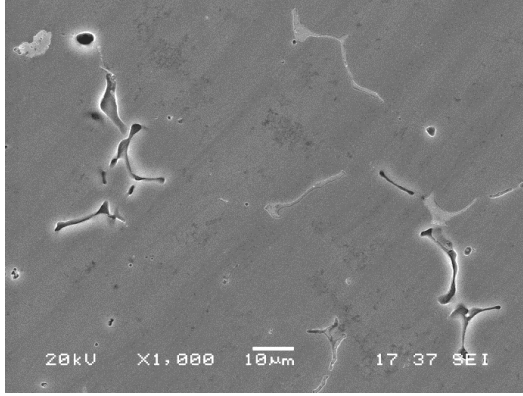


(f)

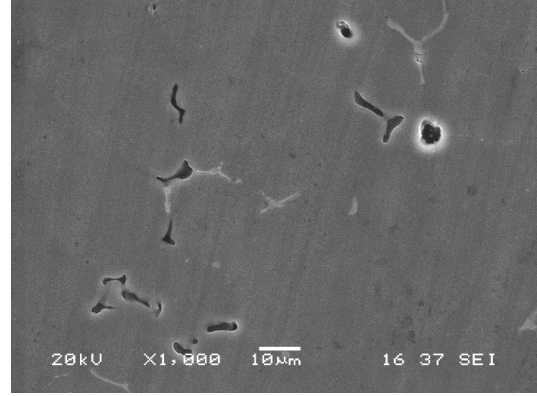
Şekil 7.12. 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 170°C'de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Homojenleştirilmemiş

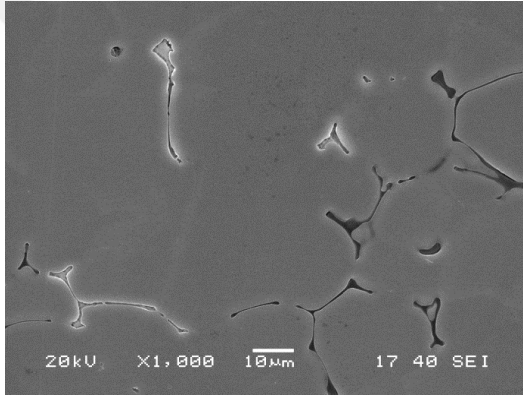
Homojenleştirilmiş



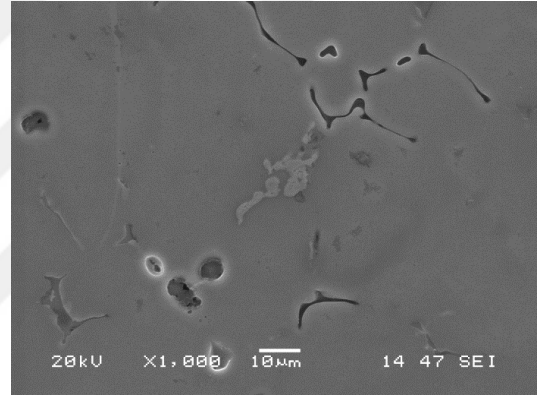
(a)



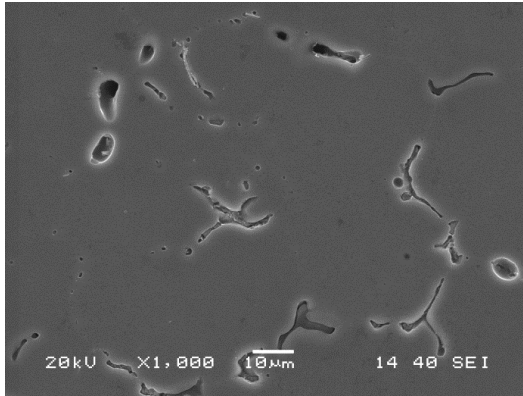
(b)



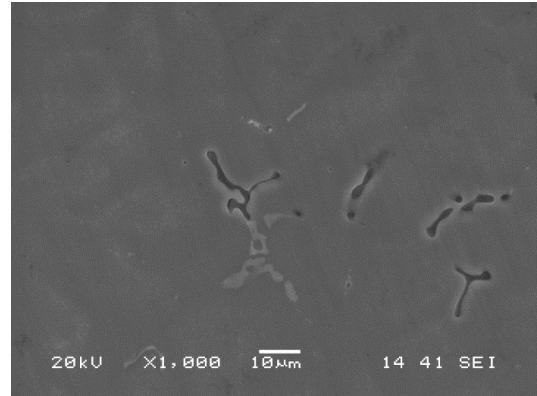
(c)



(d)



(e)



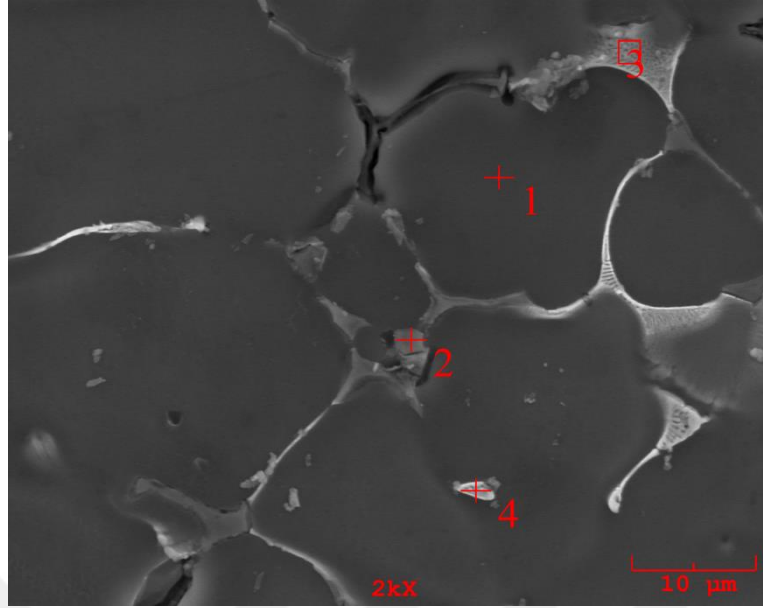
(f)

Şekil 7.13. 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınmış ve takiben 180°C'de farklı süreler yaşlandırılmış AA7075 alaşımı numunelerinin taramalı elektron mikroskobu görüntüleri (1000x büyütme): a) Homojenleştirilmemiş, 4 saat yaşlandırılmış, b) homojenleştirilmiş, 4 saat yaşlandırılmış, c) homojenleştirilmemiş, 6 saat yaşlandırılmış, d) homojenleştirilmiş, 6 saat yaşlandırılmış, e) homojenleştirilmemiş, 8 saat yaşlandırılmış, f) homojenleştirilmiş, 8 saat yaşlandırılmış.

Taramalı elektron mikroskobu resimlerinden anlaşıldığı gibi, homojenleştirme ve çözeltiye alma gibi yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen işlemler başlangıç yapısında var olan dendritik etkilerin çoğunu ortadan kaldırmıştır. Ayrıca yine başlangıç yapısında var olan fazların oranı da homojenleştirme ve çözeltiye alma işlemi gibi işlemlerden sonra, intermetalik fazların büyük kısmını çözündürmüştür. Yaşlanma sıcaklık ve sürelerinin mikroyapı üzerindeki fazların türü, çokluğu, yoğunluğu ve şekli üzerine bariz bir etkisi yoktur.

7.1.3. EDS analizleri

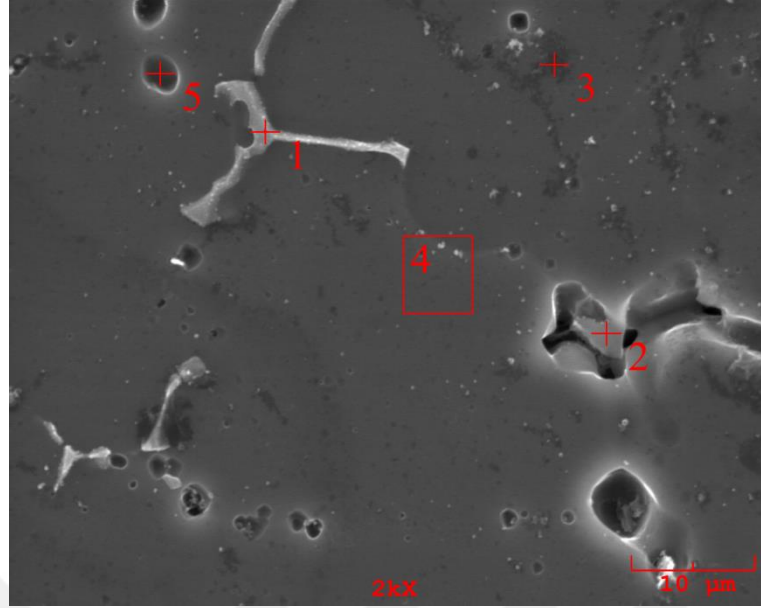
Taramalı elektron mikroskobu incelemelerinde numunelerin mikroyapılarında gözlemlenen faz ve partiküller enerji dağılımlı X-ışınları spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Mikroyapıda ana matris fazı (alüminyumca zengin katı çözelti fazı) ile çoğunlukla tane sınırlarına (dendrit sınırlarına) yerleşmiş intermetalik fazlar bulunmaktadır. Bunlar genellikle küçük boyutlu oldukları için, EDS analizleri sırasında bu fazların etraflarından da sinyaller alındığı için saf fazlara/partiküllere uyan doğru/stokiometrik kimyasal analizler elde etmek mümkün değildir. Bu bakımdan, fazlar isimlendirilirken çoğunlukla isim tanımlaması yapılamamıştır. Literatürden elde edilen bilgiler ışığında, AA7075 alaşımında en çok karşılaşılan intermetalik fazlar Al_7Cu_2Fe (çubuk şeklinde veya irregüler şekilli), Mg_2Si , Al-Si-Fe kompleks fazı ile Si çubuklarıdır. EDS analizleri Şekil 7.14.'den - Şekil 7.35.'e verilmiştir.



	Mg (%)	Al (%)	Si	Ti	Cr	Mn (%)	Fe (%)	Cu	Zn
1	1,63	94,487	0,019	0,066	0,262	0,330	0,26	0,799	2,146
2	3,421	86,990	0,178	0,170	0,183	0,060	0,267	2,745	5,986
3	2,674	90,377	0,048	0,245	0,261	0,123	0,398	1,147	4,727
4	1,807	93,581	0,000	0,121	0,259	0,158	0,307	0,831	2,936

Şekil 7.14. Homojenleştirilmemiş (alındığı halde) numuneden alınan EDS analizleri.

