

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

**7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN  
RRA ISIL İŞLEMLERİNİN MİKROYAPI VE MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Erkan KİBAR**

**Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ**  
**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ramazan YILMAZ**  
**Ortak danışman : Yrd. Doç Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**Ocak 2010**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN  
RRA ISIL İŞLEMLERİNİN MİKROYAPI ve MEKANİK  
ÖZELLİKLERE ETKİSİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ


Erkan KİBAR

Enstitü Anabilim Dalı : METAL EĞİTİMİ

Bu tez 03/02/2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Süleyman TEKELİ  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. Ramazan YILMAZ  
Üye

  
Doç. Dr. Hüseyin UZUN  
Üye

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ders ve tez aşamalarında maddi manevi desteklerini gördüğüm, bilgi birikimlerini esirgemeyen, beni fikir ve önerileri ile katkıda bulunan, doğru yönlendiren ve cesaretlendiren tez danışman hocalarım Doç. Dr. Ramazan YILMAZ ve Yrd. Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK'e sonsuz saygı, şükran ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek öğretim boyunca hep yan yana olduğumuz her işimde yardımcı olan, maddi manevi desteklerini esirgemeyen, SEM/EDS çalışmalarına yardımcı olan kadim dostum Alper AYTAÇ'a, özel olarak şükran ve teşekkürlerimi sunarken, yardımlarını gördüğüm Süleyman KURTULUŞ, Hüseyin YALÇINKAYA ayrıca Tansel TUNÇAY, Arş. Gör. Gültekin UZUN ve Öğrt. Gör. Hasan KAYA'ya teşekkürlerimi sunmayı borç bildiğimi belirtmek istiyorum. Ayrıca tez süresince yakın ilgisini ve dostluğunu gördüğüm Arş. Gör. Murat Çolak'a saygı ve teşekkürlerimi sunmak istiyorum. SEM incelemelerinin yapılmasında sonsuz desteklerinden dolayı, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Öğretim Üyeleri Prof. Dr. Süleyman TEKELİ ve Yrd. Doç. Dr. Ahmet GÜRAL'a çok teşekkür ediyorum, Çekme deneylerinde donanım desteklerinden dolayı Karabük Üniversitesi Öğretim Üyeleri Doç. Dr. Süleyman GÜNDÜZ, Doç. Dr. Ramazan KAÇAR ve Arş. Gör. Ahmet MEYVECİ hocalarıma minnettarım. Lisans ve yüksek lisans öğretimim boyunca üzerimde emekleri bulunan Karabük Üniversitesi ve Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü hocalarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca yanımda olan maddi ve manevi desteklerini gördüğüm benim için büyük fedakârlıklarda bulunan değerli aileme saygı, sevgi, minnet ve teşekkürlerimi borç bilirim. Son olarak özellikle ve önemle belirtmekten mutluluk duyduğum, her zaman yanımda olan, cesaretlendiren manevi desteklerini gördüğüm sevdiğim Bilge SATAN' a saygı, sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ .....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xv
SUMMARY .....	xvi
BÖLÜM 1.GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI.....	5
2.1. Alüminyum Alaşımının Sınıflandırılması .....	5
2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları .....	5
2.3. Döküm Alüminyum Alaşımları .....	9
BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER.....	13
3.1. Alüminyum Alaşımının Isıl İşlemi ve Kullanılan Semboller.....	13
3.2. Isıl İşlem Uygulanan ve Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları .....	16
3.2.1. Tavlama .....	17
3.3. Alüminyum Alaşımına Uygulanan Yaşlandırma Isıl İşlemi .....	18
3.3.1. Çözeltiyeye alma ısıl işlemi .....	19
3.3.2. Çökelme sertleşmesi .....	22

3.4. Yeniden Çözeltiliye Alma ve Yeniden Yaşlandırma Isıl İşlemi.....	23
3.4.1. Yeniden çözeltiliye alma sırasında meydana gelen yapısal dönüşümler .....	25
3.5. Al-Zn-Mg Alaşımlarında Meydana Gelen Dönüşümler.....	26
<b>BÖLÜM 4. 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI, MEKANİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ.....</b>	<b>30</b>
4.1. 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapısı .....	30
4.2. 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik özellikleri.....	36
4.2.1. Sertlik değerleri .....	36
4.2.2. 7075 Alüminyum alaşımlarının çekme dayanımı.....	39
4.2.3. 7075 Alüminyum alaşımlarının darbe direnci .....	43
4.2.4. Aşınma davranışları .....	44
4.2.5. Yorulma özellikleri.....	50
4.3. 7075 Alüminyum Elektrik İletkenliği.....	52
<b>BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>55</b>
5.1. Deneysel Malzeme.....	55
5.2. Deney Numunelerin Hazırlanması .....	55
5.3. Deneysel Çalışma Programı .....	55
5.4. X Işınları Difraksiyon Analizi .....	57
5.5. Mikroyapı İncelemeleri .....	58
5.5.1. Optik mikroskop incelemeleri .....	58
5.5.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri .....	58
5.5.3. Enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS) incelemesi .....	58
5.5. Mekanik Deneyler .....	59
5.5.1. Sertlik ölçümleri .....	59
5.5.2. Aşınma deneyleri.....	59
5.5.3. Çekme deneyleri .....	59
5.5.4. Çentik darbe deneyleri.....	60

BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....	61
6.1. Yeniden Çözeltiyeye Alma Sıcaklığının ve Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi .....	61
6.1.1. Mikroyapı İncelemeleri .....	61
6.1.2. Sertlik ölçümleri .....	73
6.1.3. Aşınma deneyleri .....	75
6.1.4. Çekme deneyleri .....	95
6.1.5. Çentik darbe deneyleri .....	100
6.2. Yeniden Yaşlandırma Sıcaklıklarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi .....	102
6.2.1. Mikroyapı incelemeleri .....	102
6.2.2. Sertlik ölçümleri .....	105
6.2.3. Aşınma deneyleri .....	106
6.2.4. Çekme deneyleri .....	113
6.2.5. Çentik darbe deneyleri .....	116
6.3. Yeniden Yaşlandırma Sürelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi .....	118
6.3.1. Mikroyapı İncelemeleri .....	118
6.3.2. Sertlik ölçümleri .....	121
6.3.3. Aşınma deneyleri .....	122
6.3.4. Çekme deneyleri .....	127
6.3.5. Çentik darbe deneyleri .....	129
BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....	131
7.1. Sonuçlar .....	131
7.2. Öneriler .....	134
KAYNAKLAR .....	135
ÖZGEÇMİŞ .....	142

## SİMGELER VE KISALTMA LİSTESİ

DSC	:Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
EDS	:Elektron dağılım spektrometresi
GP	:Gunnier Preston
KY	:Kayma yönü
R	:Retrogresyon ( Yeniden çözeltiye alma)
RRA	:Yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma
SAD	:Seçilmiş Alan Difraktometresi
SEM	:Taramalı elektron mikroskobu
TEM	: Geçirgen Elektron Mikroskoku
XRD	:X-ray Difraktometresi
$\sigma$	:Akma Gerilmesi

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1.	Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları .....	2
Şekil 1.2.	Aloha Airlines uçak kazası .....	2
Şekil 2.1.	Al-Zn ikili faz diyagramı .....	8
Şekil 3.1.	Çözündürme ve yaşlandırma aşamalarını içeren çökeltme sertleşmesini gösteren. ....	20
Şekil 3.2.	Çözünen atomun çözen atom kafes yapısındaki dağılımı.....	21
Şekil 3.3.	a) Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, b) Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti.....	23
Şekil 3.4.	Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar .....	23
Şekil 3.5.	Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemi şematik görüntüsü .....	24
Şekil 3.6.	7075 kalite alüminyum alaşımının, (a) T6 işlemi, (b) retrogresyon ve (c) retrogresyon ve yeniden yaşlandırma sonrası şematik mikro yapısı.....	25
Şekil 3.7.	7xxx alaşımlarının yüksek yaşlandırma sıcaklıklarında meydana gelen yapısal dönüşümler.....	28
Şekil 4.1.	115°C’de 7 saat hemen ardından 165°C’de 16 saat yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının TEM görüntüsü.....	31
Şekil 4.2.	a) RRA işlemi ile yaşlandırılan numunenin TEM görüntüsü, b) SAD paterni [110] <sub>Al</sub> , c) SAD deseni [112] <sub>Al</sub> .....	32
Şekil 4.3.	7075 alüminyum alaşımlarına uygulanan a) T6, b) RRA, c) T73 ve d) http .....	32
Şekil 4.4.	a) 200°C’de yeniden çözeltilmeye alınan malzemenin TEM görüntüsü, b) 180 ve 220°C’de yeniden yaşlandırılan malzemenin kalorimetrik değişimi.....	33
Şekil 4.5.	a) 180°C’de yeniden çözeltilmeye alınan malzemenin TEM görüntüsü,	



	b) T6 ve 220°C'de yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan malzemelerin kalorimetrik değişimi .....	35
Şekil 4.6.	a) T6, b) T76, c) HTA1, d) HTA5 ısıtma işlemleri uygulanan malzemelerin TEM görüntüsü .....	36
Şekil 4.7.	5, 10, 20 ve 40 dk süre ile yeniden çözeltilmeye alınan a) 7050, b) 7150 alaşımlarının sertlik değişimi.....	37
Şekil 4.8.	Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden çözeltilmeye alınıp yeniden yaşlandırılan alüminyum 7075 alaşımının yeniden yaşlandırma süresine bağlı olarak değişimi.....	38
Şekil 4.9.	200°C'de yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden çözeltilmeye alma yeniden yaşlandırma işlemi yapılan 7xxx serisi alüminyum alaşımının sertlik değişimi .....	39
Şekil 4.10.	Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırılan 7075 alaşımının, a) akma ve çekme dayanımı, b) kopma uzaması değişimi .....	40
Şekil 4.11.	200°C'da yeniden çözeltilmeye alınan üç farklı yaşlandırma işlemi yapılan malzemelerin çekme dayanımı ve % uzama değerleri değişimi.....	41
Şekil 4.12.	a) T6 ve b) RRA ısıtma işlemleri sonrasında numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeyleri SEM görüntüsü.....	42
Şekil 4.13.	Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) ve yeniden çözeltilmeye alma (R) işlemi yapılan malzemelerin akma dayanım değerlerinin yeniden çözeltilmeye alma zamanına bağlı değişimi .....	42
Şekil 4.14.	a) T6, b) RRA ısıtma işlemi uygulanan malzemelerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüsü .....	43
Şekil 4.15.	Yeniden çözeltilmeye alma sürelerinin darbe direnci değişimi [11] .....	43
Şekil 4.16.	Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri .....	45
Şekil 4.17.	Adhesiv aşınma mekanizması şematik görüntüsü .....	47
Şekil 4.18.	Farklı aşınma mekanizmaları.....	47
Şekil 4.19.	Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alaşımının kuru ortam aşınma hızının yeniden çözeltilmeye alma süresine bağlı olarak değişimi.....	48

Şekil 4.20.	7075 alüminyum alaşımının yeniden çözeltilme sıcaklığına bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	49
Şekil 4.21.	a) T6 ve b) 170°C’da yeniden çözeltilme alınan ve yeniden yaşlandırılan alüminyum 7075 alaşımının kuru aşınması yüzey SEM yüzey görüntüleri.....	49
Şekil 4.22.	RRA ve T6 ısıtma işlemi uygulanan alüminyum 7075 alaşımının kuru ve korozyon aşınmalarının setlik ile aşınma oranı arasındaki değişimi.....	50
Şekil 4.23.	Farklı ısıtma işlemleri uygulanan alüminyum 7075 alaşımının gerilim yorulma ömrü değişimi.....	51
Şekil 4.24.	7075-T6511 ve RRA ısıtma işlemi uygulanan malzemelerin normal hava ortamında ve korozyon ortamı altında NaCl çözeltisi ortamında gerilim kırılma çevrimi yorulma değişimi.....	51
Şekil 4.25.	Farklı sürelerde yaşlandırma (a), yeniden çözeltilme alma (b) ve yeniden yaşlandırmanın (c) elektrik iletkenliği değişimi .....	52
Şekil 4.26.	Yeniden çözeltilme alma ve yeniden yaşlandırma elektrik iletkenliği değişimi.....	53
Şekil 4.27.	İki aşamalı 115°C’de 7saat ve 165°C’de farklı sürelerde yaşlandırılan malzemenin akma, çekme dayanımı ve elektrik iletkenliği değişimi .....	54
Şekil 4.28.	T6 ve T73 ısıtma işlemlerinin yeniden çözeltilme alma süresine bağlı olarak iletkenlik değişimi.....	54
Şekil 5.1.	Şematik Olarak Deneysel İşlem Aşamaları .....	56
Şekil 6.1.	a) 180°C, b) 200°C, c)220°C, d) 240°C e) 260°C sıcaklığında yeniden çözeltilme alma 60 dk bekletilen 7075 alüminyum alaşımının optik mikroskop görüntüleri.....	62
Şekil 6.2.	a) 180°C b) 200°C c)220°C d) 240°C e) 260°C sıcaklıklarında yeniden çözeltilme alma 60dk bekletilen 7075 alüminyum alaşımının SEM görüntüleri.....	63
Şekil 6.3.	220°C’da 60dk Yeniden çözeltilme alınan numunenin XRD analizi .....	64
Şekil 6.4.	220°C sıcaklıkta 60dk yeniden çözeltilme alma işlemi yapılan numunenin EDS analizi .....	66

Şekil 6.5.	220°C 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/ haritalama analiz görüntüsü.....	68
Şekil 6. 6.	260°C'de 75dk Yeniden çözeltilmeye alınan numunenin XRD analizi .....	69
Şekil 6.7.	260°C'de 75 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi uygulanan numunenin EDS analiz görüntüsü .....	71
Şekil 6.8.	260°C'de 75dk yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/haritalama analiz görüntüsü.....	72
Şekil 6.9.	180-260 sıcaklıklarında ve 15-75 dk bekleme sürelerinde yeniden çözeltilmeye alma ve daha sonra 120°C'da 24 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri .....	74
Şekil 6.10.	180-260°C sıcaklık ve 15-75 dk sürelerde yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 2000 m kayma mesafesinde a) 15N, b) 30, c) 50N yük altındaki aşınma deneyi sonrasındaki ağırlık kaybı değişimleri .....	78
Şekil 6.11.	180-260 sıcaklık ve 15-75 dk sürelerde yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 2000 m kayma mesafesinde a)15N, b)30, c)50N yük altındaki aşınma deneyi sonrasındaki aşınma oranı değişimi.....	80
Şekil 6.12.	a) 180°C, b) 200°C, c) 220°C, d) 240°C ve e) 260°C sıcaklıklarda ve 60 dk sürede yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımlarının 50 N yük altında uygulanan aşınma deneyi sonrasında aşınma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri .....	83
Şekil 6.13.	220°C 60 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan EDS analizleri .....	85
Şekil 6.14.	220°C 60 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan SEM/haritalama analiz görüntüsü .....	86
Şekil 6.15.	260°C 75 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan EDS analizleri .....	88

Şekil 6.16.	260°C 75 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan SEM/haritalama görüntüleri.....	89
Şekil 6.17.	180-260°C sıcaklıklarda ve 15-75 bekleme sürelerinde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının (a) 220°C 60 dk'da 15N'daki zamana bağlı aşınma grafiği ,(b) 15N, (c) 30N ve (d) 50N yükler altında aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değerleri. ....	94
Şekil 6.18.	220°C sıcaklıkta 60 dk bekleme süresinde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının çekme dayanımı eğrisi .....	97
Şekil 6.19.	180-260°C sıcaklıklarda ve 15-75 dk bekleme sürelerinde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) çekme dayanımı, b) kopma uzaması değerleri.....	97
Şekil 6.20.	a) 180°C, b) 200°C, c) 220°C, d) 240°C ve e) 260°C sıcaklıklarında ve 60 dk bekleme süresinde yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının çekme numunelerin SEM görüntüleri.....	99
Şekil 6.21.	220°C'de farklı sürelerde yeniden çözeltilmeye alınan numunelerin darbe direnci değişimi.....	100
Şekil 6.22.	220°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında a) 15, b) 30, c) 45, d) 60, e) 75 dk sürelerinde yeniden çözeltilmeye alma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımına uygulanan çentik darbe deneyi sonucundaki kırık yüzeylerinin SEM görüntüsü .....	101
Şekil 6.23.	220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS analizi.....	103
Şekil 6.24.	220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının SEM/haritalama analizi.....	104
Şekil 6.25.	220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alma ve 100-140°C'de 24 saat	

	yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının sertlik değişimleri .....	106
Şekil 6.26.	220°C’de 60 dk yeniden çözeltilme ve 100-140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) ağırlık kaybı, b) aşınma oranı ve c) sürtünme katsayısı değişimleri ..	108
Şekil 6.27.	a) 100, b) 110, c) 120, d) 130, e) 140°C sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 50N yük altında aşınma deneyleri uygulanan alaşımların SEM görüntüsü .....	109
Şekil 6.28.	220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözeltilme ve 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşındırılan alaşımın SEM/EDS analizi .....	111
Şekil 6.29.	220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözeltilme ve 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşındırılan alaşımın SEM/haritalama analizi .....	112
Şekil 6.30.	220°C’de 60 dk yeniden çözeltilme ve 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) çekme dayanımı, b) kayma uzaması değişimi .....	114
Şekil 6.31.	220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözeltilme ve a) 100, b) 110, c) 120, d) 130 ve e) 140°C 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının çekme deneyi sonrasındaki kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri.....	115
Şekil 6.32.	220°C’de 60 dk yeniden çözeltilme ve 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının darbe direnci değişimi.....	116
Şekil 6.33.	220°C’de 60 dk yeniden çözeltilme ve a) 100, b) 110, c) 120, d) 130 ve e) 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının kırılma yüzeyi SEM görüntüsü .....	117
Şekil 6.34.	220°C’de 60dk yeniden çözeltilme alınan ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS analizi.....	119
Şekil 6.35.	220°C’de 60 dk yeniden çözeltilme alınan ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının	

SEM/haritalama analizi.....	120
Şekil 6.36. 220°C’de 60 dk sıcaklıkta yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 15-35 saat sürelerde yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının sertlik değerleri değişimi.....	121
Şekil 6.37. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 15-35 saat sürelerde yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının a) ağırlık kaybı, b) aşınma oranı ve c) sürtünme katsayısı değişimi.....	123
Şekil 6.38. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri SEM görüntüsü .....	124
Şekil 6.39. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM/EDS analizi.....	125
Şekil 6.40. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM/haritalama analizi .....	126
Şekil 6.41. 220°C sıcaklıkta yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 15-35 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin a) çekme dayanımları ve b) % kayma uzaması grafiği .....	127
Şekil 6.42. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının çekme deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	128
Şekil 6.43. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C’de 15, 20, 24, 30 ve35 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin darbe deneyi değerleri değişimi .....	129
Şekil 6.44. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklığında a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının darbe deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM görüntüsü.....	130

## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Dövmeye alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması.....	5
Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması .....	9
Tablo 2.3. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu .....	12
Tablo 3.1. Alüminyum alaşımlarında çökelme sertleşmesi işlemlerini tanımlamak için kullanılan temper simgeleri .....	15
Tablo 4.1. Üç farklı yaşlandırma yapılan alaşımın çekme, akma dayanımı ve kopma uzaması değişimi .....	41
Tablo 4.2. T6 ve RRA ısıtma işlemi uygulanan malzemelerin mekanik özellikleri değişimi .....	44

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, 7075, aşınma, çekme, çentik darbe, mikroyapı, RRA, sertlik

Bu çalışmada, 7075 alüminyum alaşımına yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işlemleri (RRA) uygulanmıştır. Öncelikle T6 ısıl işlemi uygulanan 7075 alaşımına 180-260°C sıcaklıkları arasında 15-75 dk sürelerinde yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanmış ve daha sonra yeniden yaşlandırılarak, en uygun çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi belirlenmiştir. İkinci olarak belirlenen sıcaklık ve sürede yeniden çözeltiye alınan alaşım 100-140°C sıcaklıklar arasında 24 saat sürede yeniden yaşlandırılmıştır. Son olarak 120°C'de 15-35 saat sürelerde yeniden yaşlandırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar ile optimum yeniden çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi ile yeniden yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan ısıl işlem parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi araştırılmıştır. Mikroyapı çalışmalarında XRD, optik mikroskop, SEM, SEM/EDS ve SEM haritalama analiz teknikleri, mekanik deneylerde ise sertlik, aşınma, çentik darbe ve çekme deneyleri yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan parametreler 7075 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda 220°C sıcaklıkta ve 60 dk sürede yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan numuneler en yüksek sertlik, çekme dayanımı, çentik darbe direnci ve aşınma direnci elde edilmiştir. Yeniden yaşlandırma işleminde en yüksek mekanik değerler 120°C sıcaklıkta ve 24 saat sürede yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir.



# **THE EFFECT OF RETROGRESSION AND REAGING (RRA) HEAT TREATMENTS AN MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF 7075 ALUMINIUM ALLOYS**

## **SUMMARY**

Keywords: Aluminium, 7075, wear, tensile, charpy impact, microstructure, RRA, hardness

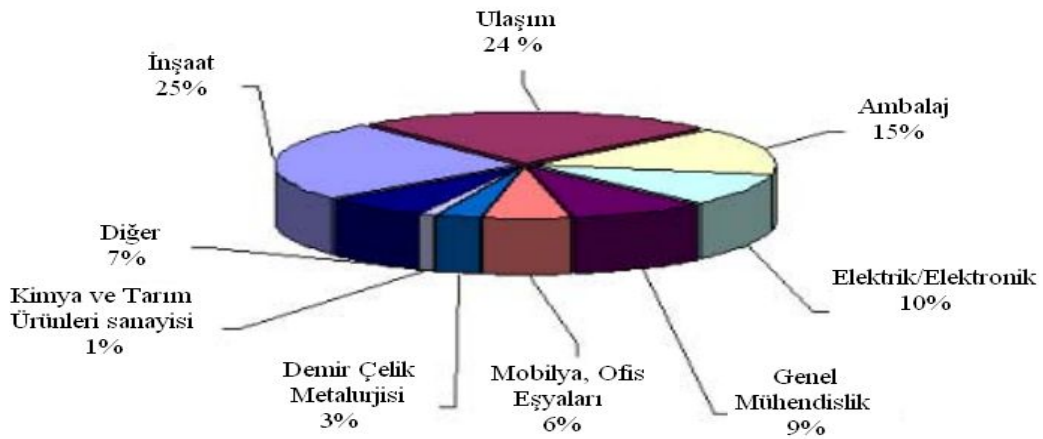
In this study, retrogression and reaging (RRA) treatments on 7075 aluminium alloys has been carried out. Firstly, 7075 aluminium alloys that were already T6 temper applied were retrogressed at the range of 180-260°C for durations between 15 and 75 minutes and later reaged in T6 aging condition of 120°C and 24 hours. Optimum retrogression temperature and duration were determined by doing this experimental works. Secondly, the alloy that retrogressed at determined temperature and duration were reaged at the temperatures ranges of 100-140°C for 24 hours. Finally, the alloys were reaged at the temperature of 120°C with duration ranges of 15-35 hours. Determination optimum of retrogression and reaging temperature and duration of aluminium alloy of 7075 is aimed by doing those experimental works. Moreover the effects of RRA treatment parameter wooed in the works on microstructures and mechanical properties were investigated. XRD, optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM), SEM/EDS and SEM mapping analysis techniques were used in the microstructural studies. On the other hand, hardness, sliding wear, V-notch impact, tensile tests were carried out for the mechanical characterizations of the alloys. Retrogression and reaging treatments parameters have effects on both microstructures and mechanical properties of 7075 aluminium alloys. The highest values of hardness, tensile strength, impact toughness and wear resistance were obtained from the samples retrogressed at 220°C for 60 minutes in the experimental works. The highest mechanical values were obtained from the samples reaged at 120°C and 24 hours.

## BÖLÜM 1.GİRİŞ

Alüminyum ve alaşımları diğer malzemelerle kıyaslandığında düşük yoğunluk, iyi korozyon direnci, işlenebilme, elektrik iletimi gibi birçok mükemmel özelliklere sahiptir. Bu nedenle bu malzemeler uçak ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaları gerekmektedir. Bahsedilen uçak ve otomotiv endüstrisinde yüksek dayanıma sahip hafif metallerin kullanılması talep edilmektedir. Alüminyum ve alaşımlarının düşük yoğunluğa sahip ve korozyon direnci olması, birçok uygulama alanlarında kullanılması açısından önemlidir [1-3].

Alüminyum içerisine ilave edilen %4-8 Zn ve %1-3 Mg kompozisyonu 7xxx serisi alüminyum alaşımlarını işaret etmektedir. Bu tür alüminyum alaşımları diğer alüminyum alaşımları içerisinde en yüksek dayanıma sahip malzemelerdir. Bu elementlerden çinko ve magnezyum alüminyum içerisinde yüksek oranla katı eriyebilirliğe sahiptir ve önemli ölçüde çözelti mukavemetlenmesi sağlamaktadır. Bu alaşımlara bakır ilavesi ile dayanım değerleri daha artmaktadır. 7xxx serisi alüminyum alaşımları yüksek sertlik ve dayanıma sahip malzemeler olduğundan uçak ve uzay endüstrisinin yanında otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır [3].

Alüminyum alaşımları diğer malzemelerle kıyaslanmasında farklı ölçütlere ihtiyaç duyulmaktadır. Spesifik mukavemet, spesifik rijitlik ve şekillendirme esnasında görülen süreksiz akma gibi bir kavramlarla ifade edildiğinde geleneksel malzemelere göre alüminyum alaşımları eşdeğer, çoğu zamanda daha üstün performans ortaya koymaktadır. Bu özellikler ile otomotiv ve imalat sektörünün dikkatini çekmektedir [4]. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları Şekil 1.1'de verilmektedir.



Şekil 1.1. Alüminyum alaşımlarının kullanım alanları [5]

Uçaklar havadan ağır malzemelerdir. Yapısal olarak çok dayanıklı ve aynı zamanda hafif olmaları gerekmektedir. Bu nedenle uçaklarda kullanılan malzemeler önemli olup yüksek performanslı olmaları gerekmektedir. Çünkü uçaklar kullanıldıkları sürelerde maruz kaldıkları yükler nedeni ile yorulma, kullanılma ortam ve şartları etkisi ile korozyon, güç sistemlerindeki ani sıcaklık değişimleri ile termal şoka maruz kalmaktadır [4-6]. Yorulma çatlaklarının oluşması ve ilerlemesi uçak tasarımında en önemli hususlardan biridir. Şekil 1.2’de çoklu yorulma çatlaklarının belirlenemeyen ilerlemesi ile meydana gelen kırılmalar 29 Nisan 1988’de Aloha Airlines ‘in Boeing 737 uçağının kazasında uçuş esnasında gövdenin üst yarısının büyük bir bölümü patlayarak uçaktan ayrılmıştır [4, 6].



Şekil 1.2. Aloha Airlines uçak kazası [4, 6, 7]

Isıl işlemler metallerde mikroyapıyı, mekanik özellikleri ve kalıntı gerilme durumlarını değiştirmekte olup bir dizi ısıtma ve soğutma işlemlerini içermektedir. Alüminyum alaşımlarının sertlik ve dayanımlarını çökeltme işlemi ile sağlanabilmektedir [8]. 7xxx serisi alüminyum alaşımlarında katı erime işlemi takiben su verme ve yaşlandırma işlemlerinden sonra çökeltme sonucunda dayanımları artmaktadır [3]. 7xxx serisi alüminyum alaşımlarında T6 ısıl işlemi ile yüksek sertlik ve dayanım sağlanmaktadır. 7075 alüminyum alaşımı 121°C'de 24 saat yaşlandırıldığında T6 ısıl işlemi gerçekleştirilmektedir [9, 10]. T6 ısıl işlemi sonucunda korozyona karşı duyarlı bir durum ortaya çıktığından, bu tür alaşımların korozyon dirençlerinin artırılması amacıyla T73 ısıl işlemi geliştirilmiştir. Bu ısıl işlem ile alaşımın korozyon direnci artarken, alaşımın dayanımının %10-15 oranında azalmaktadır [10, 11]. Alüminyum alaşımlarının dayanım ve korozyon özelliklerini en iyi hale getirmeyi amaçlayan araştırmalar ilk olarak 1975 yılında Cina tarafından retrogresyon, yeniden çözeltilme (retrogresyon), ve yeniden yaşlandırma (reaging), RRA ısıl işlemi önerilmiştir [7, 8-12]. Ticari olarak kullanılan uçakların % 65'inde ana yapı elemanı olarak alüminyum alaşımları kullanılması nedeniyle, RRA işlemi bu endüstride önemlidir. Bu nedenle özellikle RRA işlemi için 7150 ve 7075 türü alüminyum alaşımları geliştirilmiştir [11]. RRA işlemi yeniden çözeltilme ve yeniden yaşlandırma olmak üzere iki kademeli bir işlem sürecidir ve T6 ısıl işlemi uygulanan alüminyum alaşımlarına uygulanmaktadır. T6 ısıl işlemi ile (120°C'de 24 saat yaşlandırma) numuneler RRA işleminin birinci aşamasında nispeten yüksek sıcaklıklarda (200-280°C) kısa süreli çözeltilme alınırlar. Daha sonraki aşamada T6 ısıl işlemi uygulanarak yeniden yaşlandırma işlemi gerçekleştirilir [10-12]. Bu tip ısıl işlemlerin uygulanması esnasında kullanılan parametreleri malzemenin mekanik ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi oldukça ilginç olacağı düşünülmektedir. Aşınma malzemelerin mekanik özelliklerden biri olup, beraber çalışan makine elemanlarının hareketleri ile sonuçlanan yüzey hataları olarak belirtilmektedir. Aşınma çeşitli endüstriyel sektörlerde karşılaşılan önemli problemlerden biri olup sistemlerin verimliliğinin azalmasına neden olurlar. Alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları birçok araştırmacının dikkatini çekmiştir [13-21]. Yük hız ve çevre şartları aşınma oranlarına önemli etkilerinin olduğu daha önceki çalışmalarda belirtilmiştir [13-18]. Aşınmanın yanı sıra çekme dayanımı, yorulması, hareketli şartlarda darbe tokluğu, önemlidir. Daha önceki

çalışmalarda [3, 5, 11] ince kesitli malzemeler kullanılmıştır. Bu çalışmada kalın kesitli 7075 alüminyum alaşımı kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, 7075 alüminyum alaşımının yeniden solüsyona alma 180-260°C sıcaklıkları arasında ve 15-75 dk sürelerinde bekletilmiş ve daha sonra 120°C de 24 saat yaşlandırılmıştır. Yeniden özeltiyeye alma sıcaklık ve sürelerinin mikroyapı, sertlik, aşınma, çekme, çentik darbe değerlerine etkileri incelenmiştir. Yeniden özeltiyeye alma sıcaklık ve süresi belirlendikten sonra yeniden yaşlanma sıcaklıkları olarak 100-140°C ve 24 saat süre ile yaşlandırma ısıl işlemi gerçekleştirilmiştir. Yeniden yaşlandırma ısıl işlemi yapılan numunelere aşınma, çekme ve çentik darbe deneyleri yapılmıştır. Yeniden yaşlandırma sıcaklığının belirlenmesinden sonra yeniden yaşlandırma sıcaklığında bekleme süresinin mekanik özelliklere etkisini belirlemek amacı ile 15-35 saatler arasında bekletilerek mekanik ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir.