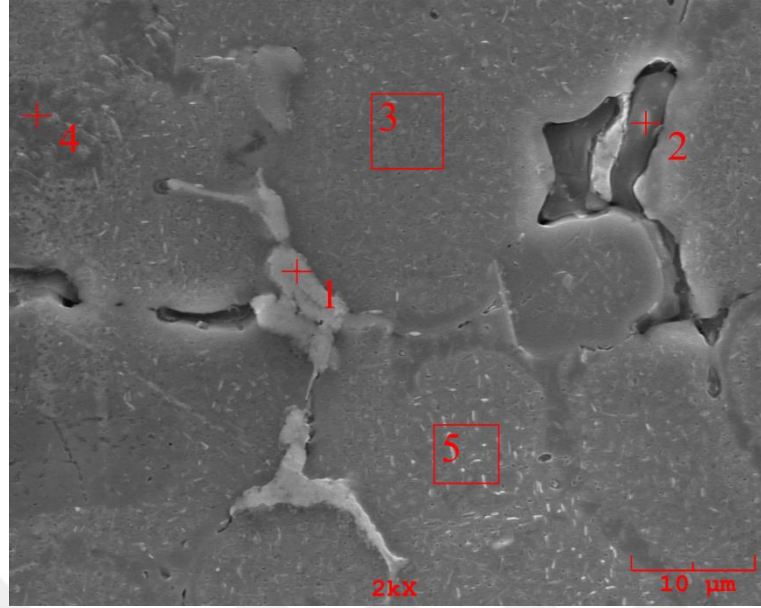
1 numaralı analiz alüminyumca zengin katı çözültiden alınmıştır. 2 ve 3 numaralı analizler aynı tür tane sınır fazından alınmıştır; bu faz Al'a ilave olarak Zn-Mg ve Cu'ca zengindir. 4 numaralı analiz noktası ise Zn ve Mg'ca zengindir. Bu partikül $MgZn_2$ (S) olabilir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	0.736	76.908	4.368	0.157	0.726	1.185	11.159	3.318	1.444
2	2.070	89.173	2.535	0.265	0.286	0.232	0.106	1.383	3.949
3	1.928	89.019	0.328	0.233	0.306	0.122	0.262	4.093	3.709
4	2.131	91.829	0.100	0.358	0.238	0.300	0.000	1.480	3.564
5	2.207	91.787	0.176	0.178	0.269	0.154	0.120	1.406	3.703

Şekil 7.15. Homojenleştirilmemiş, 530°C'de 90 dakika süreyle çözeltiye alınıp su verilmiş (T4) numuneden alınmış EDS analizleri.

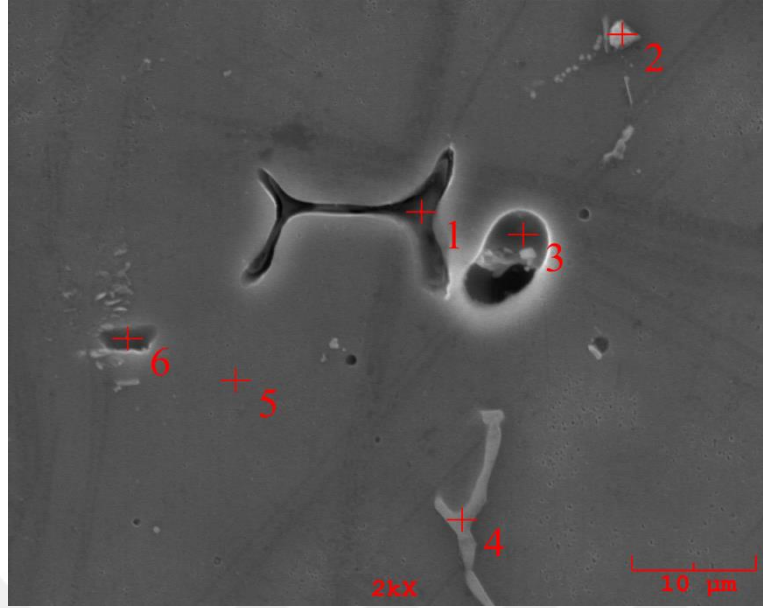
1 numaralı analiz Al, Fe, Si ve Cu'ca zengin bir fazdır. Bu tür çubuk şekilli fazların çubuksu Al_7Cu_2Fe fazı olduğu literatürde belirtilmiştir. 2 numaralı analiz tane sınırlarına yerleşmiş Mg-Si-Cu-Zn yoğun bir fazdan alınmıştır. 3 numaralı analiz Cu ve Zn bakımından zengin olup Mg da içermektedir. 4 numaralı analiz matris fazına aittir. 5 numaralı analiz noktasında Zn ve Mg bulunmaktadır, bu fazın $MgZn_2$ olması muhtemeldir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.726	76.048	0.036	0.070	0.123	0.462	5.297	13.826	2.410
2	0.941	68.755	26.488	0.105	0.042	0.000	0.098	1.574	1.997
3	1.865	91.788	0.140	0.106	0.375	0.303	0.658	1.072	3.693
4	2.343	91.364	0.214	0.058	0.321	0.000	0.160	1.378	4.162
5	2.250	92.500	0.052	0.236	0.181	0.160	0.243	1.242	3.136

Şekil 7.16. 480°C'de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş numuneden alınan EDS analizleri.

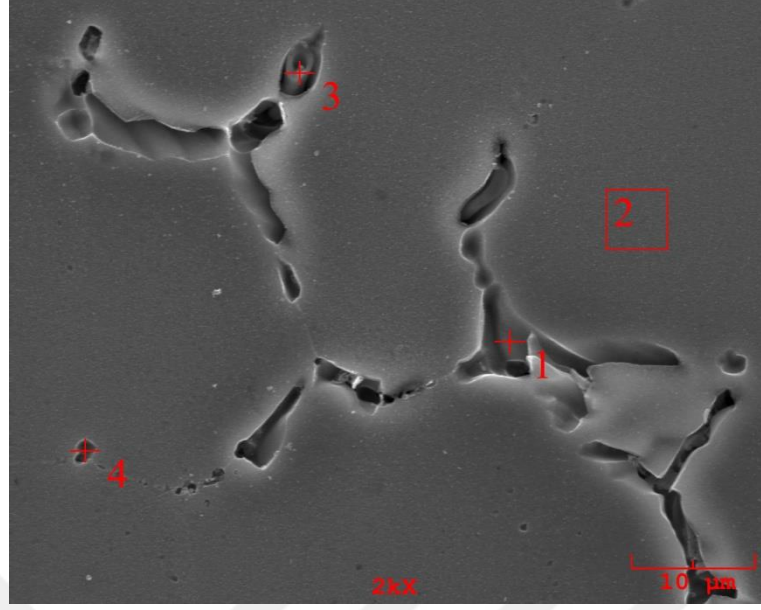
1 numaralı analiz bölgesinde Cu ve Fe yanında daha az miktarda Zn ve Mg bulunmaktadır. Bunun şekilsiz Al_7Cu_2Fe fazı olması muhtemeldir. 2 numaralı analiz Si çubuğuna aittir. 3 ve 5 numaralı analizler matris fazına aittir. 4 numaralı analiz ise Zn-Mg ve Cu açısından zengindir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.306	46.833	45.970	0.593	0.175	0.305	0.256	1.089	3.471
2	1.856	87.514	5.473	0.402	0.036	0.136	0.109	1.090	3.383
3	1.544	89.490	0.214	0.383	0.047	0.374	0.334	1.580	6.035
4	1.092	74.778	4.022	0.123	1.458	0.448	13.112	3.246	1.721
5	2.192	92.015	0.211	0.116	0.424	0.195	0.342	0.633	3.872
6	2.442	90.674	0.130	0.257	0.196	0.196	0.191	1.144	4.771

Şekil 7. 17. 480°C'de 5 saat süreyle homojenleştirilmiş, takiben 530°C'de 90 dakika çözeltiye alınıp su verilmiş numuneden alınan EDS analizleri

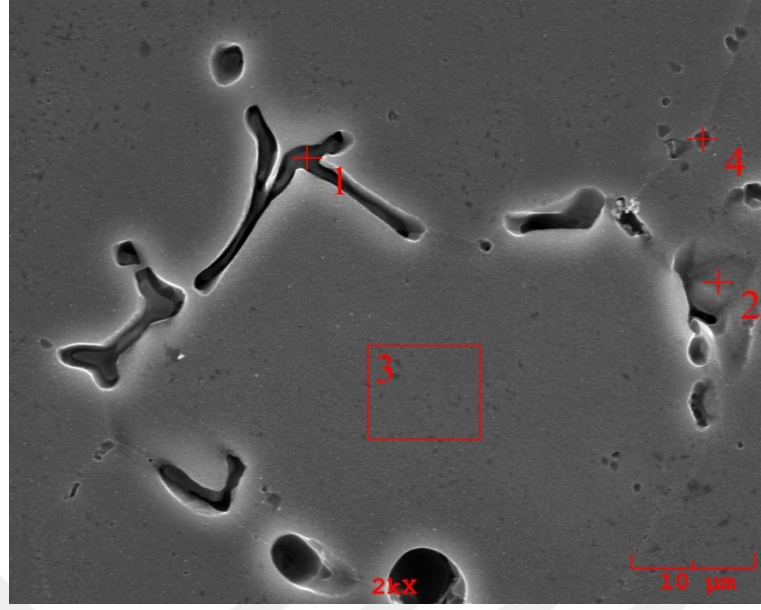
1 numaralı analiz Si bakımından zengin olup Si çubuğuna aittir. 2 numaralı analiz noktasında Si, Zn ve Mg; 3 numaralı analiz noktasında Zn bulunmaktadır. 4 numaralı nokta Fe'ce zengindir. 5 numarada Zn ve Mg bulunmaktadır, burası matris fazıdır. 6 numarada Zn ve Mg mevcuttur ($MgZn_2$ olabilir).



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	2.136	89.882	0.071	0.122	0.466	0.421	0.386	2.122	4.395
2	2.304	91.849	0.141	0.105	0.174	0.191	0.000	1.385	3.852
3	1.696	59.707	33.426	0.057	0.370	0.134	0.197	1.290	3.124
4	2.130	91.782	0.164	0.064	0.142	0.116	0.403	1.495	3.704

Şekil 7.18. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numunenin EDS analizleri

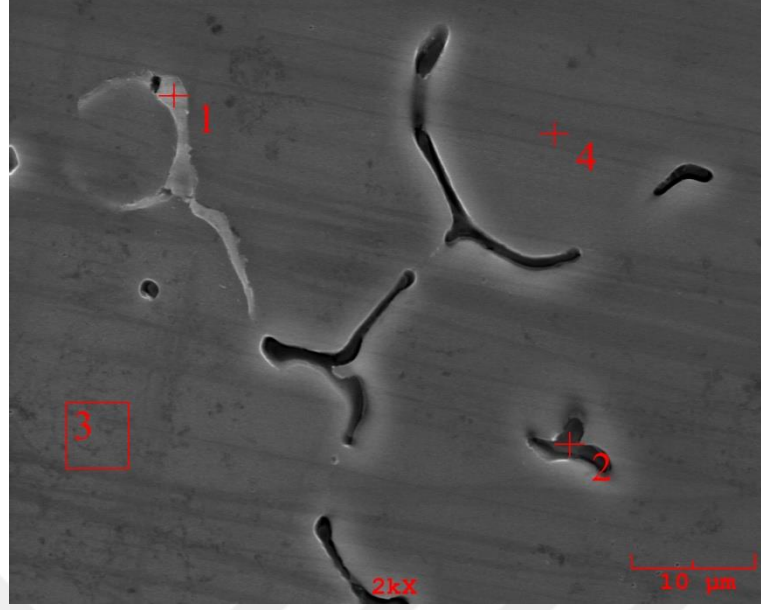
1 ve 3 numaralı analizler tane sınırlarından alınmıştır. Buralarda Zn, Cu ve Mg vardır. 3 numaralı noktada bir fazın bulunduğu görülmektedir ki, bu da Si çubuğudur. 2 numara matris fazıdır. 4 numaralı analiz bir partikülden alınmış olmakla beraber matris fazı ile benzer kimyasal bileşime sahiptir. Küçük partiküllerden analiz alınırken matris fazından da sinyal alınması normaldir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.152	61.250	33.057	0.000	0.422	0.213	0.554	1.106	2.247
2	2.386	91.662	0.068	0.051	0.406	0.086	0.000	2.258	3.084
3	2.240	93.100	0.032	0.036	0.133	0.091	0.186	1.280	2.903
4	4.238	89.645	0.557	0.140	0.251	0.073	0.210	1.530	3.356