Bu tez 7 bölüm olarak hazırlanmıştır. Giriş bölümünde; alüminyum ve alaşımlarının, endüstriyel kullanımındaki yeri ile bu alaşımlara uygulanan ısıl işlemlerin önemini ve bu çalışmanın amacı sunularak tezin gerekçesi ve genel erevesi hakkında bilgiler verilmiştir. Tezin ikinci bölümünde ise; alüminyum ve alaşımlarının çeşitli uygulama alanları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde; alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlemler hakkında bilgiler sunulmuştur. Dördüncü bölümde ise mikroyapı, mekanik ve elektriksel özellikleri ile ilgili literatür bilgileri sunulmuştur. Beşinci bölümde ise yapılan deneysel çalışmalar ile bu çalışmada izlenen yöntemler açıklanmıştır. Altıncı bölüm çalışmanın en önemli bölümüdür. Bu bölümde farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden özölme ve daha sonra yeniden yaşlandırma ısıl işlemi gerçekleştirilen 7075 alüminyum alaşımlarında sıcaklık ve süre gibi ısıl işlem parametrelerinin sertlik, çekme dayanımı, % uzama, darbe dayanımı ve aşınma gibi mekaniksel özelliklere ve mikroyapıya olan etkileri sunulmuştur. Yedinci bölümde ise; elde edilen genel sonuçlar özetlenmiş ve gelecekte benzer konularda çalışma yapacak araştırmacılara çeşitli öneriler sunulmuştur.

## BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM VE ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

### 2.1. Alüminyum Alaşımlarının Sınıflandırılması

Alüminyum alaşımları, dövme ve döküm alaşımları olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Alüminyum içerisine katılan alaşım elementleri malzemenin mukavemet özelliklerini yükseltmektedir. Özellikle çekme dayanım değerleri artmaktadır. Alüminyum içerisine katılan başlıca alaşım elementleri: Magnezyum, manganez, silisyum, bakır, çinko ve bazen de kurşun, nikel ve titanyumdur [3].

### 2.2. Dövme Alüminyum Alaşımları

Dövme alüminyum alaşımları Tablo 2.1’de gösterildiği gibi dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi ile belirtilmektedir [3, 11, 22]. Son iki basamak alüminyum alaşımını veya alüminyumun saflığını gösterir. İkinci basamak orijinal alaşımın modifikasyonunu veya impurite sınırlarını gösterir.

Tablo 2.1. Dövme alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması [3, 11, 22]

<b><u>Dövme alüminyum alaşım grupları</u></b>	
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 elementi
8xxx	Diğer elementler
9xxx	Yaygın olarak kullanılmayan ser

Bu alaşımlarda ısıl işlem neticesinde sertleşen ve doğal sert alaşımlar olmak üzere ikiye ayrılır. Dökme, dövme, haddeleme, çekme ve ekstrüzyon gibi mekanik işlemler istenilen harici şekilleri elde etmek için kullanıldığı gibi, ısıl işlem ile mikroyapıyı değiştirmek ve sertlik, mukavemet, süneklilik v.b. mekanik özelliklere etki edilebilir [3].

Ticari saflıktaki alüminyuma yaklaşık % 1,2 Mn ilavesi (% 6 Fe ve % 0,2 Si) orta düzeyde dayanımlı, ısıl işlem uygulanamayan bir alüminyum alaşımı üretilmektedir. Mangan ilavesi alüminyumu katı eriyik mukavemetlenmesi ve ince bir dağılım çökmesi ile mukavemetlendirme sağlamaktadır. Dayanım değerlerindeki artış %1'e kadar magnezyum ilavesi ile elde edilmektedir.

İkili alüminyum-magnezyum alaşımları ısıl işlem uygulanamayan 5xxx serileri için esas oluşturmaktadır. Magnezyum, alüminyumda önemli bir eriyebilirliğe sahip olmakla beraber (451°C'de % 14,9) katı eriyebilirlik sıcaklık düştükçe düşer. Alüminyum magnezyum alaşımlarında %7 Mg'dan daha az konsantrasyonlarda kayda değer çökme sertleşmesi görülmemektedir. Buna karşın magnezyum katı eriyik mukavemetlenme mekanizması ile alüminyumun mukavemetini önemli ölçüde artırır ve bu şekilde pekleşme özelliği sağlanmaktadır. Al-Mg alaşımları ısıl işlem uygulanamaz ancak beraber yaklaşık olarak % 4'den fazla Mg' lu (5083, 5086 ve 5456 gibi) Al-Mg alaşımları için tavlama sıcaklıklarında çözünen magnezyum miktarı oda sıcaklığında katı eriyik olarak kalandan daha fazladır. Böylece bu tip alaşımlar şiddetli bir şekilde pekleştirilir ve daha sonra uzun bir süre için oda sıcaklığında depolandığında  $Mg_2Al_3$  çökeltileri kayma bantları boyunca oluşmaktadır. Bu alaşımlar tavllanmış şartlarda yüksek sıcaklıklara maruz bırakılırsa çökelti tane sınırları boyunca oluşacaktır. Bu oluşan çökelti alüminyum alaşımları, korozif ortamda tane içerisinde gerilim korozyonuna karşı hassas hale getirmektedir [3].

İlk dövülmüş ikili Al-Cu alaşımı ABD'de geliştirilen yaklaşık % 5.5 Cu içeren 2025 alaşımıdır. 2025 alaşımı 1926'da ortaya çıkmış ancak endüstride sınırlı olarak kullanılmaktadır. % 6,3 Cu içeren dövme için 2219 alaşımı 1954'de geliştirilmiş ve 2025 alaşımı ile yer değiştirmiştir. 2219 alaşımı daha geniş ve yüksek aralıkta

dayanım, kaynaklanabilirlik, üstün korozyon direnci ve yüksek sıcaklık özelliklerine sahiptir [3].

Alüminyum-bakır-magnezyum alaşımları keşfedilen ilk çökeltme yöntemiyle sertleştirilebilen alaşımlardır. Çökelti sertleştirilmiş ilk alaşım 2017 alaşımıdır. Bu alaşım % 4 Cu, % 0,6 Mg ve % 0,7 Mn kompozisyonuna sahiptir. % 4,4 Cu, % 0,5 Mg, % 0,8 Mn ve % 0,8 Si'lu 2014 alaşımı yapay yaşlandırmaya 2017 alaşımından daha fazla tepki vermesi için daha sonra geliştirilmiş ve günümüzde en yaygın Al-Cu Mg alaşımlarından biridir. Yüksek dayanım, magnezyum içeriğini % 0,5'den % 1,5'e çıkarmakla elde edilmektedir. Magnezyumun alüminyum-bakır alaşımlarına ilavesi alüminyum bakır alaşımlarında çökelti sertleşmesini önemli ölçüde hızlandırmakta ve yoğunlaşmaktadır. Erken keşiflerine rağmen Al-Cu-Mg alaşımlarında çökeltme işleminin detayları tamamen anlaşılmamıştır [3].

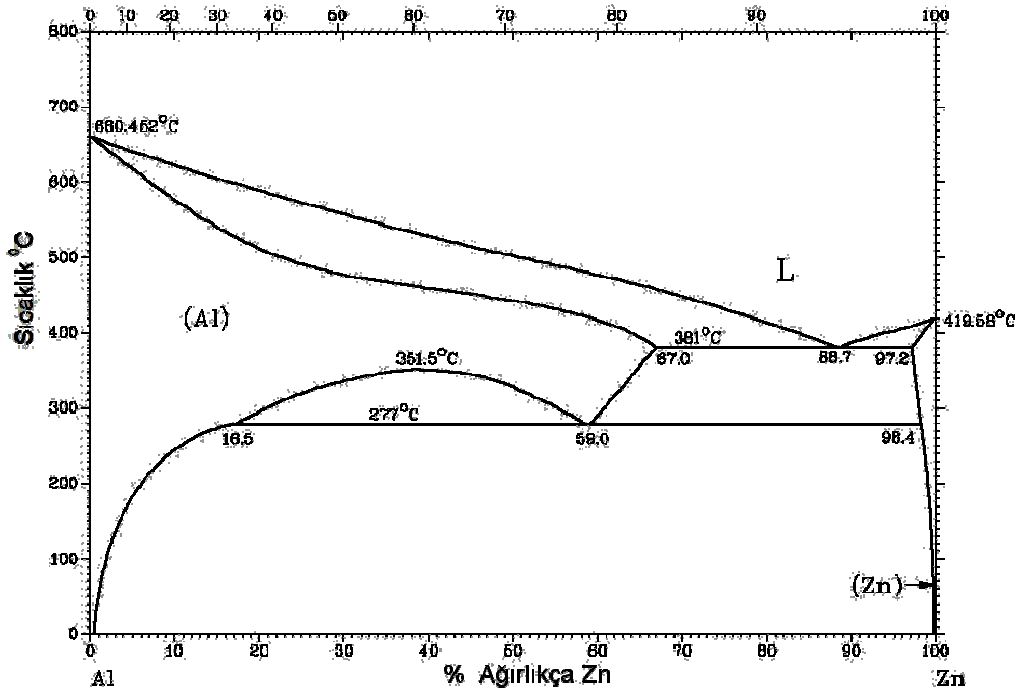
Alüminyumda magnezyum (% 0,6-1,2) ve silisyumun (% 0,4–1,3) kombinasyonu dövülmüş çökelti sertleştirilebilen alüminyum-magnezyum-silisyum alaşımları 6xxx serileri için temel oluşturmaktadır. Çoğu durumlarda, magnezyum ve silisyum, kombine olarak metaller arası bileşik  $Mg_2Si$  bileşiğinin kararsız fazlarını oluşturmak amacıyla alüminyum alaşımlarında normal miktarlarda bulunmaktadır. Ancak, silisyum,  $Mg_2Si$  için gerekli olandan fazla silisyum kullanılabilir. Magnezyum ve krom, çoğu 6xxx serisi alaşımlarının dayanımını arttırmakta ve tane boyutu kontrolü için ilave edilmektedir. Bakır bu tip alaşımın dayanımını arttırmaktadır. Ancak, kompozisyonda % 0,5'den fazla bulunursa korozyona direncini azaltmaktadır.

Alüminyum alaşımlarında % 4-8 Zn ve % 1-3 Mg kombinasyonları, dövülmüş ısıtıl işlem 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 kullanılacak 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. [3].

Yüksek mukavemetli alüminyum alaşımlarından, 7xxx serisine ait, ticari 7075 alüminyum alaşımı uçaklarda yapı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Bu alaşım % 5-6Zn, % 2-3Mg, yaklaşık olarak % 1,5Cu ve az miktarda Cr, Mn, Ti, Zr ve Ag içermektedir. Alaşımda Cr, Mn, Ti, Zr ve Ag kristalleşme davranışını kontrol etmek ve çökeltileri modifiye etmek için kullanılan elementlerdir [3, 23]. Şekil 2.1'de Al-Zn diyagramı verilmiştir.



Şekil 2.1 Al-Zn ikili faz diyagramı[23]

### 2.3. Döküm Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları, dövme ve dökme olarak iki ana alt gruba ayrılabilir. Plastik deformasyonla şekillendirilen dövme alaşımların döküm alaşımlara göre farklı mikroyapı ve kompozisyona sahiptirler. Her iki alaşım grubu içerisinde Tablo 2.2’de belirtildiği gibi, ısıtılabilir uygulanabilen alüminyum alaşım grupları bulunmaktadır [5, 24].

Tablo 2.2. Alüminyum alaşımlarının sınıflandırılması[5, 24]

<b>Dövme Alaşımlar</b>		<b>Isıl İşlem</b>
1XXX	Ticari Saflikta Al(>%99 Al)	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Mn	Yaşlandırılmaz
4XXX	Al-Si veya Al-Mg-Si	Magnezyum varsa yaşlandırılabilir
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Mg-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
<b>Döküm Alaşımlar</b>		
1XXX	Ticari Saflikta Al	Yaşlandırılmaz
2XXX	Al-Cu	Yaşlandırılabilir
3XXX	Al-Si-Cu veya Al-Mg-Si	Kısmen yaşlandırılabilir
4XXX	Al-Si	Yaşlandırılmaz
5XXX	Al-Mg	Yaşlandırılmaz
6XXX	Al-Ms-Si	Yaşlandırılabilir
7XXX	Al-Zn-Mg	Yaşlandırılabilir
8XXX	Al-Sn	Yaşlandırılabilir

Alüminyum döküm alaşımları akıcılık ve besleme yeteneği dayanım, süneklik ve korozyon direnci gibi döküm sınıfları için geliştirilmişlerdir. Bu nedenle bunların kimyasal kompozisyonları dövme alüminyum alaşımlarından farklıdır ve alüminyum birliği numara sistemine göre sınıflandırılmışlardır. Dört basamaklı sayısal bir tasarım sistemi, alüminyum ve alüminyum alaşımlarının dökülmüş ve dökümhane ingotu şeklinde belirlemede kullanılır. İlk basamak alaşım grubunu gösterir. Bir kesir işaretiyle diğerlerinden ayrılan son basamak, ürünün biçimini örneğin; dökümler veya ingotu göstermektedir. Orijinal alaşım veya impurite sınırlarının bir modifikasyonu sayısal tasarımdan önce bir seri harfle gösterilir. Harf "x" deneysel alaşımlar için kullanılmakta olup, alüminyum döküm alaşımları daha yaygın olarak üç basamakla tanımlanmaktadır.

Ana alaşım elementi olarak silisyum içeren döküm alaşımları, üstün döküm özelliklerinden dolayı en önemli ticari döküm alaşımı olmuştur. Alüminyum-silisyum alaşımları ergiyik durumda yüksek akıcılık, katılaşma sırasında mükemmel akıcılık ve sıcak yırtılması daha azdır. Silisyum saf alüminyumun korozyon direncini azaltmaz ve bazı durumlarda (orta asidik ortamlarda) korozyon direncini artmaktadır. İkili alüminyum silisyum alaşımlarına ısıl işlem uygulanılmamaktadır. Çünkü sadece küçük bir miktar silisyum maksimum % 1,65 silisyum, alüminyumda çözünebilir ve silisyum katı eriyikten çökelmez, ancak çok az sertleşmeye neden olmaktadır [3, 14].