Şekil 7.19. Homojenleştirilmemiş, çözeltiliye alınmış, 160°C’de 6 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

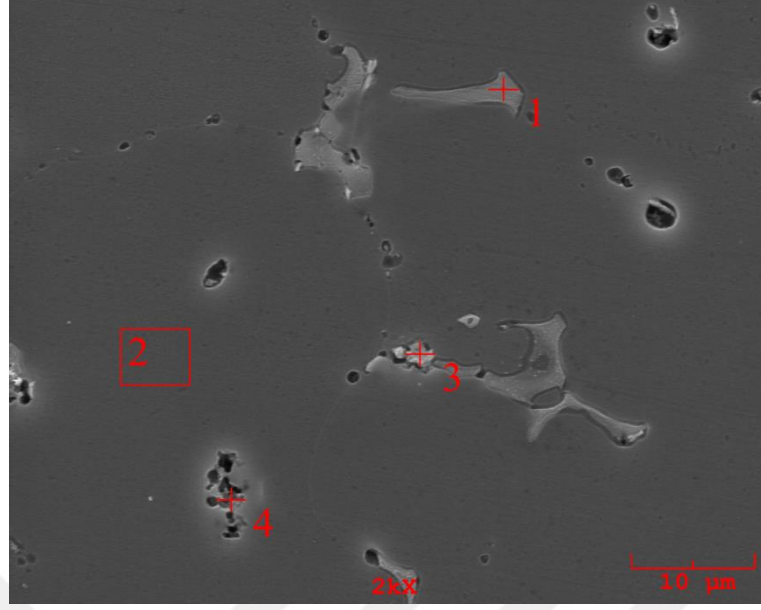
1 numaralı noktada Si; 2 numaralı noktada Zn-Cu-Mg elementleri yoğunudur (Al_2CuMg (η) olabilir). 3 numaralı analiz matris fazından (katı çözeltili) alınmıştır. 4 numaralı nokta Mg ve Zn bakımından zengindir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.096	74.919	2.892	0.000	1.311	1.262	13.186	3.563	1.772
2	1.942	74.602	18.589	0.033	0.335	0.231	0.096	1.130	3.042
3	2.882	91.572	0.259	0.213	0.436	0.117	0.335	0.596	3.590
4	2.004	91.093	0.106	0.068	0.250	0.288	0.096	1.655	4.440

Şekil 7.20. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 8 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

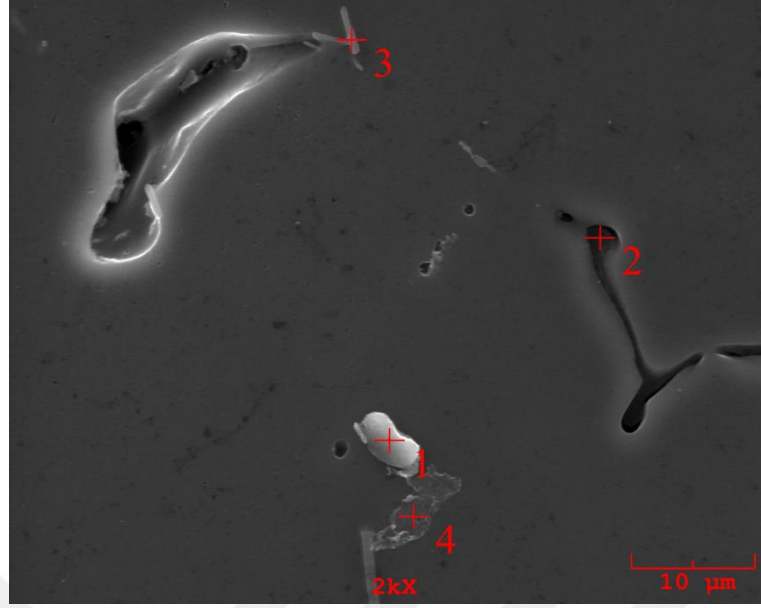
1 numaralı faz Al-Fe intermetalikidir. 2 numarada Si mevcuttur. 3 ve 4 numaralı analizler matris fazından alınmıştır.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	0.825	73.161	3.678	0.167	1.312	1.346	14.850	3.569	1.091
2	2.545	90.911	0.000	0.103	0.134	0.246	0.145	1.422	4.494
3	2.261	85.500	0.391	0.061	0.077	0.130	0.840	6.860	3.879
4	1.907	86.738	0.090	0.154	0.312	0.326	2.763	2.713	4.996

Şekil 7.21. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 170°C'de 4 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

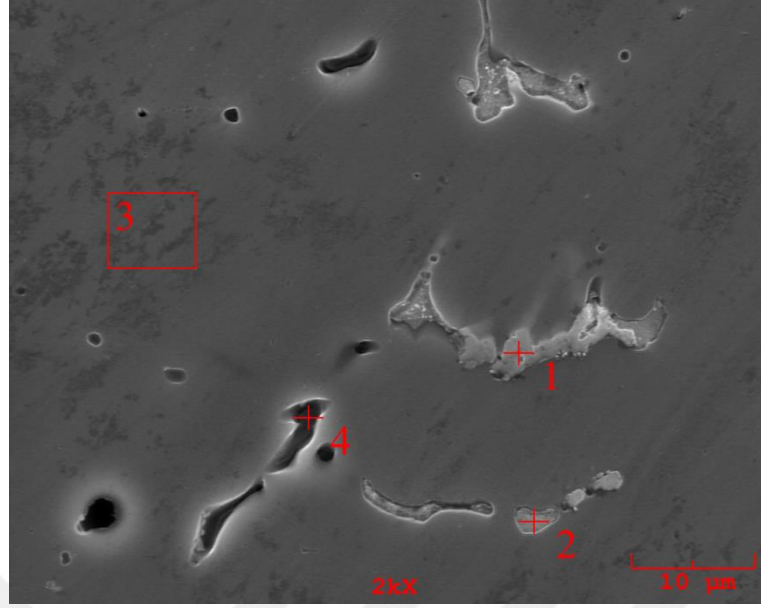
1 numaralı analiz çubuk şekilli Al_7Cu_2Fe fazından alınmıştır. 2 numaralı analiz matris fazına aittir. 3 numaralı analiz noktasında ise Cu ve Zn'ca zengin bir partikül vardır.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	2.190	91.056	0.085	0.083	0.127	0.215	0.022	1.427	4.795
2	1.838	63.519	31.075	0.148	0.303	0.144	0.375	0.400	2.198
3	5.088	82.171	1.252	0.160	0.051	0.499	1.459	6.069	3.251
4	2.619	92.233	0.092	0.169	0.057	0.352	0.261	0.916	3.300

Şekil 7.22. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 170°C'de 6 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

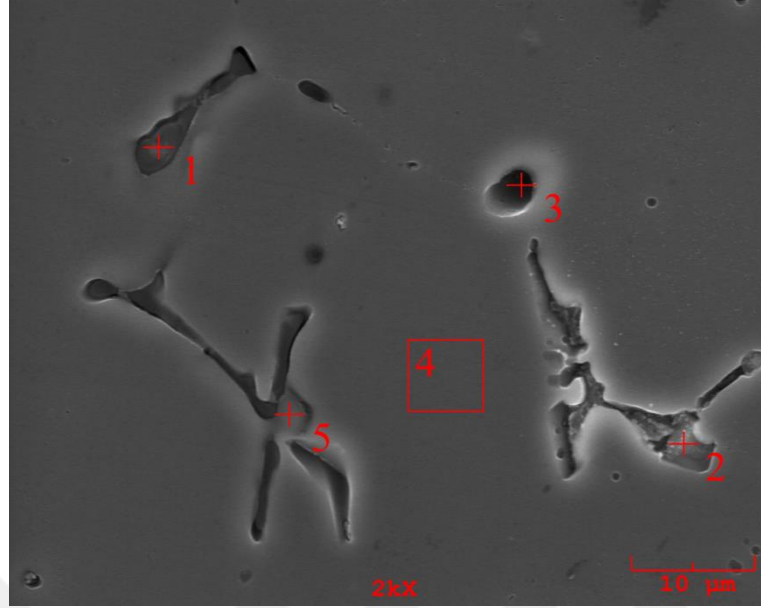
1 numaralı analiz Zn ve Mg elementlerince zengindir ($MgZn_2$). 2 numaralı analiz noktasında Si bulunmaktadır. 3 numaralı noktada Cu, Mg ve Zn yoğunken (Al_2CuMg olabilir) 4 numaralı analiz matris fazına aittir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	0.912	70.287	0.147	0.080	0.373	0.157	7.766	18.825	1.452
2	0.971	74.127	4.955	0.185	2.554	1.731	12.356	1.564	1.557
3	2.242	91.443	0.132	0.076	0.324	0.272	0.249	1.561	3.701
4	1.868	75.215	17.184	0.129	0.222	0.536	0.271	1.599	2.977

Şekil 7.23. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 180°C'de 4 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

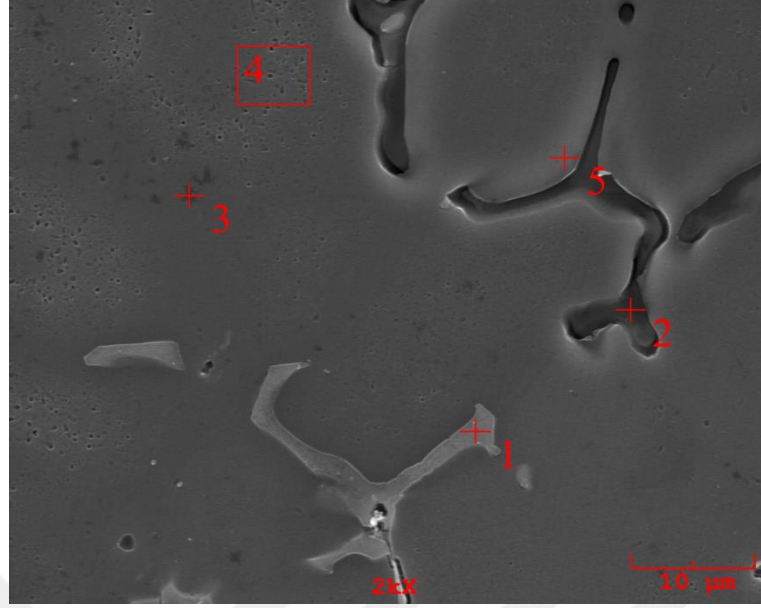
1 numaralı analiz noktası Al_7Cu_2Fe fazına aittir. 2 numaralı nokta Fe'ce zengin bir fazdır. 3 matris fazıdır. 4 numaralı noktada Si çubuğu bulunmaktadır.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.966	81.285	5.366	0.206	0.757	0.531	0.544	1.561	7.785
2	2.227	85.078	0.064	0.030	0.164	0.338	0.729	2.441	8.929
3	2.138	84.667	0.065	0.383	0.272	0.434	0.870	2.752	8.420
4	2.029	86.290	0.031	0.192	0.487	0.475	0.297	2.361	7.838
5	1.978	85.315	0.177	0.133	0.220	0.296	0.340	2.087	9.455