Döküm alüminyum-silisyum ikili alaşımlarının dayanım özellikleri, küçük miktarda (yaklaşık % 0.35) magnezyum ilavesi ile iyileştirilebilir. Bu tipin en önemli alüminyum döküm alaşımı A356'dır. Bu alaşım dökülebilirlik için % 7 Si ve alaşımı ısıl işlem uygulanabilir hale getirmek için % 0,35 Mg içermektedir. Alaşımın magnezyum silikat ( $Mg_2Si$ ) içeriği % 0,5–0,6 arasındadır. Bu tip alaşım çökelti mukavemetlenmesi  $Mg_2Si$ 'nin kararlılığına atfedilir. Dökülmüş Őartlardaki bu alaşımın yapay yaşlandırılması optik mikroyapısını değiştirmesini ancak alaşımı mukavemetlendiren kararsız çökeltilerin ince bir dağılımını oluşturur. A356 alaşımı, ergiye % 0,025 Na ilavesi ile modifiye edilirse kum döküm ötektik yapısı incelik, ötektikteki silisyum parçacıklar küçülür ve daha az açılı olur. Bu inceltme, yavaş soğutulmuş kum dökümün mekanik özelliklerinde biraz iyileşme sağlamaktadır. Ancak prensip fayda kum ve kalıcı kalıp dökümlerinin her ikisinde beslenme özelliklerindeki iyileşmedir. Küçük silisyum parçacıklarının katılaşma sırasında sıvı metalin akmasına daha az zarar verdiği görülmektedir. Sonuç olarak sodyum modife edilmiş alaşımlar modife edilmemiş metallerden üstün bir yüzey kalitesi ve dentritler arasında daha az çekilme oluşurmaktadır [3, 14].

Alüminyum-bakır döküm alaşımları alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımları ile hemen hemen yer değiştirmiştir. Alüminyum-bakır alaşımlarıyla yer değiştirmenin ana nedeni, bunların zayıf dökülme özelliklerine sahip olmaları, korozyon dirençlerinin iyi olmayışı ve alüminyum-silisyum-magnezyum alaşımlarından yüksek özellikli ağırlıklara sahip olmalarıdır [3].

Alüminyum - lityum alaşımları 1980'li yıllarda öncelikle uzay ve uçak araçlarının ağırlığını azaltmak amacıyla üretildi. Bunlar aynı zamanda soğuk uygulamalar için örneğin sıvı oksijen ve uzay araçları için hidrojen yakıt tankları için de araştırılmıştır. Bununla beraber Al-Li alaşımlarının bedeli, lityumun yüksek maliyeti ve işlem için özel donanımlar gerektirmesinden dolayı geleneksel alüminyum alaşımlarından üç-beş kat fazladır. Bu nedenle bu alaşımların uygulaması ağırlığın öncelikli olduğu yerlerde kullanılmaktadır. İkili Al-Li alaşımları düşük süneklik ve kırılma tokluğuna sahip olma eğiliminde oldukları için Al-Li alaşımları, mukavemetlerine için daha ince ve daha homojen çökeltiler sağlamak amacıyla bakır ve bakır-magnezyum alaşımları içermektedir.

Son olarak yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının kimyasal bileşim aralığı Tablo 2.3'de verilmiştir. Tablodan görüldüğü gibi, bu çalışmada kullanılan 7075 alüminyum alaşımına ısıl işlem uygulanmaktadır.

Tablo 2.3. Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının kimyasal kompozisyonu [10, 25]

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	-	-	0.2-0.06Bi, 0.2-0.6Pb
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	0.2Zr-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	0.2Zr+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	0.2Zr+Ti
2124	0.2	0.3	3.8-4.0	0.3-0.9	0.05	0.25	0.1	0.15	0.2Zr+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-.25Zr 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	0.25Zr + 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 3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINA UYGULANAN ISIL İŞLEMLER**

### **3.1. Alüminyum Alaşımlarının Isıl İşlemi ve Kullanılan Semboller**

Genel olarak beş tür ısıl işlem göstergesi kullanılmaktadır. Bunlardan (O) tavlı, (F) fabrikasyondan sonraki hali, (H) yeniden kristalleşme sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda yapılan plastik şekillendirme sonucu sertlik ve mukavemetin artışı, (T) ısıl işlem halini göstermektedir, (W) solüsyona alma ısıl işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı göstermekle beraber, zamanı verilmiş ise o takdirde belirli bir ısıl işlem ifade edilmiş olmaktadır.

**F:** Fabrikasyondan sonra (üretildiği gibi) mukavemet veya sertliğini değiştirmek amacıyla hiçbir ilave işlem yapılmaksızın, üretildikten sonraki fiziksel yapısını belirtmektedir. Biçimlendirilen alüminyum alaşımlarının mekanik özelliklerinin hiçbir garantisi yoktur. Döküm hali için, örneğin 43-F işareti kullanılmaktadır.

**O:** Tavlı, yeniden kristalleşmiş şekillendirilebilen alüminyum alaşımlarının en yumuşak halidir.

**H:** Genellikle, yassı ürünler (levha/sac) için kullanılan bir ısıl işlem türüdür. Soğuk biçimlendirme sonucu ve kısmi bir yumuşama elde etmek üzere ilave ısıl işlemin uygulanıp uygulanmamasına rağmen biçimlendirilebilen alüminyum alaşımlarında elde edilen mukavemet ve sertlik artışını ifade etmektedir. Isıl işlem olarak (H) harfinden sonra genellikle iki veya daha fazla rakam vardır. İlk rakam, esas işlemleri ifade etmektedir. Daha sonraki rakamlar, plastik şekillendirme sınırları içindeki son fiziksel özelliklerini ifade etmektedir.

**H1:** Plastik şekillendirme sınırları içinde sadece şekil verilmiştir. İkinci rakam, yapılan soğuk işlemleri ifade etmektedir. Örneğin; 8 rakamı erişilebilen en sert hali ifade etmektedir. Bu özellik (H18) olarak gösterilir. En sert malzeme ile yumuşak malzeme arasındaki orta sertlik (H14) şeklinde ifade edilir. Aynı şekilde dörtte bir sertlik ise (H12) şeklinde belirtilmektedir. Harflendirme sisteminde kullanılan üçüncü rakam bu işlemlerden farklı olarak yapılan işlemleri göstermek için kullanılmaktadır.

**W:** Solüsyona alma ısıl işleminden sonraki kalıcı olmayan yapıyı ifade etmektedir. Bu durum doğal yaşlanmadan (natural aging) dolayı, yaşlanma süresinin verilmesi ile belirtilmiş olur. Örneğin 2024 W (1/2 saat), 7075 W (2 ay) vb.

**T:** F, O, H halleri dışında, yapıda istikrar sağlanması amacıyla uygulanan ısıl işlemleri belirtmektedir. Bu harf plastik şekillendirme yapılsın veya yapılmasın yapının kararlı hale gelmesi için uygulanacak ısıl işlem türünü ifade etmektedir. T harfinden sonra 2'den 9'a kadar rakam eklenebilir. Bu rakamlar uygulanacak belli başlı işlemleri gösterirler. 6063-T6 rumuzu alındığında alaşım için esas işleme ilave olarak değişik özellikleri sağlayacak şekilde ayrı işlemlerin uygulanması istendiğinde bu esas rumuza ilaveler yapılmaktadır [22, 26, 27]. Alüminyum alaşımlarında çökelme sertleşmesi işlemlerini tanımlamak için kullanılan temper simgeleri Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1. Alüminyum alaşımlarında çökelme sertleşmesi işlemlerini tanımlamak için kullanılan temper simgeleri [11, 22]

Temper	Açıklama
<b>T1</b>	Ekstrüzyon ya da döküm gibi bir yüksek sıcaklık işlemlerinden sonra soğutulmuş ve kararlı bir hale ulaşacak şekilde doğal yaşlandırılmış
<b>T2</b>	Sıcak işlemde sonra soğutulur, soğuk işlemde geçirilir ve doğal yaşlanma ile kararlı duruma getirilir.
<b>T3</b>	Çözeltiye alındıktan sonra düzeltme ya da doğrultmayla soğuk deformasyon uygulanmış
<b>T36</b>	Çözeltiye alındıktan sonra % 6 soğuk deformasyon uygulanmış ve doğal yaşlandırılmış
<b>T4</b>	Çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırılmış
<b>T42</b>	Daha önceki işlemlere bakılmaksızın çözeltiye alındıktan sonra doğal yaşlandırılmış (sadece 2014 ve 2024 alaşımlarına uygulanır)
<b>T351</b> <b>T451</b> <b>T3510</b> <b>T3511</b> <b>T4510</b> <b>T4511</b>	Çözeltiye alınmış ve alaşıma bağlı olarak %1-3 arasında kalıcı deformasyon oluşturmak amacıyla gererek gerilme giderme uygulanmış
<b>T5</b>	Sıcak işlemde sonra soğutulur ve yapay yaşlanma ile sertleştirilir
<b>T6</b>	Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış
<b>T62</b>	Daha önceki işlemlere bakılmaksızın çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış (sadece 2014 ve 2024 alaşımlarına uygulanır)
<b>T652</b>	Çözeltiye alınmış, basma deformasyonu uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T651</b> <b>T851</b> <b>T6510</b> <b>T8510</b> <b>T6511</b> <b>T8511</b>	Çözeltiye alınmış, % 1-3 arasında kalıcı deformasyon oluşturmak amacıyla gererek gerilme giderme uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T7</b>	Çözeltiye alındıktan sonra aşın yaşlandırılmış
<b>T8</b>	Çözeltiye alındıktan sonra soğuk deformasyon uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T/4</b>	Çözeltiye alındıktan sonra düzeltme ya da doğrultmayla soğuk deforme edilmiş ve yapay yaşlandırılmış
<b>T86</b>	Çözeltiye alındıktan sonra % 6 deformasyon uygulanmış ve yapay yaşlandırılmış
<b>T9</b>	Çözeltiye alındıktan sonra yapay yaşlandırılmış ve soğuk deformasyon uygulanmış
<b>T10</b>	Yüksek sıcaklık şekillendirme işlemlerinden sonra soğutulmuş, yapay yaşlandırılmış ve soğuk deformasyon uygulanmış



### 3.2. Isıl İşlem Uygulanan ve Uygulanamayan Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımlarındaki bakır gibi bazı alaşım elementleri, mukavemet ve sertliği ısıtma işlemiyle arttırılabilen metalik bir yapı meydana getirir. Fakat bazen de alaşım elemanı olarak katılan elemanlar ısıtma işlemiyle tutulamayacak durumlar meydana getirir. Böylece ısıtma işlemi karşı gösterdikleri hassasiyete göre dövme ve dökme alüminyum alaşımları ısıtma işlemiyle tutulabilen ve ısıtma işlemiyle tutulamayan alaşımlar diye iki gruba ayrılır [3, 27].

Kontrollü ısıtma ve soğutma işlemleri sonrasında mekanik özellikleri geliştirilebilen alaşımlara verilen genel isimdir. Dövme alaşımlarında ısıtma işlemiyle tutulabilenler gurubunda olanlar; 2011, 2014, 2017, 2018, 2024, 2025, 4032, 6151, 6061 ve 7075'dir. Dökme alaşımlarında bu guruba; 112, 142, 195, 319, 333 ve 356 dahil olmaktadır.

Bu alaşımların ihtiva ettikleri elemanlar ve eleman gurupları, yüksek sıcaklıklarda büyük ölçüde katı halde erime özelliklerine sahip olmakla beraber düşük sıcaklıklarda bu özellikler sınırlı olmaktadır. Bu önemli karakteristik, alaşımı ısıtma işlemiyle tutulabilen bir hale getirmektedir. Bu guruba yüksek bakır yüzdeli yatak alaşımları (2014, 2017, 2024 ve 2025) magnezyum silikat alaşımları (6051, 6081) ve yüksek çinko yüzdeli yatak alaşımları (7075) da dahil edilmektedir.

Oda sıcaklığında deforme edilerek dayanımları geliştirilebilen fakat ısıtma işlemlere tepki vermeyen alaşım gurubunun genel adı ısıtma işlemi uygulanamayan alaşımlardır. 3xxx ve 5xxx alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanamaz. Bu alaşımların kaynaklı birleştirmelerde karşılaşılan en genel problem ısıdan etkilenen bölgenin yumuşayarak soğuk deformasyonun etkisini kaynak bölgesinde kaybetmesidir [3, 27].

### 3.2.1. Tavlama

Mekanik işlem alaşımların üretim aşamasından sonra tavlama işlemi uygulanmak zorundadır. Tavlama soğuk şekillendirme sonrasında sertleşmiş olan malzemenin gerilimlerini düşürmek veya ısıl işlemle yaşlandırılan malzemeyi yumuşatmak için kullanılır. Yapıda mevcut tanelerin yeniden kristalleşmesini sağlamak amacıyla ötektik noktanın altındaki herhangi bir sıcaklığa kadar tavlama yapılır. Tavlama alaşımın sertliğini ve yapıda oluşan dislokasyon etkilerini yok etmektedir. Metalin soğuk işleme tabi tutulması ise sertliği ve çekme mukavemetini arttırmaktadır. Yapılan bu işlem ile alaşımın sünekliliğini azalmaktadır. Alaşıma uygulanan ısıl işlemde tav süresi önemlidir. Örneğin yeniden kristalleşme işleminde alaşım gereken sıcaklıkla ve sürede tutulmazsa yeniden meydana gelen kristallerin şekil ve özelliklerini tamamıyla değiştirmezler. Ayrıca, tavlama alaşımın kenar kısımlarının ve ince yerlerinin hızlı tavlama ile bozulmaması için sıcaklığı yavaş yavaş arttırmak gerekmektedir. Bunun için alüminyum alaşımının soğuma eğrisinde yararlanılır. Bu olay tavlamanın başlangıç safhalarında meydana gelmektedir. Bu safha sırasında iç gerilmeler ortadan kalkar ve soğuk şekil değiştirme işlemiyle kaybolan yüzde uzama kabiliyeti geri gelmektedir [3, 27].

Tavlama olayı devam ettikçe sıcaklık, başlangıçtaki orijinal tanelerin bir kısmı yeniden kristalleşip gerilimsiz tanelerin meydana gelebildiği değere kadar yükselmektedir. Bu durum, malzemede yeterli miktarda soğuk şekil değiştirme olduğunda meydana gelmektedir [27]. Soğuk işlenmiş malzeme, içerisindeki alaşım elementlerinin ergime noktasından daha düşük bir sıcaklığa ısıtıldığında, soğuk şekillendirme sonucu deforme olmuş yapı eğer malzeme yeterince deforme edildiyse, kaybolurlar ve yerine yeni gerilimsiz taneli bir yapı oluşmaktadır. Bu olay yeniden kristalleşme olarak adlandırılmaktadır. Soğuk şekillendirme sırasında meydana gelen yüksek enerjili bölgeler, yeni tanelerin meydana gelmesinde çekirdek görevi üstlenmektedir. Soğuk şekillendirme miktarı yeterli değil ise yeniden kristalleşme tam olarak gerçekleşmez. Uygulanan sıcaklığa bağlı olarak yeniden kristalleşme sonrasında iri taneli yapı oluşmaktadır.