Şekil 7.24. Homojenleştirilmemiş, çözeltiye alınmış, 180°C’de 8 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

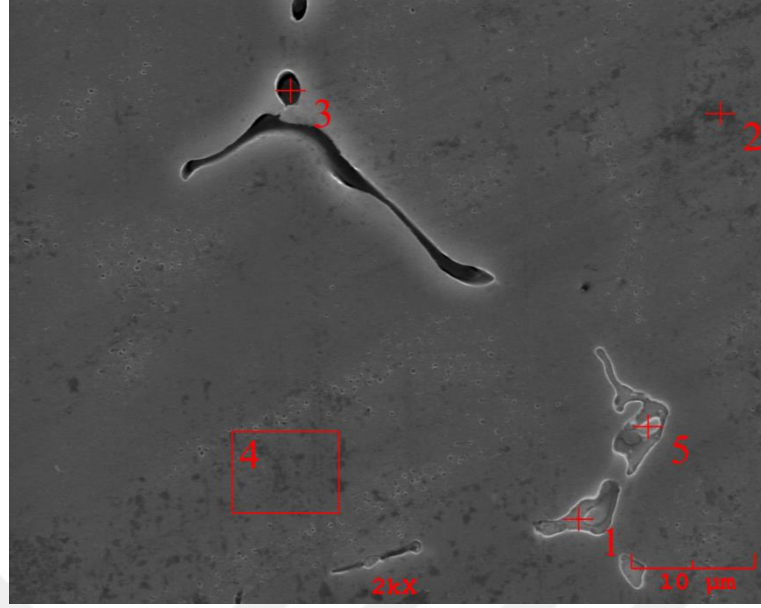
1 numaralı analiz noktasında Zn ve Si; 2, 3 ve 5 numaralı analiz noktalarında Zn, Cu ve Mg bulunmaktadır. 4 numara matris fazına aittir. Aslında matris fazı ile diğer analiz noktaların kimyasal bileşimleri birbirine benzemektedir. Bu da, küçük fazları SEM’de tanımlamanın ne kadar zor olduğunu göstermektedir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.302	72.154	5.611	0.204	1.830	1.189	15.117	1.923	0.672
2	1.900	71.361	22.290	0.000	0.463	0.097	0.215	0.419	3.255
3	2.518	92.683	0.000	0.044	0.102	0.000	0.196	2.029	2.428
4	2.397	91.818	0.228	0.172	0.366	0.295	0.205	1.283	3.235
5	2.176	83.391	8.605	0.415	0.167	0.258	0.252	1.398	3.337

Şekil 7.25. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

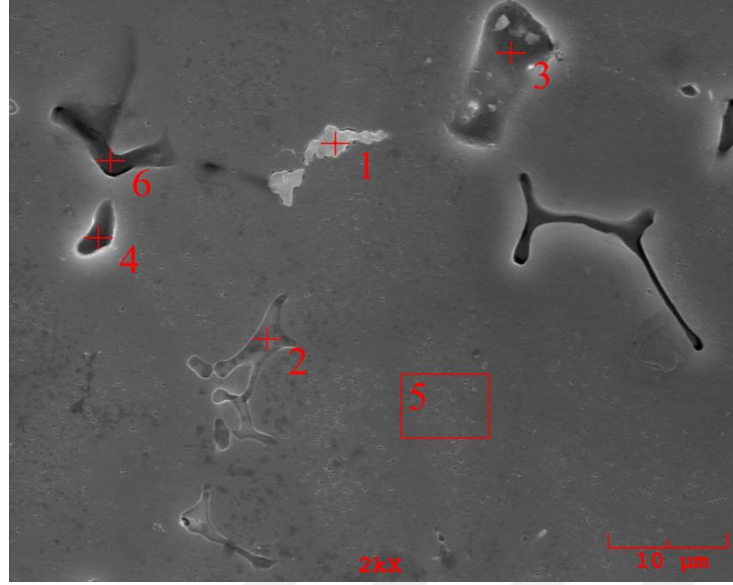
1 numaralı nokta Fe ve Si’ca zengindir. 2 numaralı noktada Si bulunmaktadır. 3 ve 4 numaralı noktalar matris fazıdır. 5 numara matris gibi gözükmele beraber tane sınırlarından Si sinyali de almaktadır.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.300	74.596	0.336	0.088	0.610	1.052	16.969	4.181	0.868
2	2.535	90.760	0.110	0.115	0.220	0.147	0.323	1.330	4.459
3	1.911	85.018	2.382	0.317	0.000	0.431	0.643	5.397	3.901
4	2.424	92.366	0.143	0.173	0.151	0.175	0.161	1.060	3.348
5	1.554	87.466	0.057	0.237	0.252	0.124	4.487	2.745	3.077

Şekil 7.26. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 160°C'de 8 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

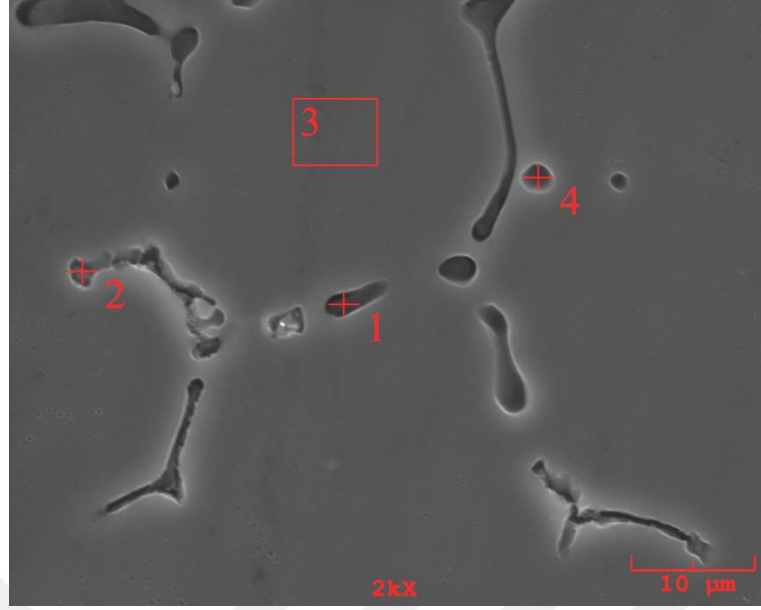
1 numaralı nokta Al-Cu-Fe intermetalik fazına aittir. 2 ve 4 numaralar matris fazıdır, 3 tane sınıridir, 5 numara Al-Fe-Zn-Cu kompleks intermetalik fazıdır.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.990	84.244	0.251	0.031	0.060	0.173	2.610	7.449	3.193
2	1.838	87.657	0.911	0.122	0.455	0.249	3.927	1.618	3.224
3	2.037	93.161	0.124	0.033	0.146	0.435	0.079	1.284	2.700
4	2.366	93.010	0.081	0.186	0.373	0.274	0.165	1.142	2.402
5	2.232	92.242	0.098	0.236	0.221	0.172	0.401	0.966	3.432
6	1.951	92.622	0.800	0.032	0.295	0.294	0.107	1.028	2.870

Şekil 7.27. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 170°C'de 4 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

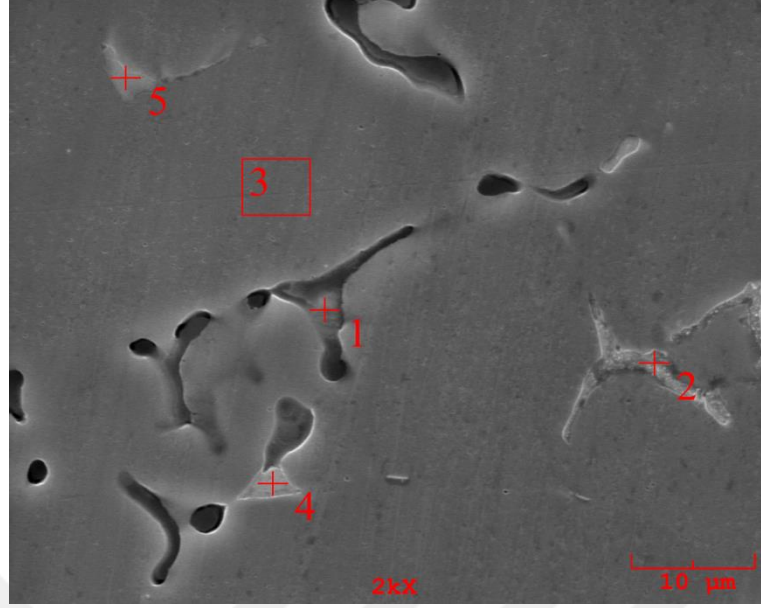
1 numaralı nokta Cu-Zn-Fe fazıdır. Diğer tüm noktaların analizleri birbirlerine benzemektedir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.387	69.317	20.014	0.319	0.430	0.484	0.454	1.219	6.377
2	1.926	88.247	0.066	0.113	0.565	0.092	0.687	2.600	5.704
3	1.926	87.172	0.024	0.232	0.484	0.188	0.325	1.526	8.124
4	1.836	86.083	0.059	0.073	0.280	0.414	0.477	1.400	9.378

Şekil 7.28. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 170°C’de 8 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

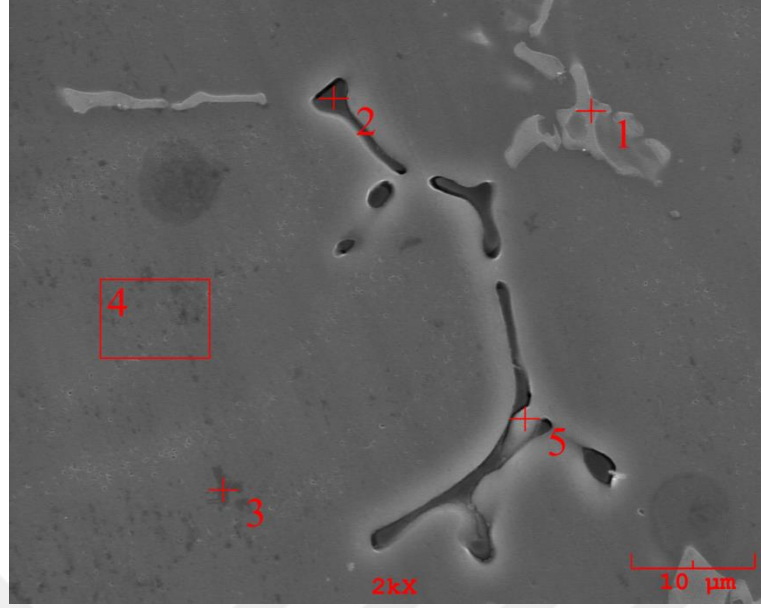
1 numaralı analiz tane sınırı olup Si’ca zengindir. Diğer tüm noktalarda Zn zengindir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	2.268	91.445	0.251	0.301	0.264	0.241	0.111	1.098	4.021
2	1.713	85.373	0.070	0.162	0.094	0.146	5.875	3.424	3.144
3	1.915	92.071	0.136	0.106	0.395	0.284	0.023	0.900	4.169
4	1.084	72.582	3.142	0.122	1.519	1.608	15.109	2.724	2.111
5	2.080	91.080	0.335	0.000	0.326	0.256	0.602	0.894	4.426

Şekil 7.29. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 180°C’de 4 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

4 numaralı analiz noktasında, hatta 2 numaralı noktada yoğun bir şekilde Fe bulunmaktadır. Diğer noktaların kimyasal bileşimleri benzerdir.



	Mg (%)	Al (%)	Si (%)	Ti (%)	Cr (%)	Mn (%)	Fe (%)	Cu (%)	Zn (%)
1	1.697	74.636	0.087	0.046	0.455	0.526	14.673	3.765	4.115
2	1.827	58.387	34.513	0.234	0.265	0.000	0.290	0.508	3.976
3	2.145	88.951	0.053	0.383	0.477	0.408	0.264	2.017	5.303
4	2.189	86.904	0.093	0.000	0.501	0.446	0.387	1.421	8.058
5	1.332	64.228	27.527	0.561	0.592	0.195	0.171	1.624	3.771

Şekil 7.30. Homojenleştirilmiş, çözeltiye alınmış, 180°C'de 8 saat yaşlandırılmış numuneden alınan EDS analizleri

1 numaralı analiz noktası Al-Fe-Zn ve Cu; 2 ve 5 numaralı noktalar Si'ce zengindir (tane sınırı). 3 ve 4 numaralar matris fazıdır.

Yukarıdaki EDS analizlerinden görüldüğü gibi, homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numunelerde yapılan EDS analiz sonuçları belirgin farklar göstermemektedir. Homojenleştirme işlemi tamamen farklı yeni fazların oluşumuna neden olmamış, sadece fazların stokiometrisinde değişikliklere yol açmıştır. Diğer taraftan yaşlanma sıcaklığı ve süresi de fazların türünü değiştirmemiştir.

SEM - EDS analizleri açısından bakıldığında, EDS çok küçük fazların kimyasal analizi noktasında çok hassas değildir. Küçük faz kimyasal analizleri sırasında detektöre matris fazından da sinyaller karışmaktadır.

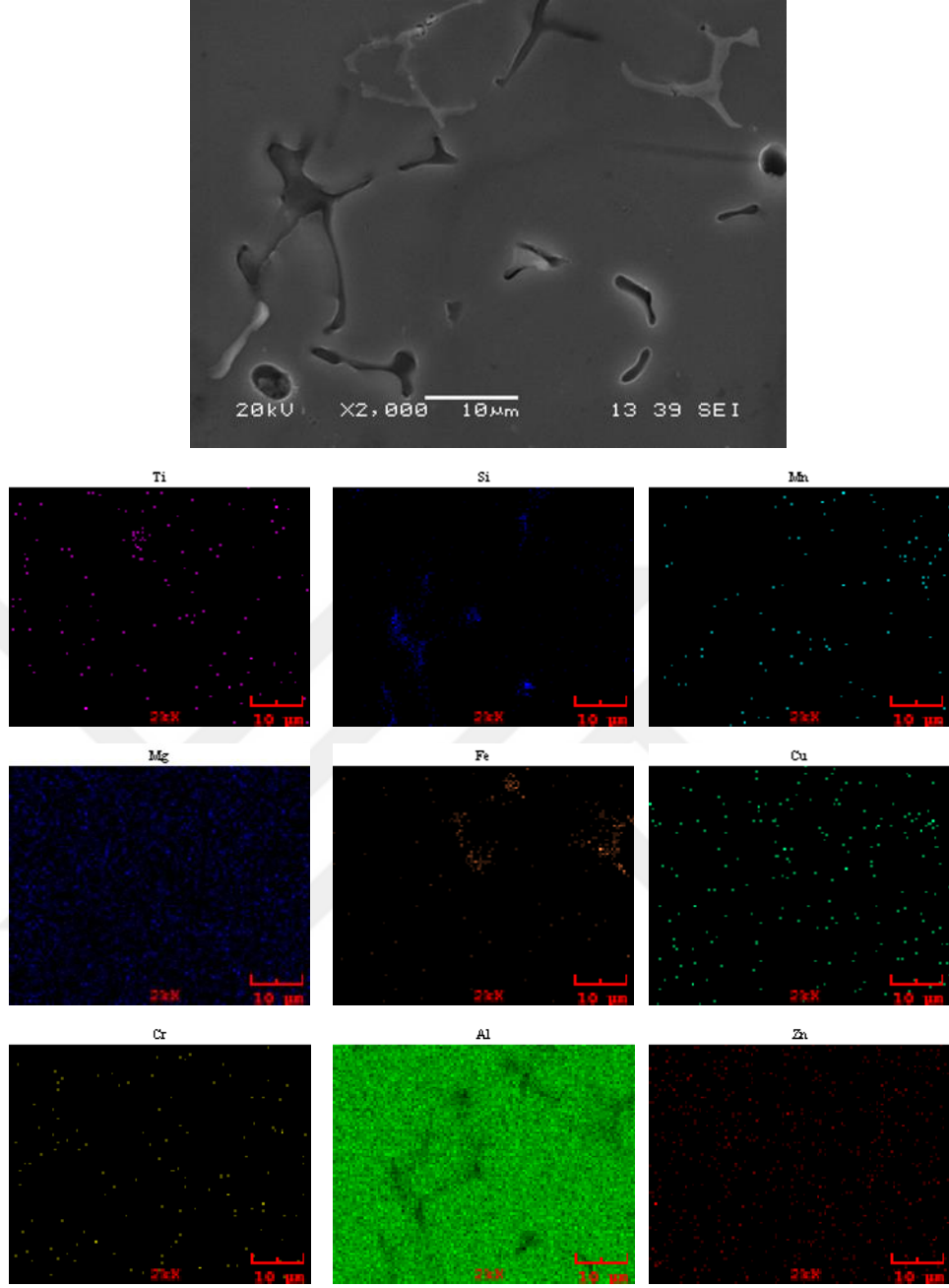
Fe içeriği yüksek olan fazlar ($\text{Al}_7\text{Cu}_2\text{Fe}$) genel olarak çubuk şeklinde veya şekilsiz (irregüler) haldedir. Çinko birçok intermetalik fazın yapısına girmektedir. Çinko ayrıca yüksek içeriklerde olmak üzere yuvarlak damlacık şeklinde de yapıda yer almaktadır. Tane (dendrit) sınırlarında Si yüksek oranda bulunmaktadır. Bu kısımlar numunelerin dağlanması sırasında hızlı bir şekilde çözünmüş olup aralara sıkışmış silisyumlar bariz bir şekilde detekte edilmiştir.

Bütün analizlerde alüminyum bulunmaktadır. Bunun anlamı şudur: Alüminyum matris fazıdır, ancak neredeyse tüm intermetalik fazların yapısında da önemli oranda yer almaktadır.

Matris fazı analizlerinin hepsinin aynı olmadığı görülmektedir. Bu durum, yapının homojenitesi ile alakalı olduğu kadar EDS'nin hassasiyeti ile de ilgilidir.

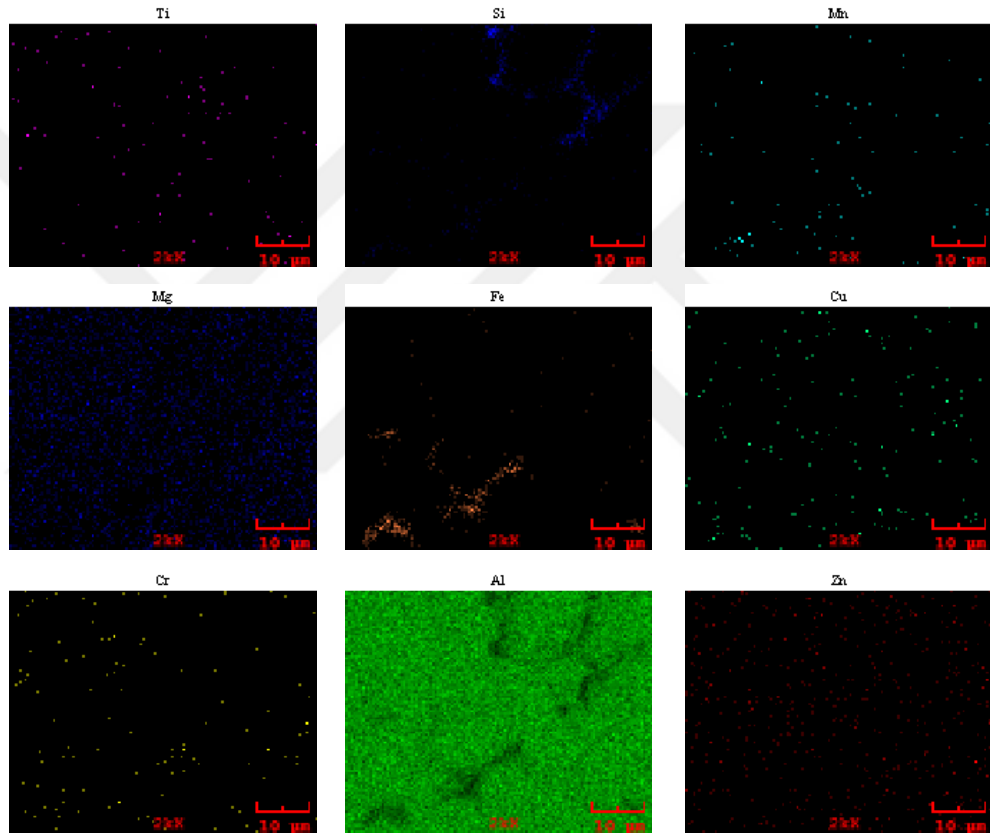
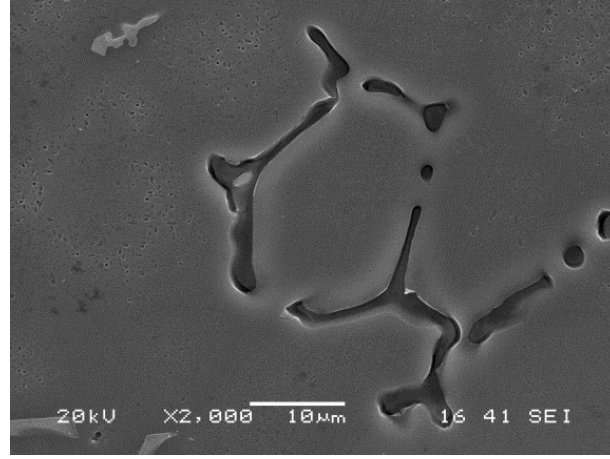
7.1.4. Elementel haritalama

Homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş iki numunede elementel dağılımın nasıl olduğu, elementlerin nerelerde yoğunlaştığı gibi bilgilere erişmek için elementel dağılım haritası alınmıştır. İki numunenin elementel dağılım haritaları Şekil 7.36. ve Şekil 7.37.'de verilmiştir.