Yeniden kristalleşmeden sonra yeni taneler en az enerjili duruma gelecekleri ana kadar büyürler. Genel olarak tavlanmış malzemenin tane büyüklüğü, yeniden kristalleşmeden sonraki tane büyüklüğünde bağımsızdır. Bunun en önemli istisnası tamamıyla saf alüminyumdur. Toparlanma, yeniden kristalleşme ve tane büyümesi periyotları arasında tamamıyla tayin edilmiş bir ayırma noktası mevcut değildir [27]. Yeniden kristalleşmeden sonra yeni taneler serbest enerjilerini atmak isterler ve diğer tanelerle birleşerek yüzey alanını genişletir. Bu büyümeye etki eden nedenler ise şunlardır;

Başlangıçtaki tane büyüklüğü düşük soğuk şekillendirme miktarına bağlıdır. Soğuk deformasyon ile elde edilen sertlik değeri ( iri taneli malzemeler için daha az olmak üzere), malzemenin tane büyüklüğüne bağlıdır. Plastik şekil değiştirme oranının düşük olduğu hallerde başlangıçtaki malzemenin tane büyüklüğünün, son tane büyüklüğüne etkisi söz konusudur. Sınırlı miktarda soğuk deforme edilen malzeme, yeniden kristalleştirmeden sonra büyük tanelere sahip olmaktadır. Düşük ısıtma hızı, normalden büyük toparlanma periyoduna sebep olacağından, yeniden kristalleşme ile elde edilen taneler daha iri olmaktadır. Yeniden kristalleştirmeden sonra taneler büyüme eğilimindedir. Bu büyüme, tanelerin daha düşük dereceli enerji seviyesine sahip olma eğilimine bağlıdır. Teorik olarak son sıcaklığın yükselmesi tanelerin büyümesinde etkilidir. Yüksek sıcaklıkta bekletme süresi arttıkça üzerindeki enerjilerini atmak için taneler diğer tanelerle birleşerek enerjilerini azaltırlar ve tane büyüklüğü bekleme süresi arttıkça artmaktadır. Genel olarak soğuk şekil değiştirilmiş alaşımların tavlanması prensip olarak bütün alüminyum alaşımları için aynıdır. Isıl işleme elverişli kılan elemanların katılması ile bu alaşımlar için kullanılan metotların değişmesini sağlamaktadır [27].

### **3.3. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Yaşlandırma Isıl İşlemi**

Alüminyum alaşımlarına uygulanan ısıl işlem neticesinde alüminyum alaşımları arasında farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar alüminyum tavlandıktan sonra mukavemetini bir miktar kaybetmekte ve yalnız soğuk şekil değiştirme ile sertleşmektedir. Buna karşılık sertleşen alüminyum alaşımları, belirli sıcaklıklarda

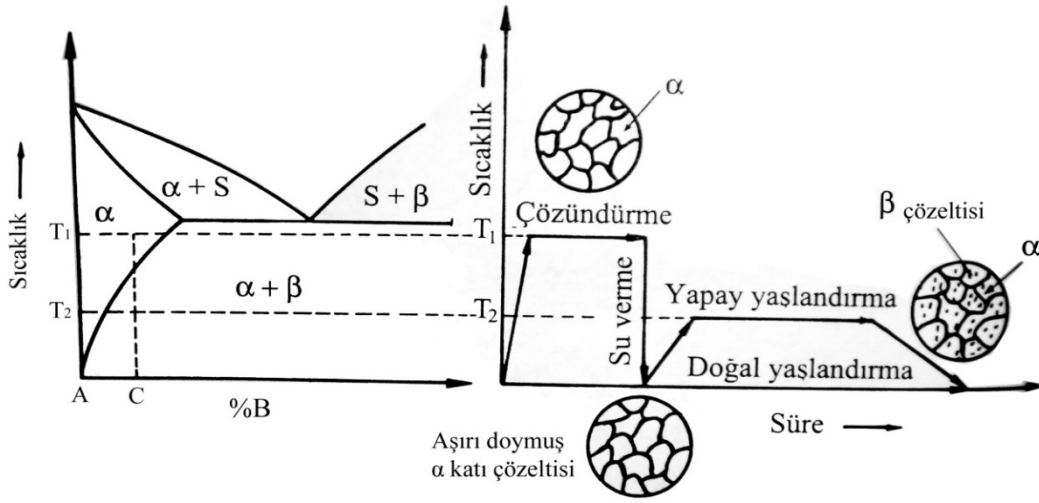
belli zaman bekletilerek mukavemeti ve sertliği yükseltilebilir. Bu bekletmeye yaşlandırma ve bu olaya da çökeltme sertleşmesi denir [8]. Yaşlandırma belirli sıcaklıkta yapıldığında suni yaşlandırma, oda sıcaklığında yapıldığında tabii yaşlandırma adını alır.

Yaşlandırma ısıl işlemleri, yumuşak ve sünek matriste; ince, sert ve matrisle uyumlu çökeltilerin oluşumunu sağlamak için uygulanır [24]. Matris içinde uygun şekilde dağılan çökeltiler, dislokasyon hareketlerini engelleyerek, alaşımların mukavemet değerlerinde artışa neden olurlar. Yaşlandırma ısıl işlemi ile bakır alaşımlarının, martenzitik paslanmaz çeliklerin ve ısıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarının, sertleşmesi sağlanmakta ve dayanımları attırmaktadır. Alüminyum alaşımlarının ısıl işlemle sertleştirilmesi dört aşamada incelenmektedir:

- 1) Önceden tayin edilen bir sıcaklığa kadar ısıtma (çözeltiye alma)
- 2) Belirlenen bir süre bu sıcaklıkta bekletme
- 3) Düşük bir sıcaklığa hızla su verme
- 4) Su vermeye takiben, yaşlandırma ve çökeltme sertleştirilmesi

### 3.3.1. Çözeltiye alma ısıl işlemi

Sıvı durumda her oranda, katı durumda ise kısmen çözünen yapıya sahip bir alaşım, tek fazlı bir yapı ( $\alpha$ ) elde etmek amacıyla Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, alaşımın faz diyagramında belirtilen, solvüs sıcaklığının üzerinde, T1 sıcaklığına kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta alaşımdaki bütün fazların ( $\alpha$  ve  $\beta$ ) tek faz içinde çözünmesi sağlanıncaya kadar bekletilir. Bekleme süresi, alaşımların yapısına göre farklılık göstermektedir. Alaşımlara uygulanan bu işlem çözündürme uygulaması veya çözeltiye alma ısıl işlemi (solution heat treatment) olarak adlandırılır [28].



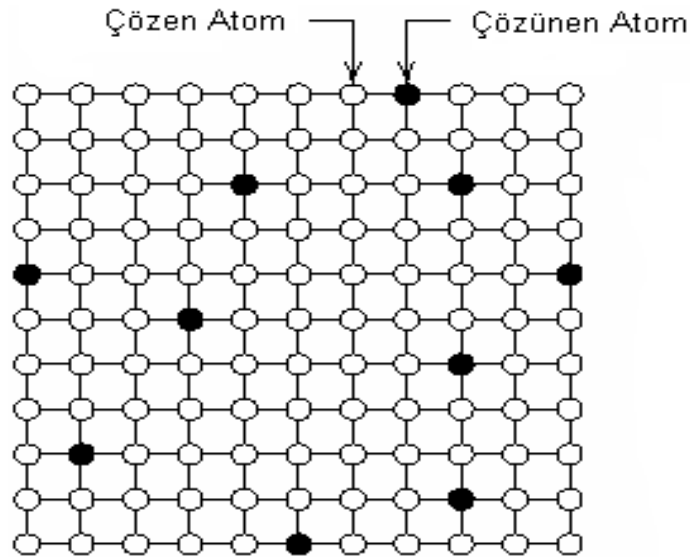
Şekil 3.1. Çözündürme ve yaşlandırma aşamalarını içeren çökelme sertleşmesini gösteren [28].

Çözeltiye alma işleminde, alaşım önceden belirlenen sıcaklığa kadar ısıtılır. Bu işlemin amacı katılaşıma sırasında malzeme yapısında oluşan kontrol dışı fazların çözümlerini sağlamaktır.

Bu işlem için kullanılan sıcaklık oldukça önemlidir. Çok düşük sıcaklıklarda katı eriyikte istenilen sağlanamayacağı gibi çok yüksek sıcaklıklarda ergime tehlikesi mevcuttur. Bu nedenle malzemenin içerisinde bulunan alaşım elementlerinin içinde en düşük ergime sıcaklığına sahip olan elementin ergime sıcaklığının altında bir sıcaklık seçilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan ısıtma hızı solüsyona alma işlemi için önemli bir parametredir. Genellikle orta hızlı  $20^{\circ}\text{C}$  bir ısıtma tavsiye edilmektedir. Yavaş ısıtma uygulandığında, eriyebilen elementlerin difüzyonu fazla olur. Aynı zamanda büyük tanelerin oluşmasına neden olmaktadır. Eğer malzeme soğuk şekil değiştirmeye tabi tutulmuş ise tane büyümesine engel olmak için ısıtma hızı yeterince yüksek olmalıdır. Genel olarak, malzemede kritik denecek kadar soğuk şekil değiştirme miktarı mevcut değil ise tane büyümesi tehlikesi olmadığı söylenebilir [8]. Isıtma hızı malzemede istenmeyen durumların oluşmaması için çok önemlidir. Bunun yanında bekletme süresi de büyük önem taşımaktadır. Bekletme süresi, malzemenin çıkarıldığı sıcaklığa, tavlama şekline, malzemenin cinsine ve buna benzer faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Uzun süreli bekletme tane büyümesine ve difüzyonun artmasına neden olmaktadır. Çözeltiye alma

sıcaklığında bekletme süresinin ölçülmesine, malzemenin her noktasında eşit olduğunda başlanır. Bekletme süresi alaşımın cinsine bağlı olarak, ince kesitli parçalarda 10 dakikadan başlar ve kalın kesitli parçalarda 12 saate kadar çıkmaktadır. Kalın kesitli parçalar için; her 1,5 cm' si için 1 saat bekleme süresi kabul edilir. Bekletme süresi bütün eriyebilen elemanların katı eriyik haline geçebilmelerini sağlayacak kadar uzun seçilir [8].

Su verme işlemi, solüsyona alma ısıl işlemi ile elde edilen tek fazlı  $\alpha$  katı çözeltisini, çökeltilerin oluşmasına izin vermeyecek şekilde, belirli bir T1 sıcaklığından hızlı soğutularak yapılır (Şekil 3.1). T1 sıcaklığındaki malzemenin, ani olarak sıvı içerisinde soğutulmasıyla aşırı doymuş katı eriyik elde edilmektedir. Aşırı doymuş katı eriyik, malzeme içinde bulunan çözenin denge koşullarında, alaşım elementinin çözebileceği miktardan daha fazla madde çözmesi anlamına gelir ve kararsız bir durumdur (Şekil 3.2). Kararlı bir yapının oluşması, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda süneklığe sahip bu yapının yaşlandırılması ile mümkündür. Su verme işleminden sonra ısıtılarak gerçekleştirilen yaşlandırmaya yapay yaşlandırma, oda sıcaklığında kendiliğinden olan yaşlandırmaya ise doğal yaşlandırma adı verilmektedir [28]. Üç farklı su verme metodu vardır. Bu üç yöntem, istenen özelliklere ve gösterdikleri kolaylıklara göre kullanılmaktadır.

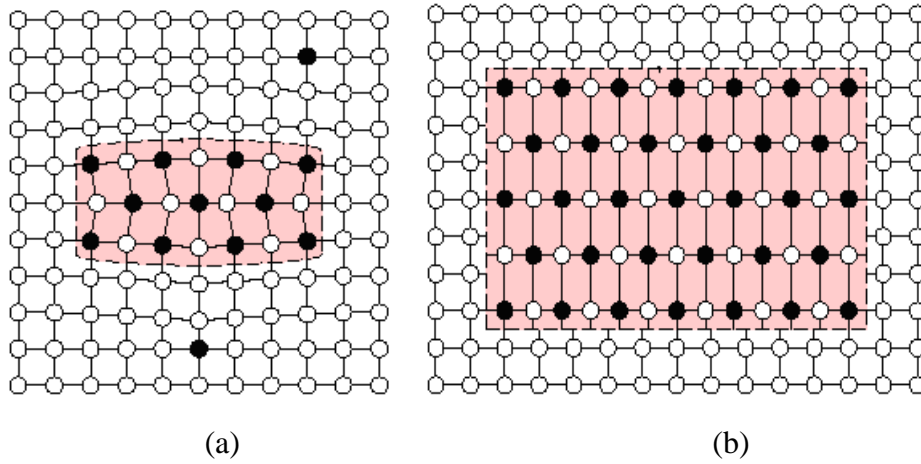


Şekil 3.2. Çözünen atomun çözen atom kafes yapısındaki dağılımı[29].

Hafif dövülen alaşımlara soğuk su banyolarında su verilir. Su verme önceki su sıcaklığı maksimum 30°C olmalıdır. Sıcaklık değişiminin 10°C'yi geçmemesi için yeterli miktarda su bulundurulmalıdır. Bu yöntem çok etkilidir. Büyük ve kalın kesitli dökme parçalara 75-90°C'de veya 100°C'de su verilmektedir. Bu tip su verme, distorsiyonu minimize etmekte ve eşit olmayan sıcaklık dağılışından doğan çatlama tehlikesi önlenmiş olur. Bu işlemde suyun sıcaklığı malzemenin korozyon dayanımına büyük ölçüde etki etmektedir. Dövme alaşımlarda, bu tip su verme kullanılır. Kalın kesitli parçaların korozyon dayanımı ince kesitli parçalarda olduğu kadar kritik değildir. Yüksek hızla su püskürtülerek su verme şekli, levhalar ve geniş yüzeyli parçalara uygulanmaktadır. Bu tip su verme distorsiyonu minimize etmekte ve su vermeden dolayı olan çatlamaı önlemektedir. 2017 ve 2024 alüminyum alaşımları için korozyon mukavemetini azalttığından kullanılmamaktadır.

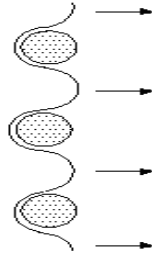
### 3.3.2. Çökelme sertleşmesi

Çözeltiye alma işleminde elde edilen, orta dereceli dayanıma ve önemli oranda sünekliğe sahip aşırı doymuş yapının mukavemet değerleri, çökelme sertleşmesi ile daha da arttırılabilmektedir. Yaşlandırmanın ilk aşamasında, aşırı doymuş katı eriyik içerisindeki fazlalık atomları kümeleşmekte ve ilerleyen aşamalarda, çekirdekleşme mekanizmasının etkin hale gelmesiyle,  $\beta$  fazının (çökelti) çekirdeklerini oluşturmaktadır (Şekil 3.2) [8]. Çökelme sertleşmesinin oluşumu, matris içinde, çözünen atomların meydana getirdiği uyumlu çökelti oluşmasına bağlıdır (Şekil 3.3 a). Uyumlu bir çökelti oluştuğunda, çökelti kafesinin atom düzlemleri ile matris kafesinin düzlemleri arasında süreklilik oluşur. Süreklilik oluşumu, çökelti etrafında geniş bir gerilme alanı oluşturur ve bu alan içerisinde geçen dislokasyonların hareketleri zorlaşır [24]. Alaşımın matris yapısı ile uyumlu çökelti, dislokasyon hareketlerine engel olarak, alaşımın sertliğini ve mukavemetini önemli ölçüde arttırmaktadır. Ancak, aşırı yaşlandırma durumunda, çökelti daha da büyüyerek, matristen bağımsız olarak kendi kristal yapılarını oluşturur ve kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz bir yapı meydana getirirler (Şekil 3.3 b). Bu durumda malzemenin mukavemet değerlerinde düşüş görülmektedir.



Şekil 3.3. a) Kendisini çevreleyen matris ile uyumlu çökelti, b) Kendisini çevreleyen matris ile uyumsuz çökelti [29]

Buna ilave olarak, çökelme sertleşmesinde, alaşımın sertliğini ve dayanımı arttıran bir diğer etken ise, çökelti boyutlarıdır. Yaşlandırma zamanı arttırıldığında, çökelti boyutları büyüyerek aralarındaki mesafe azalmakta ve bu ise dislokasyon hareketlerini engelleyerek mukavemet artışına neden olmaktadır. Ancak çökelti boyutunun aşırı büyümesi dislokasyon hareketlerini kolaylaştırmaktadır. Buna bağlı olarak dayanımı düşürmektedir. Çökeltinin dislokasyon hareketini engelleme olayı şematik olarak Şekil 3.4’de gösterilmektedir.



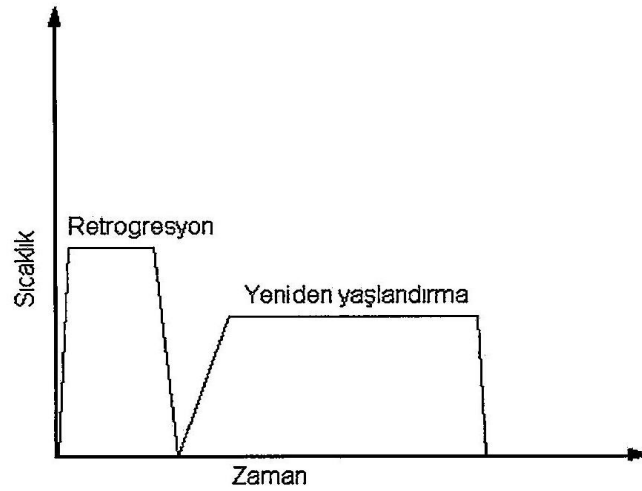
Şekil 3.4. Çökelti arasında oluşan yarım halka şeklindeki dislokasyonlar [31].

### 3.4. Yeniden Çözeltiyeye Alma ve Yeniden Yaşlandırma Isıl İşlemi

Alüminyum alaşımlarının yaşlandırılmasında, toparlanma, 1930'lu yıllarda bulunmuş bir ısıl işlem yöntemidir. Bu yöntemin esası, oda sıcaklığında yaşlandırılmış bir alaşımı, bir kaç dakika ya da bir dakikadan daha az bir süre ısıtarak, orijinal, yani su verildikten hemen sonraki haline geri döndürmeye dayanmaktadır. Bu işlemle



yaşlandırma sürecinde oluşan GP bölgeleri çözünmekte ve dayanım, su verme sonrasındaki değerlerine dönmektedir. Toparlanma işlemi çok uzun yıllardır bilinmesine rağmen, Al-Zn-Mg-Cu alaşımları için Retrogresyon ve Yeniden Yaşlandırma (RRA) adıyla anılan yeni bir ısıl işlem sürecinin ortaya atıldığı 1970'li yılların ortalarına kadar teknolojik olarak kullanılmamıştır. RRA işleminin, retrogresyon ve yeniden yaşlandırma aşamaları Şekil 3.5'de gösterilmektedir.



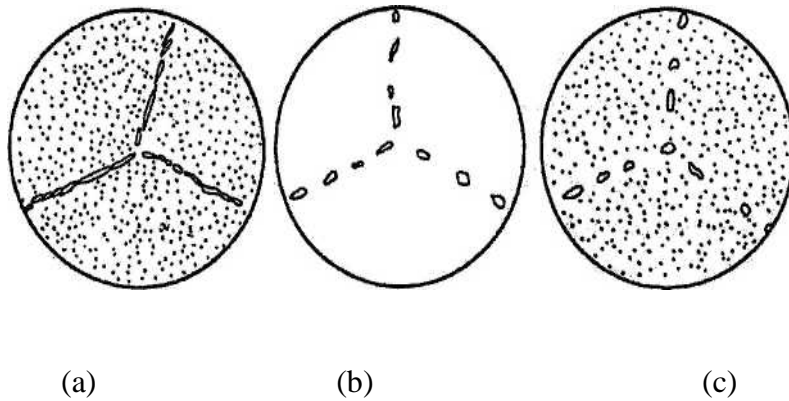
Şekil 3.5. Yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemi şematik görüntüsü [ 11]

Yeniden çözeltiye alma: T6 temper durumundaki alaşım, çözeltiye alma ve yaşlandırma sıcaklığı arasında bir sıcaklıkta genellikle 200–280°C kısa süreli (numune kalınlığına göre değişken bir sürede) tutulmaktadır. Bu işlemler sırasında alaşım, her bir kademedен sonra hızla soğutulmaktadır. RRA işlemi sonunda, 7075 alaşımının yüksek dayanım ve korozyon direncine sahip olması, yapıda bulunan bölgeleri yada çökelti fazlarının, çözünmesi, yeniden oluşması, dönüşmesi, kabalaşması gibi çökelti parçacıklarının, türü, boyutu ve dağılımını etkileyen bir dizi mikro yapısal dönüşümün sonucudur [11]. RRA işleminin başarısı için kısa retrogresyon süreleri gerekmesi nedeniyle, işlem başlangıçta ancak ince kesitli alaşımlara uygulanmıştır. Daha sonraki araştırmalar, retrogresyon sıcaklığının 165–180°C sıcaklıklara düşürülmesiyle, retrogresyon süresinin uzatılabileceği bunun da daha kalın kesitli malzemelere RRA işleminin uygulanmasını sağlayacağı ortaya koymuştur. Alcoa firması bu bilgiyi kullanarak, yüksek dayanımlı alüminyum alaşımlarına uygulanabilen RRA tipi bir yöntem geliştirerek patent haklarını

almıştır [11]. Bu yöntemde, retrogresyon sıcaklığı 170°C iken 7,3 saat, 182°C iken 5 saatlik bir işlem süresi öngörülmüştür. RRA işlemi sırasında meydana gelen mikro yapısal dönüşümler, alaşımın sertlik ve dayanım gibi mekanik özelliklerinin çok sayıda araştırmacı tarafından pek çok analiz tekniğiyle incelenmiştir. Bu araştırmalarda, sürecin temel mekanizması üzerine birbirini destekleyici bulgular ortaya çıksa da, retrogresyonun bazı aşamalarında birbirinden farklı sonuçlar da bulunmaktadır.

### 3.4.1. Yeniden çözeltiye alma sırasında meydana gelen yapısal dönüşümler

Yeniden çözeltiye alma sürecinde meydana gelen yapısal dönüşümler incelendiğinde, (yeniden çözeltiye alma sıcaklık ve süresi olmak üzere) alaşımın kimyasal bileşimi ve başlangıç işlem durumu gibi pek çok faktör belirleyici olmaktadır. Şekil 3.6'da, 7075 alüminyum alaşımının T6 ısıl işlemi uygulanmış hali ile yeniden çözeltiye ve yeniden yaşlandırma kademelerinden sonraki mikro yapıları şematik olarak görülmektedir. Yeniden çözeltiye alma öncesi T6 ısıl işlemi uygulanmış alaşımın mikroyapısında, tane içlerinde homojen olarak dağılmış 3-4 nm boyutlarında yarı uyumlu  $\eta'$  fazı ile GP bölgeleri, tane sınırlarında ise sürekli ya da yarı sürekli bir ağ şeklinde, daha büyük boyutlu ve uyumsuz  $\eta'$  fazı bulunmaktadır (Şekil 3.6a).



Şekil 3.6. 7075 kalite alüminyum alaşımının, (a) T6 işlemi, (b) retrogresyon ve (c) retrogresyon ve yeniden yaşlandırma sonrası şematik mikro yapısı [11, 30].

Yeniden çözeltilmeye alma işlemi sırasında meydana gelen yapısal dönüşümler genel olarak 3 aşamada incelenmektedir. Yeniden çözeltilmeye alma işlemi sırasında, alaşım, yaşlandırma sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklarda tutulduğu için, yeniden çözeltilmeye alma sürecinin I. Aşamasında uyumlu bileşenler (GP bölgeleri ya da  $\beta'$  partikülleri) kısmen ya da tamamen çözünmektedir (Şekil 3.6b). Bu bakımdan yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi özellikle, uyumlu mikroyapı bileşenleri içeren alaşım sistemleri için önerilmektedir. Kısa yeniden çözeltilmeye alma sürelerinde GP bölgelerinin kısmen çözündüğünü öne süreren çalışmalar, bunu toparlanma mekanizmasına dayandırmaktadır. Bu görüşe göre, GP bölgelerinin kısmen çözündüğü bölgeler,  $\beta'$  fazı için uygun çekirdekleşme merkezleri oluşturmaktadır. Ayrıca, GP bölgeleri çözündüğünde, matrisin çinko ve magnezyumca zenginleşmesi,  $\beta'$  fazlarının çekirdekleşmesi ve büyümesini teşvik etmektedir. Dolayısıyla retrogresyon sürecinin I. aşamasında, yapıda önceden bulunan  $\beta'$  fazlarının büyümesi ve çözünen GP bölgeleri üzerinde yeni  $\beta$  fazlarının oluşması aynı anda meydana gelmektedir. Ancak, geçirimli elektron mikroskobu (TEM) incelemeleri, retrogresyonun I. aşamasında,  $\beta'$  fazının boyut ve dağılımının T6 ısıtma işlemi durumundakinden çok farklı olmadığını göstermiştir. Dolayısıyla, kısa retrogresyon sürelerinde bu reaksiyonların aynı hızda olmadıkları, GP bölgelerinin çözünmesinin baskın mekanizma olduğu öne sürülmüştür. Ayrıca,  $\beta$  fazının çözünmesinin 250°C'ye kadarki sıcaklıklarda gerçekleşmediği, bunun da I. aşamada sadece GP bölgelerinin çözündüğü görüşünü destekleyen bir sonuç olduğu belirtilmiştir. Bazı çalışmalarda [10, 11, 31-33] Al-Zn-Mg alaşımlarında yeniden çözeltilmeye alma sürecinde, GP bölgeleriyle birlikte  $\beta$  partiküllerinin de kısmen çözündüğü, çözünmeyen  $\beta$  partiküllerinin de büyüdüğü belirtilmiştir. Yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı arttıkça çözünme kinetiğinin hızlanması sonucu, uyumlu mikroyapı bileşenleri daha kısa sürede çözündüğü için, çözünme reaksiyonunun süresi yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı ile kontrol edilebilmektedir.

### 3.5. Al-Zn-Mg Alaşımlarında Meydana Gelen Dönüşümler

Al-Zn-Mg 7xxx alüminyum alaşımına uygulanan yaşlandırma işlemleri sırasında meydana gelen fazların oluşma aşamaları ve çeşitleri, alaşımın bileşimine, çözeltilmeye alma koşullarına ve yaşlandırma sıcaklıklarına bağlıdır [10]. Alüminyum 7xxx serisi

alaşımalarında kabul gören ardaşık yapı

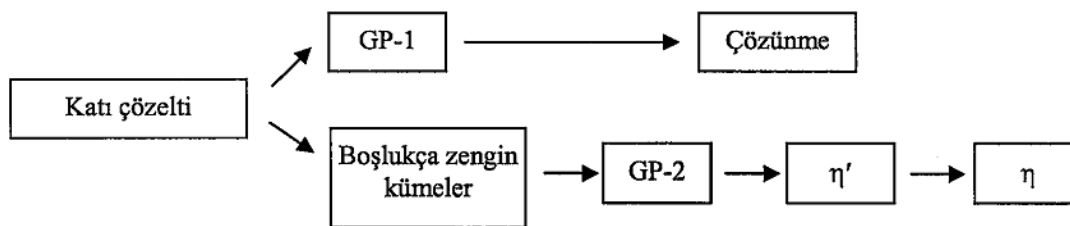
$\alpha$  aşırı doymuş  $\rightarrow$  GP 1,2 zonları  $\rightarrow \eta' \rightarrow \eta$  ( $MgZn_2$ ) olarak gerçekleşmektedir [11, 34, 35].

Yaşlandırma işleminde meydana gelen ilk dönüşümler GP-1 ve GP-2 zonlarıdır. GP1 zonu yapı içerisinde düşük oranda bulunan Mg ile meydana gelmekte ve çözünen atom miktarının yüksek olduğu bir aşamadır. GP-2 zonlarının içyapısı ise boşluk ve çözünen atomca zengin olmaktadır. Yapı içerisinde GP zonlarının meydana geldiği en sıcaklık sınırı, alaşımın kimyasal bileşimine bağlı olarak 100-180°C arasında değişmektedir. GP-1 ve GP-2 zonlarının oluşum süreleri birbirinden farklıdır. GP-1 zonları, alüminyum ana malzemesi ile uyum sergilemekte ve çözeltiye alma işleminde soğutma sıcaklığından bağımsız olarak, normal şartlarda 140-150°C'ye kadar yapılan yaşlandırma sonrası Zn, Al ve Mg atomlarının alüminyum kafesinde alt yapılar şeklinde sıralı dizilmesiyle meydana gelmektedir. Ortam sıcaklığından 60-70°C sıcaklığına kadar yapı içerisinde GP-1 zonları meydana gelmekte, doğal yaşlandırma sırasında oluşan GP zonları GP-1 yapısı şeklinde meydana gelmektedir. Geçirimli elektron mikroskobu (TEM) aydınlık alan görüntülerinde, tipik zon boyutu, 100°C'de 1.5 saat yaşlandırma sonrası 1,5- 3 nm olarak ölçülmüş ve daha uzun yaşlandırma sürelerinde GP-1 boyutunda çok az bir artış olduğu belirlenmiştir. Daha yüksek sıcaklıklarda ise, GP-1 boyutu 2-3 nm olmaktadır [11, 35, 36].

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 TEM ile 1-2 atom kalınlığında ve 3-5 nm genişliğinde Zn oranınca zengin ince tabakalar olarak kolaylıkla görüntülenebilmiştir [11, 35]. GP-2 zonu,  $\eta'$  fazının oluşması için ana yapıyı meydana getirdiği olarak da değerlendirilmekte ve oluşumunun, ani soğutma sırasında meydana gelen boşlukça zengin kümelerden kaynaklandığı belirtilmektedir. Yarı kararlı  $\eta'$  fazının, alaşımın dayanımını arttırdığı dikkate alındığında, dayanım

arttırmada belirgin rol oynayan aşamanın GP-2 zonundan  $\eta'$  fazının oluşması gösterilebilir [11, 35].