Element	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
Çizgi	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka
Konsantrasyon(%)	2.730	84.388	0.670	0.080	0.193	0.114	0.636	2.570	8.618

Şekil 7.31. Homojenleştirme işlemine tabi tutulmamış ve 170°C’de 8 saat yaşlandırılmış numunenin x-ışınları elementel dağılım haritaları



Element	Mg	Al	Si	Ti	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
Çizgi	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka	Ka
Konsantrasyon(%)	2.442	90.133	1.027	0.056	0.174	0.106	0.704	1.388	3.969

Şekil 7.32. Homojenleştirme işlemine tabi tutulmuş ve 160°C’de 4 saat yaşlandırılmış numunenin x-ışınları elementel dağılım haritaları

Ti, Si, Mn, Fe ve hatta Cu’in daha ziyade tane sınırlarında toplandığı, buna karşılık Mg ve Zn matriste dağıldığı ancak tane sınırlarında da bulunduğu görülmektedir.

Resimlerden, tane sınırlarında, üst kısımlarda Fe ve alt kısımlarda ise Si yoğunlaştığı dikkati çekmektedir.

7.2. Sertlik Ölçümleri

Homojenleştirme işlemi yapılmış ve yapılmamış iki malzeme belli sürelerde ve sıcaklıklarda yaşlandırma işlemi uygulanarak, 3 noktadan sertlik ölçümleri alınmıştır. Bu üç noktadan alınan ölçümlerin ortalaması alınarak sertlik değerleri bulunmuştur. Bu işlemler sonunda alınan veriler tablo haline getirilerek Tablo 7.1.'de gösterilmiştir.

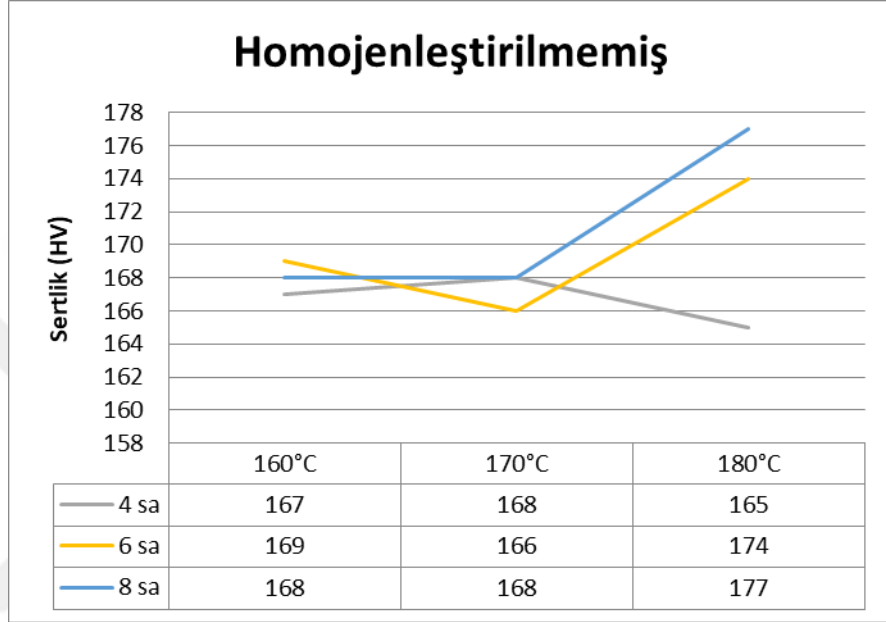
Tablo 7.1. Sertlik Takip Tablosu

Numune numarası	Homojenleştirme (480°C-5saat)	T4 Çözeltiliye Alma (530°C-90dk)	Yaşlandırma Sıcaklığı (°C)	Yaşlandırma Süresi (saat)	Sertlik Değeri (HV)
1	-	-	-	-	132
2	+	-		-	115
36	-	+		-	132
3	+	+		-	129
39	-	+	160	4	167
44	-	+		6	169
28	-	+		8	168
23	+	+		4	184
13	+	+		6	178
20	+	+		8	173
29	-	+	170	4	168
31	-	+		6	166
35	-	+		8	168
14	+	+		4	173
24	+	+		6	177
18	+	+		8	171
41	-	+	180	4	165
27	-	+		6	174
30	-	+		8	177
11	+	+		4	162
16	+	+		6	177
22	+	+		8	159

Tablo 7.1.'den alınan veriler yardımı ile çizilen sertlik diyagramları Şekil 7.33.'den – Şekil 7.36.'e gösterilmiştir.

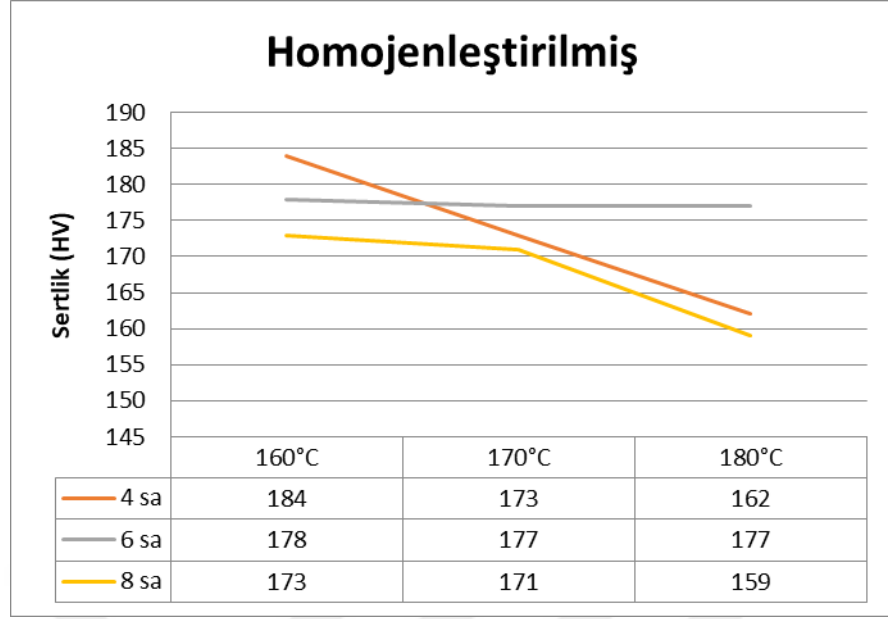
Şekil 7.33.'deki grafikte homojenleştirilmemiş numunenin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri verilmiş ve farklı sıcaklıklardaki değerler karşılaştırılmıştır. Bu grafikten, 4 saat işlem yapılan numunelerin sertliğinin, yaşlandırma sıcaklık

değeri yükseldiğinde önce arttığı sonra hafifçe azaldığı görülmektedir. Esasen sertlik yaşlandırma sıcaklığından fazla etkilenmemiş gibidir. 6 saat işlem yapılan numuneleri incelediğimizde ise sertlik değerinde önce az miktarda düşüş olduğunu daha sonra yükseldiği görülmektedir. 8 saat işlem yapılan numunelerde ise sıcaklıkla orantılı olarak sertliğin arttığı görülmektedir.



Şekil 7.33. Homojenleştirilmemiş malzemenin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması

Bunlardan Şekil 7.34.'deki diyagramda homojenleştirilmiş numunelerin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri verilmiş ve farklı yaşlandırma sıcaklıklardaki değerler karşılaştırılmıştır. Bu diyagramdan, 4 saat süre ile yaşlandırılan numunelerin sertlik değerlerinin yaşlandırma sıcaklığı arttıkça azaldığı görülmektedir. Yani yaşlandırma sıcaklığı ne kadar yüksek olursa sertlik değeri o kadar düşmektedir. 6 saat işlem yapılan numuneleri incelendiğinde ise sertlik değerinde çok fazla bir değişiklik olmadığını gözlemlenmektedir. 8 saat işlem yapılan numunelerde ise yine sıcaklıkla ters orantılı olarak sertliğin azaldığı görülmektedir. Genel bakış olarak homojenleştirilmiş numunelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonucunda süreye bağlı olarak incelendiğinde sertlik değerlerinin doğru orantılı olarak azaldığı görülmektedir.

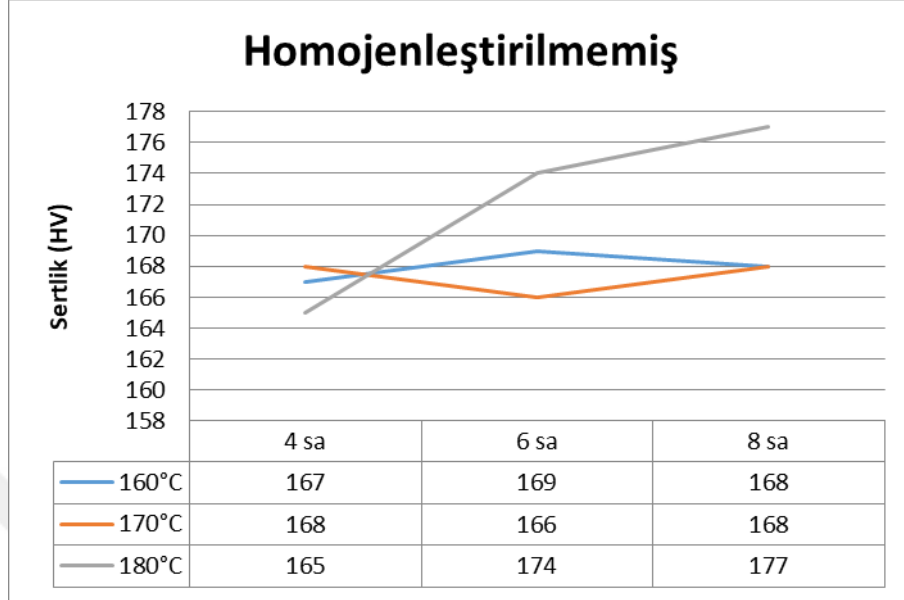


Şekil 7.34. Homojenleştirilmiş malzemenin yaşlandırma sürelerine bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması

Homojenleştirilmemiş numunenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri verilmiş ve farklı sürelerdeki değerler karşılaştırılmıştır. Bu grafik incelendiğinde; 160°C işlem yapılan numune incelendiğinde; süre yükseldiğinde sertliğin az miktarda arttığı görülmektedir. Yani yaşlandırma için verilen süre ne kadar yüksekse sertlik değeri o kadar yükselmektedir. 170°C işlem yapılan numuneleri incelediğimizde ise sertlik değerinde çok az bir azalma olduktan sonra tekrar yükseldiği gözlemlenmiştir, toplamda fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir. 180°C işlem yapılan numunelerde ise yine süre arttığında zamanla sertliğin arttığı görülmektedir.