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  $\eta'$  fazına dönüştüğü belirtilmektedir [11, 34]. Yapı içerisindeki fazların dönüşümü şematik olarak Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7. 7xxx alaşımlarının yüksek yaşlandırma sıcaklıklarında meydana gelen yapısal dönüşümler [11, 34]

Yapılan çalışmalarda [10, 37, 39] 7xxx alaşımlarında meydana gelen farklı bir çökelti oluşum mekanizması mevcuttur. Bu farklı oluşum fazı

$\alpha$  aşırı doymuş  $\rightarrow$  GP zonları  $\rightarrow$  T'  $\rightarrow$  T  $(AlZn)_{49}Mg_{32} = (Mg_3Zn_3Al_2)$  şeklinde meydana gelmektedir [11, 37, 39].

Meydana gelen dönüşüm sırasında oluşan GP zonları, 7xxx alaşımları için tanımlanan diğer çökeltme 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,  $(AlZn)_{49}Mg_{32}$  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

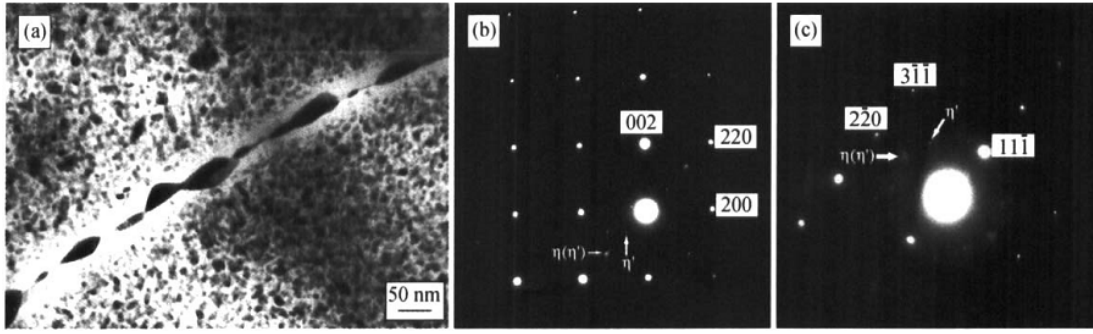
diğer çökelme sırasında oluşan denge fazı  $\eta$  200°C altındaki yaşlandırma sıcaklıklarında çökelmektedir [11, 39].

## **BÖLÜM 4. 7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ MİKROYAPI, MEKANİK VE ELEKTRİKSEL ÖZELLİKLERİ**

### **4.1. 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mikroyapısı**

7075 Al-Zn-Mg-Cu alaşımları uzay ve havacılık endüstrisinde yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle mikroyapıları, mikroyapı ile direk olarak ilgili olan mekanik özellikleri oldukça önemlidir. 7075 alüminyum alaşımlarına yaşlandırma ile istenilen özelliklere sahip malzeme elde edilmesi esas temel amaçtır. T6 işlemi ile maksimum sertlik ve çekme dayanımı elde edilirken yüksek gerilim korozyon çatlaklarının oluşması eğilimi oldukça yüksektir. Bu nedenle, 7075 alüminyum alaşımlarına uygulanan yeniden çözeltiye alma ve yeniden sertleştirme ısı işlemi ile mekanik özelliklerinde azalma olmadan korozyon dirençlerinin artırılması sağlanmaktadır [10, 11].

115°C 7 saat yaşlandırılan ve daha sonra 165°C 16 saat çift yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının TEM görüntüleri Şekil 4.1'de görülmektedir. Matris içerisindeki 10-30nm boyutlarına sahip çökeltilerin önemli derecede arttığı şekli den görülmektedir. Ancak, matris içerisindeki çökelti yoğunluğu oldukça düşüktür. Bu nedenle yukarıda bahsedilen sıcaklığın altındaki sıcaklıklarda yaşlandırılan bu tip alaşımların düşük çekme dayanımına sahip olması kaçınılmazdır. Tane sınırlarındaki çökeltilerin  $\eta$  fazına sahip olduğu görülmektedir. Bu fazın boyutu kabalaşarak 30-40 nm genişliğine çıkmaktadır. Bu fazların TEM, SAD ( seçilmiş alan difraktometresi) düzeninde  $[100]_{Al}$  ve  $[112]_{Al}$  yönlerinde olduğu şekil 4.1 b ve c'de görülmektedir. Bu desenler tane sınırlarında  $\eta'$  ve  $\eta$  fazının bulunduğunu göstermektedir. Yapılan iki aşamalı yaşlandırılan alaşımların dayanımını artırma mekanizmalarında  $\eta'$  ve  $\eta$  fazının beraberce dayanımını arttırdığı deneysel çalışmalardan görülmektedir [40].

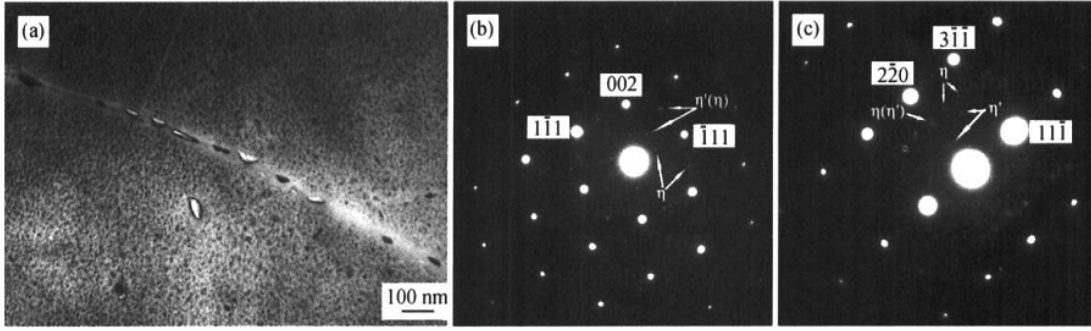


Şekil 4.1 115°C'de 7 saat hemen ardından 165°C'de 16 saat yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının TEM görüntüsü [40]

RRA ısıtılmasında alaşımın gerilimli korozyon çatlaklarının oluşmasına karşı direnci arttırdığından önerilmektedir. Şekil 4.2'de RRA ısıtılmasından sonraki malzemenin TEM görüntüsü verilmektedir. Şekilde matris içerisindeki çökeltilerin T6 ısıtılması uygulanan numuneye benzediği anlaşılmaktadır. T6 ısıtılması uygulanan numunelerde çok ince olan çökeltilerin 5-10nm boyutlarına sahip olduğu, homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu nedenle RRA işlemi uygulanan malzemenin sahip olduğu çekme dayanımı T6 yaşlandırma işlemi uygulanan numuneye çok yakındır. Diğer taraftan tane sınırlarının özellikleri ise T7 ısıtılması uygulanan malzemeye benzemektedir (Şekil 4.2). Çökeltiler kaba ve aralıklı bir şekilde dağılmakta, kaba ve bu şekilde oluşan tane sınırı çökeltileri gerilmeli korozyon çatlaklarına karşı direnci arttırmaktadır.

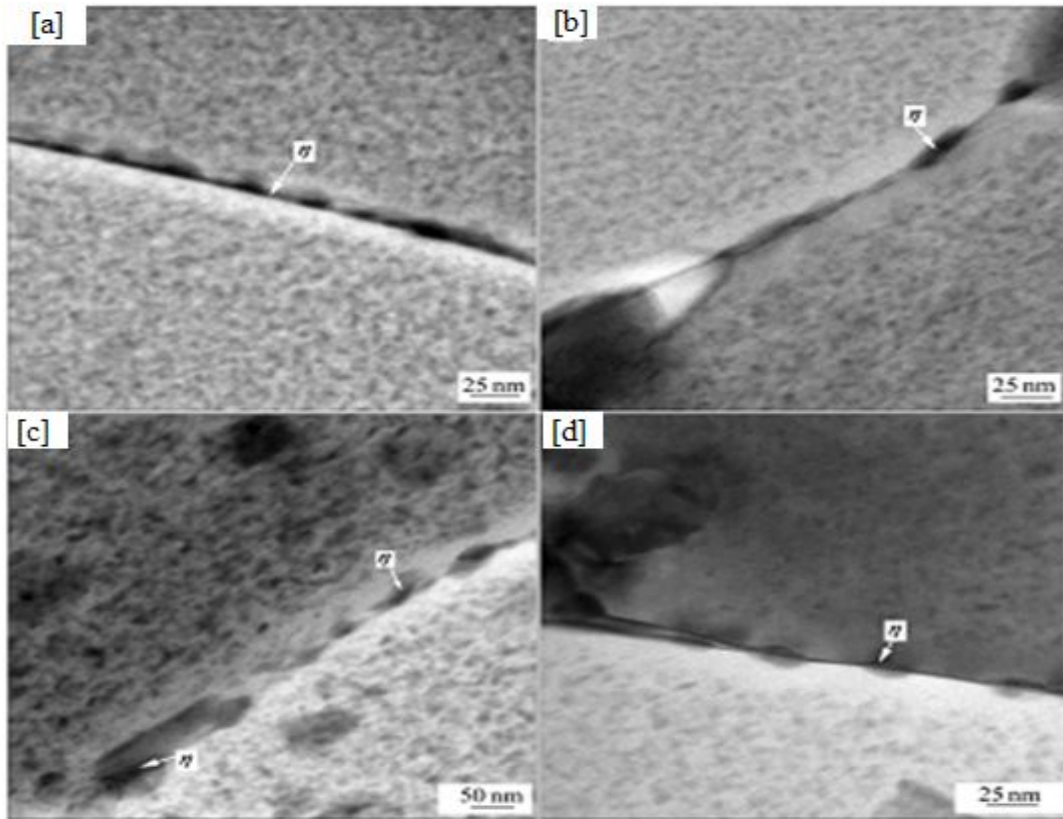
Şekil 4.2 b ve c'de SAD deneyi  $[110]_{Al}$  ve  $[112]_{Al}$  projeksiyonu boyunca alınmıştır.  $\eta'$  ve  $\eta$  fazında elde edilen SAD desenlerin analizleri fazlardan potları vardır ve yeniden çözülmeye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi ile öncelikli olarak mikroyapıda  $\eta'$  fazının ve  $\eta$  fazının etkili olduğu anlaşılmaktadır. Bundan dolayı yeniden çözülmeye alma ve yeniden yaşlandırma işleminin dayanım mekanizmasının  $\eta'$  fazı ve  $\eta$  fazı dayanımlılığı beraberce gerçekleşmektedir. T6 yaşlandırma ısıtılması sonucunda tane sınırı çökeltilerine ve yarı devamlı dağılım göstermektedir. T7 ve yeniden çözülmeye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan malzemelerde tane sınırı çökeltilerinin kaba ve denli bir dağılım göstermektedir [40].





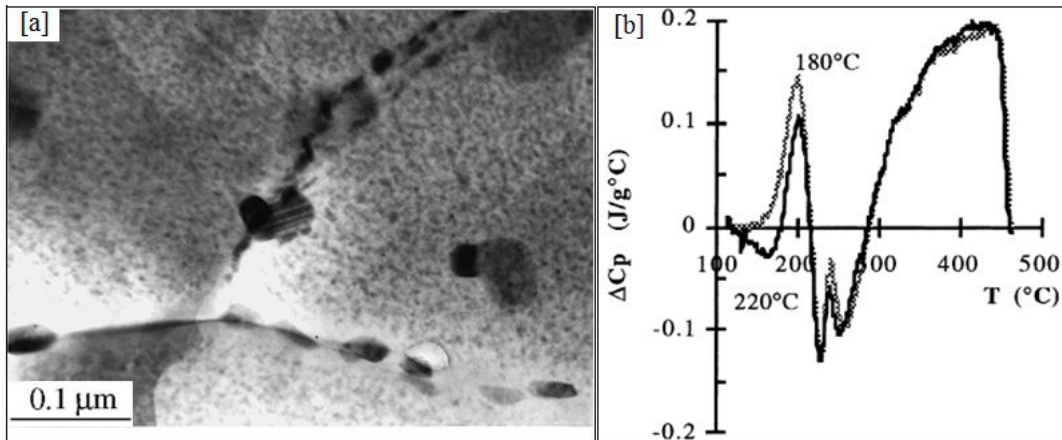
Şekil 4.2. a) RRA işlemi ile yaşlandırılan numunenin TEM görüntüsü, b) SAD paterni  $[110]_{Al}$ , c) SAD deseni  $[112]_{Al}$  [40]

Başka bir çalışmada [41] tane sınırı boyunca TEM görüntüleri çalışılmış ve Şekil 4.3'de verilmiştir. Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımının T6, RRA, T73 ve HTPP (yüksek sıcaklıkta ön çökelme) yaşlandırma işlemi uygulanmış malzemelerin tane sınırı görüntüleri incelenmiştir. T6 yaşlandırma işlemi yapılan numunede tane sınırında  $\eta$  fazı çökeltileri devamlı olarak dağıldığı Şekil 4.3 a'da görülmektedir. Birçok çalışmada benzer sonuçlar elde edilmiştir [41-45]. Daha önce bahsedildiği gibi bu fazın gerilmeli korozyon çatlağı oluşmasına karşı direncini arttırmaktadır.