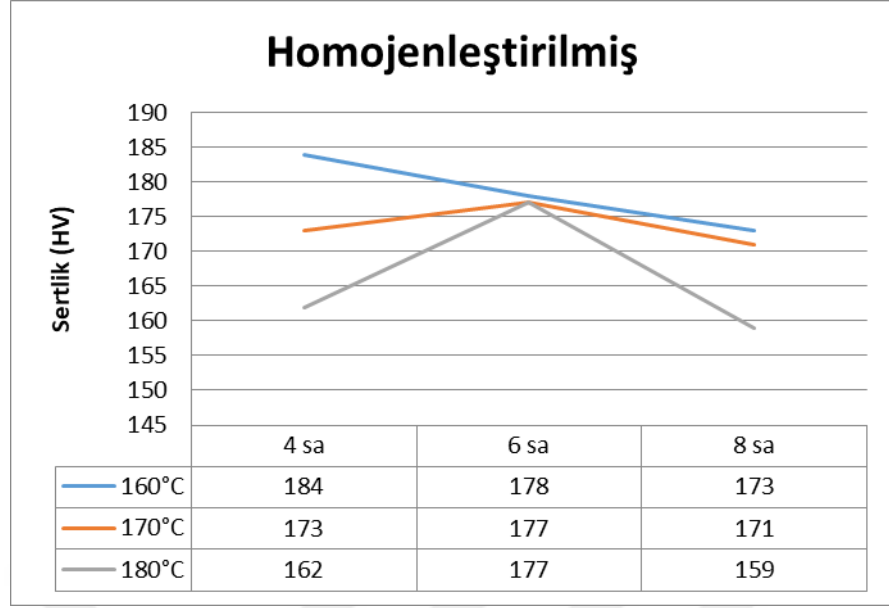
Alüminyum alaşımlarında ana sertleştirici bileşenler GP zonları ve Θ' fazıdır. Çökelmiş partiküllerin dislokasyonların hareketlerine engel olmalarıyla sertlik oranı yükselmektedir. Çökelti partiküllerinin sertliği çoğunlukla matristen bile settir ve bu sayede deformasyon oluşması sırasında dislokasyonların hareketini engeller. Bu durumda ise çökelti arasında dislokasyon bölgesi çökelti partiküllerinin oluşturduğu alanı aşmak için uygulanmış olan gerilime göre hareketlenir ve partiküllerin etrafını sarar [33]. Genel bakış olarak homojenleştirilmemiş

numunelerde yapılan yaşlandırma işlemi sonucunda sıcaklığa bağlı olarak incelendiğinde sertlik değerlerinin genelde arttığı görülmektedir.



Şekil 7.35. Homojenleştirilmemiş malzemenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması

Şekil 7.36.'da homojenleştirilmiş numunenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri verilmiş ve farklı sürelerdeki değerler karşılaştırılmıştır. Bu grafik incelendiğinde; 160°C işlem yapılan numunelerde yaşlandırma süresi uzadıkça sertliğin azaldığı görülmektedir. Yani yaşlandırma için verilen süre ne kadar uzunsa sertlik değeri o kadar düşmektedir. 170°C işlem yapılan numuneleri incelediğimizde ise sertlik değerinde çok az bir yükselme olduktan sonra tekrar azaldığı gözlemlenmiştir, yani bariz bir değişiklik olmamıştır.



Şekil 7.36. Homojenleştirilmiş malzemenin yaşlandırma sıcaklıklarına bağlı olarak sertlikleri karşılaştırması

7.3. Tartışma

AA7075 alaşımının yapısında Al_7Cu_2Fe , Mg_2Si , η/S ((S- Al_2CuMg ve η - $MgZn_2$)) intermetalik fazları bulunmaktadır. H. She ve arkadaşları [34] yaptıkları araştırmada, sıcak ekstrüzyon ile üretilmiş AA7055 alaşımında Fe ve Si içeriğinin ağı. %0,03'lerden yaklaşık ağı. %0,2'lere artışının kaba intermetaliklere etkilerini EBSD (Electron Backscatter Diffraction Analysis / Elektron Geri Saçılım Kırınımı Analizi) ile araştırmışlardır. Buna göre, Al_7Cu_2Fe ve Mg_2Si intermetaliklerinin yoğunluğunda Fe ve Si içeriğindeki artışla artış olduğu, η/S kaba intermetalığının azaldığını ve Al_7Cu_2Fe intermetalığının ise çubuksu formdan irregüler forma dönüştüğünü gözlemlemişlerdir. Çalışmada dört tür kaba intermetalik bulunduğunu tespit etmişlerdir: η/S ((S- Al_2CuMg ve η - $MgZn_2$)), çubuk şekilli Al_7Cu_2Fe , irregüler Al_7Cu_2Fe ve Mg_2Si . Aliyah ve Anawati [35] AA7075 alaşımının sertlik ve mikroyapısına T651 ısıtılmasının etkilerini araştırmışlardır. 300 ila 600°C arasında uyguladıkları ısıtılma işlemleri sonrasında XRD ile mikroyapıda $MgZn_2$, Al_7Cu_2Fe ve Al_2CuMg partiküllerinin bulunduğunu ortaya koymuşlardır.

Sunulan tez çalışmasında kullanılan homojenleştirilmemiş haldeki alaşımın sertlik değeri 132 HV, homojenleştirilmiş haldeki sertlik değeri ise 115 HV olarak ölçülmüştür. Homojenleştirme ile dendritik yapı önemli ölçüde ıslah edildiği için sertlik değerindeki azalma normaldir. Yaşlanma ile elde edilen sertlik değerleri 160-180 HV arasında ölçülmüş olup bu değerler hem döküm hali hem de homojenleştirilmiş hale nazaran oldukça yüksektir. Bu değerler aynı zamanda literatürde bu alaşımın T6 işlemi görmüş hali için verilen sertlik değerleri ile de uyumludur. Önemli bir nokta homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş alaşımların yaşlanma (T6) işlemi sonrasındaki sertliklerinin çok farklı olmamasıdır.

Bu çalışmada elde edilen sertlik değerleri literatürde kayıtlı birçok çalışmada verilen değerlerle uyumludur. Bazı çalışmalarda ise daha düşük sertlik değerleri elde edildiği bilinmektedir. Örneğin Aliyah ve Anawati [35] AA7075 alaşımına uyguladıkları T651 ısıtılma işlemi sonucunda ortalama sertlik değeri 136 HV sertlik değeri elde

etmişlerdir. Ancak düşük sıcaklıklarda uygulanan ısıt işlemler sonucunda daha düşük sertlikler elde edilirken yükselen ısıt işlem sıcaklıkları ile sertlik artmıştır. $MgZn_2$ ve Fe'ce zengin fazların çözünmesi sertliğin azalmasının temel nedeni olarak gösterilmiştir. Özer ve Karaaslan [36] AA7075 alaşımına retrogresyon işlemini $180^{\circ}C$ - $320^{\circ}C$ aralığında 120 dakikaya kadar uygulamış takiben $120^{\circ}C$ 'de 24 saat süreyle yaşlandırmışlardır. En yüksek sertlik değeri $180^{\circ}C$ 'lik retrogresyon sıcaklığı ve kısa işlem sürelerinde elde etmişlerdir (180 HV). Tane büyümesinin engellenmesi sonucunda daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmak mümkündür Zuo ve ark [37] , Khalil ve ark [32] 7075 alaşımını referans alarak bu alaşıma çeşitli elementel katkıların etkilerini inceledikleri çalışmalarında katkısız 7075 alaşımının homojenleştirilmemiş haldeki sertliğinin 130 HV mertebesinde olduğunu, homojenleştirme ile 100 HV mertebesine düştüğünü ortaya koymuşlardır. Bu sertlik sonuçları da sunulan bu çalışmadaki sertlik değerleri ile benzerdir. Khalil ve arkadaşlarının [32] çalışmasında homojenizasyon işlemi $460^{\circ}C$ 'de 3 saat süreyle uygulanmıştır. Homojenizasyon işlemi sonrasında standart alaşımın uzama değeri önemli ölçüde artmıştır. Buna karşılık mekanik özelliklerinde bariz azalma olmuştur. Yine Khalil ve arkadaşlarının [32] çalışmasında, SEM ile yapılan elementel haritalamada Zn, Mg ve Cu gibi elementler tane sınırları veya dendritler arası bölgelerde konsantre olduğu görülmektedir. Bu bulgu da sunulan tez çalışmasındaki bulgularla tamamen uyumludur.

Aydın ve Tunçel [38], AA7075 alüminyum alaşımının yaşlanma davranışına çözeltili alma sıcaklığının etkilerini incelemişlerdir. Yazarlar alaşıma 2,5 saat süreyle $440^{\circ}C$ 'den $560^{\circ}C$ 'ye kadar değişen farklı sıcaklıklarda çözeltili alma işlemi uygulamışlar ve bu alaşımları $180^{\circ}C$ 'de 1 saat -12 saat yaşlandırmışlardır. $500^{\circ}C$ 'de çözeltili alınan ve $180^{\circ}C$ 'de 1 saat yaşlandırılan numunenin en yüksek sertlik değerlerini (177,6 HV) verdiği ortaya konulmuştur. $500^{\circ}C$ 'de uygulanan çözeltili alma işlemi aşırı doymuş tane büyüklüğü ve çökelti partiküllerinin çözünmesi açısından optimum sonucu verdiği ve sertliğin yüksek olduğu değerlendirilmiştir. Daha yüksek çözeltili alma sıcaklıklarında ise tane büyümesi ortaya çıkmakta ve görece sertlik azalması olmaktadır. Sunulan tez çalışmasında çözeltili alma sıcaklığı $530^{\circ}C$ olup 90 dakika süreyle uygulanmıştır. Yaşlandırma işlemleri ise $160^{\circ}C$ - 170

$^{\circ}\text{C}$ ve 180°C 'lerde 4 saat – 6 saat ve 8 saat süreyle gerçekleştirilmiştir. En yüksek sertlik değeri 160°C 'de 4 saat süreyle yaşlandırılan alaşımda elde edilmiştir (184 HV). Diğer yaşlandırma sıcaklık ve sürelerinde elde edilen sertlik değerleri hemen hemen 160 HV ve üzerindedir. Değerler 170 HV -175 HV aralığında yoğunlaşmıştır. Bu sonuç ta literatürle uyumludur. Çalışmada kullanılan yaşlandırma koşullarında en düşük sertlik değeri 150 HV olarak 180°C ve 8 saat yaşlanma koşulunda elde edilmiş olup 159 HV'dir.



7.4. Genel Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada yüksek mukavemetli AA7075 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine homojenleştirme işleminin etkileri araştırılmıştır. Mekanik özellik değerlendirmesi sertlik ölçümleri bazında yapılmıştır. Bu amaca yönelik olarak, bir grup numune homojenleştirilmeden (dökülmüş halde) bir grubu ise homojenleştirilmiş olarak T6 ısıtılmasına tabi tutulmuş ve mikroyapıları incelenmiş ve sertlik değerleri ölçülmüştür. Çalışmada elde edilen sonuçlar şunlardır:

- a) Döküm yapısı (homojenleştirilmemiş yapı) dendritik karakterlidir. Homojenleştirme işlemi sonucunda dendritik yapı hemen tamamen ortadan kalkmış, daha üniform bir yapı elde edilmiştir. Dendritler arasındaki intermetalik fazların önemli bir kısmı homojenleştirme işlemi esnasında çözülmüş ve α katı çözeltilisine geçmiştir. Homojenleştirme işlemi sonucunda sertlik değerinde de dikkati değer bir azalma meydana gelmiştir ve sertlik 136 HV'den 115 HV değerine düşmüştür.
- b) Takiben her iki grup numuneye çözeltiliye alma ve su verme işlemi uygulanmıştır (T4). Çözeltiliye alma işlemi bir tür homojenleştirme işlemi gibi görev yapmış ve yapıdaki intermetalik fazların daha fazla çözünmesini sağlamıştır. Çözeltiliye alma sıcaklığı (530°C) homojenizasyon sıcaklığından (480°C) daha yüksektir. Dolayısıyla, süre kısa olsa bile daha fazla intermetalik çözünmesine yol açmıştır. Su verme sonrasında her iki alaşımın yapıları birbirine benzerdir ve sertlik değerleri de yakındır.
- c) Yaşlandırma işlemi çözeltiliye alma ve su verme işlemi sonrasında yapıda çözünmeden kalan kaba intermetaliklerin daha fazla çözünmesini sağlayamamıştır. Esasen bu beklenen bir durum da değildir. Dolayısıyla, yaşlandırılmış numunelerin mikroyapıları birbirlerine benzemektedir. Mikroyapı, α katı çözeltilisi içerisinde halen yaşayan kaba intermetalik fazlardan ibarettir. Ancak, optik mikroskobun ve hatta görece düşük taramalı elektron mikroskobun görüntü hassasiyetleri kapsamında görülemeyen

çökelti fazları yapıda mevcuttur. Bunlar yaşlandırma işlemi esnasında sertlik artışından sorumlu olan ve GP zonları temelli büyüyen Mg_2Si , $AlZn_2$ gibi ince intermetaliklerdir. Bunlar görece düşük büyütmelerde SEM’de görülmeseler de sertliğe etkileri açık bir şekilde vardır. Zaten, yaşlandırma ile sertleşen alüminyum alaşımlarında yaşlandırmanın etkisi mikroyapıda değil sertlik ölçümlerinde ortaya çıkmaktadır.

- d) Yaşlandırma neticesinde hem homojenleştirilmemiş hem de homojenleştirilmiş numunelerin sertlikleri bariz bir şekilde artmış ve 120 HV’lerden 180 HV’ye kadar yükselmiştir. Sertlik değerleri açısından homojenleştirilmemiş ve homojenleştirilmiş numuneler arasında kayda değer bir fark yoktur.
- e) Yaşlanma sıcaklığı ve süresinin de sertlik değerleri ve mikroyapı üzerine fark edilir bir etkisi olmadığı görülmektedir.
- f) Sonuç olarak, homojenleştirme işleminin nihai sertlik ve mikroyapı üzerine belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir. Ancak, bu çalışmada ölçülmeyen mekanik özellikler açısından homojenleştirme işlemi önemli olabilir. Literatürde, homojenleştirilmiş alaşımın çekme testinde uzama değerinin homojenleştirilmemiş alaşımından çok daha yüksek olduğu kaydedilmiştir. Yani, homojenleştirme alaşımın sünekliğini arttırmaktadır.
- g) Öneri olarak; homojenizasyon işlemi farklı koşullar altında tekrarlanabilir. Homojenleştirme, uzun süreli bir işlem olduğundan, işlem süresini kısaltmak için, bu çalışmada kullanılandan ($480^{\circ}C$) daha yüksek sıcaklıklarda ve farklı (uzun ve kısa) sürelerde homojenleştirme işlemi yapılabilir ve sonuçları değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Gedik, D. (2008), Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Sodyum Dikromat ve Sülfirik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi, Adana
- [2] Burgucu, S. (2011) , “7075 Alüminyum alaşımlarının üretimi ve karakterizasyonu”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2011
- [3] Mondolfo, L.F., “Aluminum alloys: structure and properties”, Boston 7 Butterworths; 1976.
- [4] Smith, W.E., Mühendislik Alaşımlarının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımlar, Cilt 2, çeviri M. Erdoğan, Nobel Dağıtım, 2001.
- [5] Deschams, A., Dumont, D., Brechet, Y., Siğli, C. ve Dubost, B. (2001), Process modeling of age-hardening aluminum alloys : from microstructure evolution to mechanical and fracture properties, ASM International, Materials Park, OH, 298-305
- [6] Kaufman, J.G., “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, ASM International, Materials Park, Ohio, 2000.
- [7] TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası, Alüminyum Komisyonu (2004), Alüminyum Raporu
- [8] Demirci, K.M. (2011), “Dünya Alüminyum Ticaretinde Türkiye’nin Yeri”, Türk Mühendis ve Mimarlar Odaları Birliği Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi 161. sayı, 17-29
- [9] Eroğlu, G., Şahiner M. (2018), “Dünyada ve Türkiye’de Alüminyum”, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
- [10] Heinz A., Haszler A., Keidel C., Moldenhauer S., Benedictus R., Miller W. S., “Recent development in aluminium alloys for aerospace applications”, Materials Science And Engineering A-Structural Materials Properties, 280, 102-107, 2000.
- [11] Kaya I., “Al 7075 Alaşımının Şekillendirme Ve Isıl İşlem İle Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, 2005

- [12] Askeland, D.R. “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Nobel Yayın Dağıtım Ankara, 1998.
- [13] Durmuş, S., Akgün, S. ve Şahin, S. (2009), Çökelme Sertleştirilmesi uygulanmış AA 7012 Alüminyum Alaşımlarında Sertliğin Mikro yapı ile değişiminin incelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS’09), Karabük
- [14] ASM Handbook, “Alloy Phase Diagrams”, Vol. 3, ASM International, Materials Park, OH, 1992.
- [15] Deuis R.L., Subramanian C., Yellup J.M., “Dry Sliding Wear of Aluminium Composites- A Review”, Composites Science and Technology. 57, 415-435, 1997.
- [16] Ay N., “7075 Alüminyum Alaşımında RRA Isıl İşleminin Mikroyapıya Etkisi ve Kinetik Analiz”, İstanbul Teknik Üniversitesi, F.B.E., Doktora tezi 1989.
- [17] Polmear, I.J., “Light Alloys Metallurgy of the Light Metals”, Edward Arnold, Great Britain. 1989.
- [18] Feng C., Liu Z., Ning A., Liu Y., Zeng S., “Retrogression and re-aging treatment of Al-9.99%Zn-1.72%Cu-2.5%Mg- 0.13%Zr aluminum alloy”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 16, 1163-1170, 2006.
- [19] Ning A., Liu Z., Peng B., Zeng S., “Redistribution and re-precipitation of solute atom during retrogression and reaging of Al-Zn-Mg-Cu alloys”, Transactions of Nonferrous Metals Society of China 17, 1005-1011, 2007
- [20] Ferrer C.P. “Optimizing The Strength And SCC Resistance of Aluminium Alloys Used For Refurbishing Aging Aircraft”, U.S.N.A Trident Scholar project report, 2001.
- [21] Tarhan K., Gezici R., “Demir Olmayan Metallerin Isıl İşlemi”, 1984.
- [22] ASM Handbook, “Heat Treating, ASM international Materials Park, Ohio” vol. 4, 1990.
- [23] Archambault, P., Chevrier J.C. ve Beck G. (1980), “A Contribution to the optimization of the 7075 Heat Treatment”, Materials Science and Eng, 43: 1-6
- [24] Polmear, I.J. (2004), Aluminium Alloys - A Century of Age Hardening, Materials Forum 28.

- [25] Savaşkan, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitapevi, Trabzon, 1999.
- [26] Daşcılar B., “Farklı Ekstrüzyon Hızlarında Ekstrüze Edilmiş AA6063 Alüminyum Alaşımlarının Yüzey ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Gebze yüksek teknoloji enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 2006.
- [27] Gazda, A., Warmuzek, M. and Wierzchowski, W., “DTA investigation of the retrogression and re-ageing in some AlZnMgCu alloys”, *Thermochimica Acta*, 303, 2,197-202, 1997.
- [28] Berg L.K., Gjonnes J., Hansen V., Li X.Z., Knutson W., Waterloo M. G., Schryvers D. and Wallenberg, L.R., “GP- zones in Al-Zn-Mg alloys and their role in artificial aging”, *Acta Materialia*, 49, 17, 3443-3451.NVE, 2001.
- [29] Li X.Z., Hansen V., Gjonnes J. and Wauenberg I.R., “HREM study and structure modeling of the η phase, the hardening precipitates in commercial Al-Zn-Mg alloys, *Acta Materialia*, 47, 9,2651-2659., 1999
- [30] Huang Z.W., Loretto, M.H. and White J., “Influence of lithium additions on precipitation and age hardening of 7075 alloy”, *Material. Science, Technology*, 9, 11,967-980, 1993.
- [31] Park J K. “Influence of retrogression and re-ageing on the strength and stress corrosion resistance of aluminium alloy 7075-T6”, *Materials Science And Engineering A*, 103(2): 223-231, 1988
- [32] Khalil A.M. , Loginova I.S., Pozdniakov A.V., Mosleh A.O., Solonin A.N., “Evaluation of the Microstructure and Mechanical Properties of a New Modified Cast and Laser-Melted AA7075 Alloy”, *Materials* 2019, 12, 3430
- [33] Çolak, H. (2019) , “AA7075 Alüminyum alaşımına uygulanan yapay yaşlandırma işleminin mikroyapı ve bazı mekanik özelliklere etkisi”, Fırat Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, 2019
- [34] She H., Shu D., Dong A., Wang J., Sun B., Lai H., “Relationship of particle stimulated nucleation, recrystallization and mechanical properties responding to Fe and Si contents in hot-extruded 7055 aluminum alloys”, *Journal of Materials Science & Technology* 35 (2019) 2570–2581
- [35] Aliyah A.N., Anawatı A., “Effect of heat treatment on microstructure and mechanical hardness of aluminum alloy AA7075”, *IOP Conf. Series: Metarials Sicence and Engineering* 541 (2019) 012007

- [36] Özer G., Karaaslan A. (2017). "Properties of AA7075 Aluminium Alloy in Aging and Retrogression and Reaging Process", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, November 2017, 2357-2362
- [37] Min Zuo, Maximilian Sokoluk, Chezheng Cao, Jie Yuan, Shiqi Zheng and Xiaochun Li, "Microstructure Control and Performance Evolution of Aluminum Alloy 7075 by Nano-Treating", Scientific Reports, 2019, Makale numarası: 10671
- [38] Aydın, H., Tunçel, O., AA7075 Alüminyum Alaşımında Çözme Tavlı Sıcaklığının Yaşlanma Davranışına Etkisi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 1, 2019



ÖZGEÇMİŞ

Filiz Özkan, 05.11.1988’de Manisa’da doğdu. İlk, orta ve Lise eğitimini Manisa’da tamamladı. 2006 yılında Dündar Çiloğlu Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2007 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nü 2011 yılında bitirdi. Osmanlı Tel Çivi San. Tic. Ltd. Şti., firmasında 2012 yılından 2013 yılına kadar Kalite ve Labarotuvlar Mühendisi olarak çalıştı. 2013 yılında Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Bursan Bursa Sanayi İşletmeleri A.Ş.’de 2014 yılından 2018 yılına kadar Kalite Güvence ve Sistem Mühendisi olarak çalışmıştır.