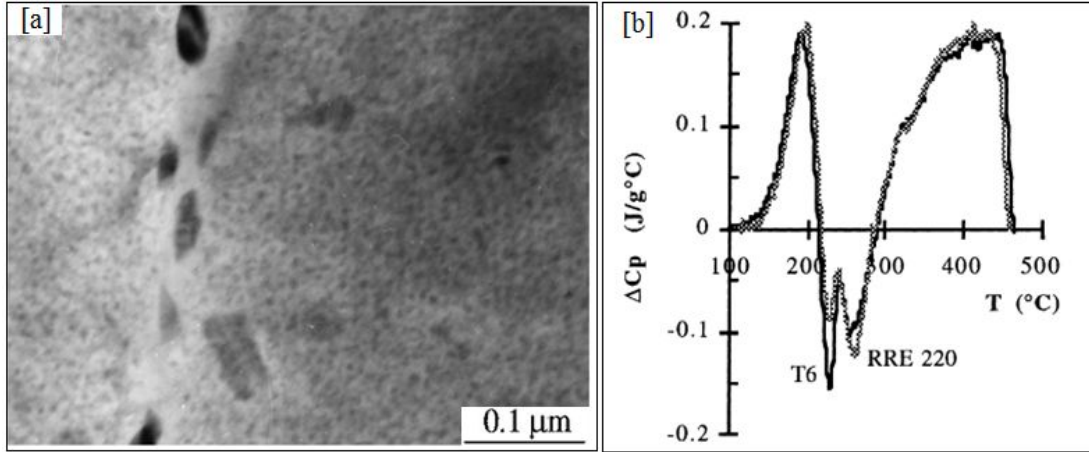
Şekil 4.3. 7075 alüminyum alaşımlarına uygulanan a) T6, b) RRA, c) T73 ve d) http [41]

Başka bir çalışmada [46] yeniden çözeltilmeye alınan numunelerin mikroyapılarının tane içerisindeki çökeltilerin T6 ısıl işlemine maruz bırakılan numunelerin mikroyapısına benzediğini, ancak tane sınırlarındaki çökeltilerin kaba olduğu ve T7 ısıl işlemine maruz bırakılanlara çok benzediği ileri sürülmektedir. 200°C’de yeniden çözeltilmeye alınan numunenin TEM mikroyapı görüntüsü Şekil 4.4’de görülmektedir. Çözeltilmeye alınan numunelerin DSC (diferansiyel taramalı kalorimetre) analizlerinde davranışları yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığına bağlı olduğu ileri sürülmektedir. Şekil 4.4’de görüldüğü gibi yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı 180°C’den yüksek olan numunelerde ilk ekzotermik piki T6 işleminden alınandan 10°C daha düşük olduğu ve sonraki piklerde 10°C yüksek olduğu görülmektedir. Bu iki kalorimetrik görünüşü yeniden çözeltilmeye alma esnasında daha az kararlı çökeltilerin çözülme prosesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu çökeltiler GP zonları ve daha ufak olan  $\eta$  faz partikülleridir. Katı çözeltideki aşırı çökeltme DSC çalışmasında yeniden çökeltme olarak oluştuğunu göstermektedir. Küçük ekzotermik piki  $\eta$  fazının yeniden çözülme esnasında mikroyapıda kalmasını işaret etmektedir. Yeniden çözeltilmeye alma işleminden sonra mikroyapıda kalması oldukça kararlı faz olmasından kaynaklanmaktadır. Çözülme piki yüksek sıcaklıklarda yer değiştirmesi T6 ısıl işlemine göre daha küçük entalpi değerleri vermesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Yeniden çözeltilmeye alma işleminin 180°C’den daha düşük veya eşit olduğunda DSC eğrileri T6 ısıl işlemine işlemlenilen parçalara uygulanan DSC eğrileri ile aynı olduğu gözlemlenmiştir. Yeniden yaşlandırma tane içerisinde çok yoğun çökeltilerin oluşmasını amaçlamaktadır. Ancak tane sınırlarında çökeltilerin büyüme işlemi devam etmektedir. Bu büyüme yeniden çözeltilmeye alma esnasında başlamaktadır.



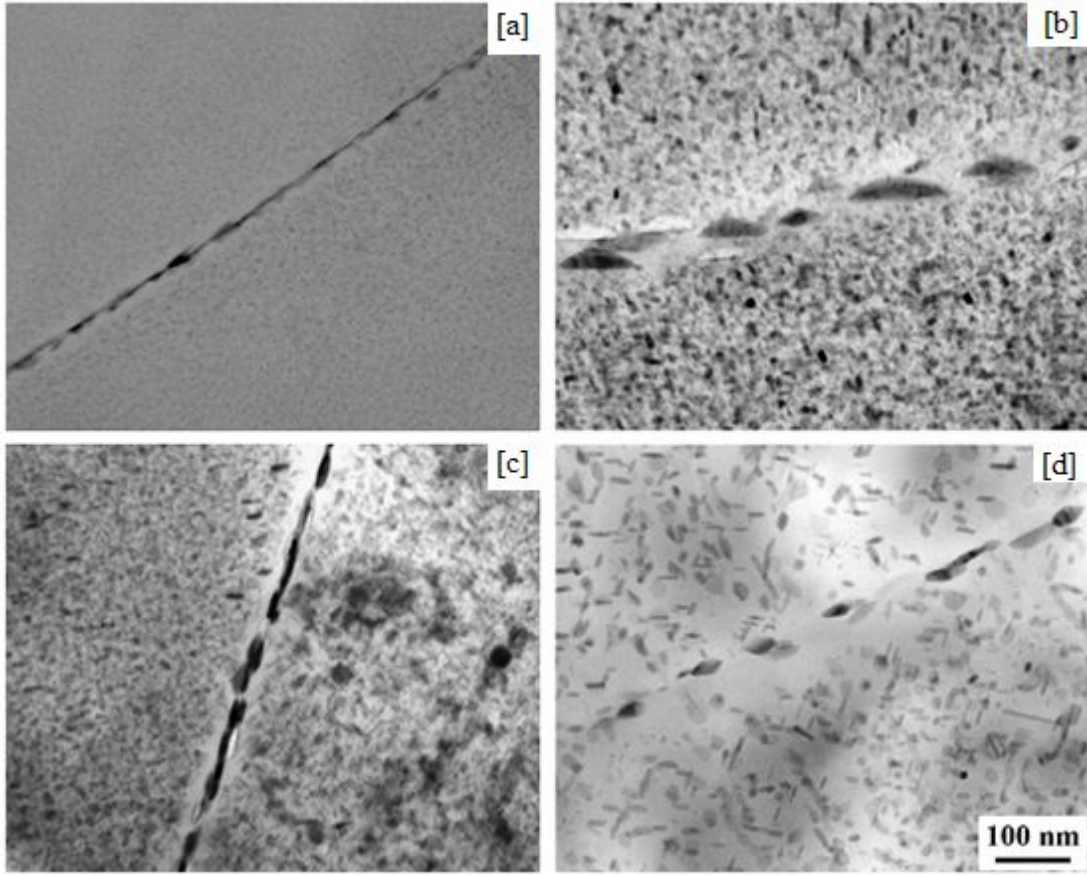
Şekil 4.4. a) 200°C’de yeniden çözeltilmeye alınan malzemenin TEM görüntüsü, b) 180 ve 220°C’de yeniden yaşlandırılan malzemenin kalorimetrik değişimi [32]

Şekil 4.5 a) incelendiğinde yeniden çözeltiliye alma ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulandığında tane içerisinde çökelti yoğunluğunun artması amaçlanmaktadır. Fakat tane boyutlarındaki yeniden çözeltiliye alma işlemi sırasında oluşan çökeltilerin boyutu artmaya devam etmektedir. Yeniden çözeltiliye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi mikroyapısı T6 ısıtma işlemi gören malzemenin mikroyapısına benzemektedir. Ancak tane içerisinde çökeltilerin biraz daha kabadır. Buna karşın tane sınırındaki çökeltiler oldukça farklı olup daha çok aşırı yaşlanmış T7 ısıtma işlemi uygulanan malzemelerin yapısına benzemektedir. Daha önce yapılan SAD paternlerinin analizinde  $\eta'$  faz çökeltilerinin yeniden yaşlandırma işlemi esnasında oluştuğunu göstermektedir. Park ve Ardell'e [44] göre yeniden yaşlandırma işlemi esnasında  $\eta'$  fazı oluşmakta ve onların kaba tanecikli  $\eta$  fazına dönüşmektedir. Başka bir çalışmada benzer mikroyapı görüntüleri elde edilmektedir [46, 48]. Yeniden çözeltiliye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi mikroyapısı ve T6 ısıtma işlemi gören malzemelerin tane içindeki mikroyapısına benzemekte, tane sınırındaki mikroyapısı da daha çok T7 ısıtma işlemi görmüş malzemelerin mikroyapısına benzemektedir [32]. Şekil 4.5 b) incelendiğinde Kalorimetrik eğrileri yeniden çözeltiliye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi gören malzemenin eğrileri T6 ısıtma işlemi gören malzemenin eğrilerine benzemektedir. Entalpi ilk endotermik pik entalpiyle ilgili olarak yüksek ve T6 işlemindekine benzemektedir. Yeniden yaşlandırma esnasında entalpide yükselme elektron dağılımı ile gözlenen çökeltme prosesinin sonucuyla direkt olarak ilgilidir. Farklılıklar T6 ısıtma işlemi ile olan malzemelerde bulunmuş, ekzotermik bölgelerin içerisinde olup entalpi  $\eta$  fazı ile ilgili ve düşük olmaktadır. Bu durumda yüksek miktarda çökeltiyi işaret etmektedir. Yeniden çözeltiliye alma sıcaklığı yükseldiğinde entalpi değerleri düşük olmaktadır.



Şekil 4.5. a) 180°C'de yeniden çözeltilmiş malzemenin TEM görüntüsü, b) T6 ve 220°C'de yeniden çözeltilmiş ve yeniden yaşlandırılan malzemelerin kalorimetrik değişimi [32]

Bu durum hacimsel olarak yüksek oranda  $\eta$  fazını işaret etmekte, böylece yüksek yeniden çözeltilme sıcaklıklarında ve yeniden yaşlandırma sonrasında daha dengeli bir yapı oluştuğu görülmektedir. Wang vd. çalışmasında [46] elde edilen 7050 alüminyum alaşımının çeşitli ısı işlemleri sonucunda elde edilen tane sınırı çökeltileri Şekil 4.6'da verilmektedir. Şekil 4.6 a incelendiğinde T6 ısı işleminin sonucunda çökeltiler küçük dağılımı devamlıdır. Fakat T76 ısı işleminin uygulanan numunenin tane sınırında aralıklı ve iri taneli olduğu Şekil 4.6 b'de görülmektedir. Önceki çalışmalar bu durumu desteklemektedir [46, 47]. Yüksek sıcaklıklarda bir süre tutulup suda soğutulan % 5 oranında gerilmeye tabi tutulan ve sonrasında 200°C sıcaklığında yeniden çözeltilmiş ve 120°C'de yaşlandırılan numunenin görüntüsü Şekil 4.6 c'de görülmektedir. T6 ısı işleminin gördüğü numunenin tane sınırı çökeltilerine kıyasla çökeltilerin biraz daha geniş ve taneler arasındaki mesafenin T6 ısı işlemine göre daha uzun olduğu görülmektedir. 200°C'de yaşlandırma süresinin artması ile beraber tane sınırı çökeltileri daha geniş ve aralıklıdır. Ancak, çökeltilerin T76 ısı işleminin gördüğü numunelerinkine göre daha küçüktür. Daha küçük ve orantılı dağılım tane sınırı çökeltilerinin numunenin tokluğu açısından faydalı olduğu belirtilmektedir [46,48]. % uzama miktarı da uzun süreli yeniden çözeltilme işlemi uygulanan numunelere göre daha fazladır (Şekil 4.6 d).

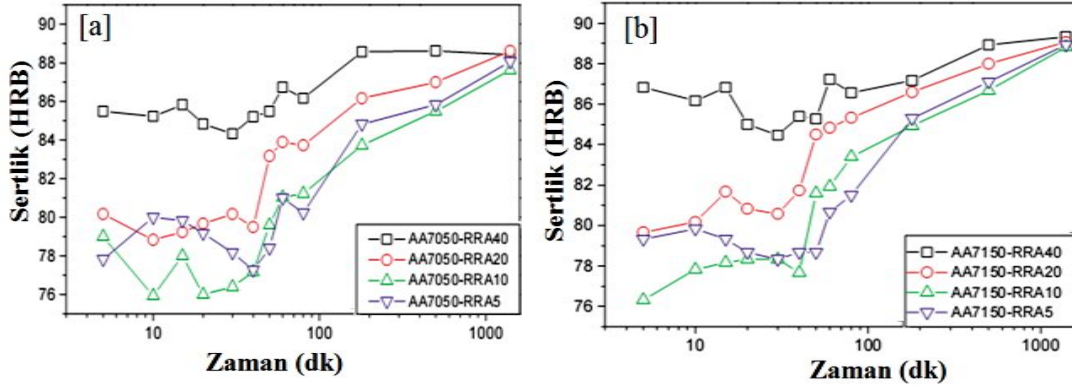


Şekil 4.6. a) T6, b) T76, c) HTA1, d) HTA5 ısıl işlemleri uygulanan malzemelerin TEM görüntüsü [46]

## 4.2. 7075 Alüminyum Alaşımlarının Mekanik özellikleri

### 4.2.1. Sertlik değerleri

Oliveira vd'nin [49] 7050 ve 7150 alüminyum alaşımlarının çeşitli sıcaklıklarda yeniden çözeltilme ve sonrasında yeniden yaşlandırma işleminden sonra elde ettiği sertlik değerleri Şekil 4.7'de verilmektedir. Sertlik değerleri incelendiğinde yeniden çözeltilme süresi arttıkça her iki malzeme içinde sertlik değerlerinde artma görülmektedir. Malzemenin kimyasal içerikleri farklı olmasına rağmen sertlik değerleri benzer bir eğilim sergilemektedir. Maksimum sertlik değerleri her iki malzeme için 20-40 dk yeniden çözeltilme alınan numunelerde elde edilmiştir. Bu durum önceden yapılan çalışmalardan farklı olduğu görülmektedir [50-52].

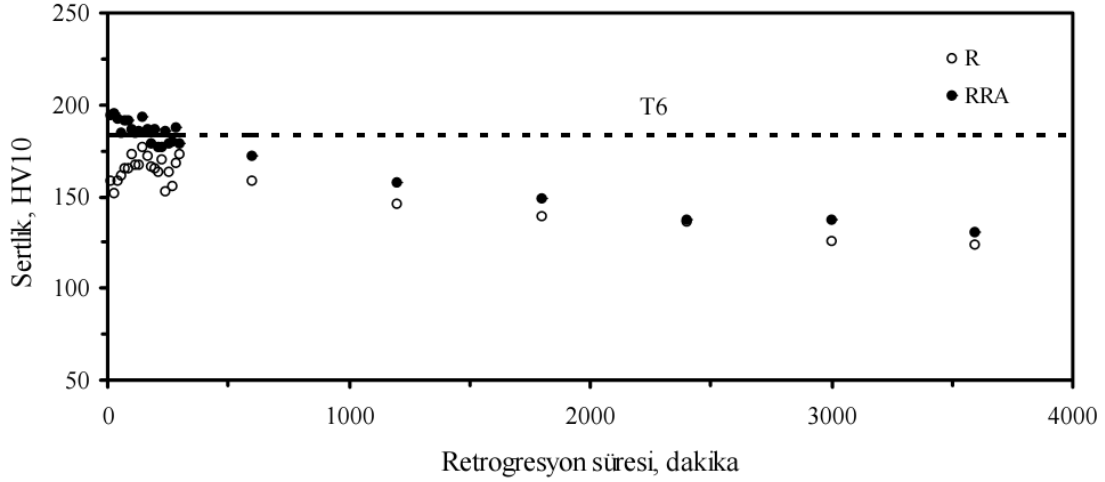


Şekil 4.7. 5, 10, 20 ve 40 dk süre ile yeniden çözültüye alınan a) 7050, b)7150 alaşımlarının sertlik değişimi [49]

Bazı çalışmalarda ise [11, 19] farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözültüye alınan yeniden yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri Şekil 4.8’de verilmektedir. Burada en yüksek sertlik yeniden çözültüye alma işleminden sonra 7075 alüminyum alaşımının sertlik değerleri önce azalmakta ve daha sonra yeniden çözültüye alma süresinin artması ile yeniden artmaktadır. Ancak, daha uzun sürede yapılan yeniden çözültüye alma işlemine bağlı olarak malzemenin sertlik değerlerinde azalma görülmektedir. En düşük sertlik değerleri 220°C 30 sn’de gerçekleştirilen yeniden çözültüye alma işleminden sonra elde edilmiştir. Yeniden çözültüye alma işlemi esnasında en yüksek sertlik değeri 150 sn süre ile yapılan yeniden çözültüye alma işlemi sonrasında elde edilmiştir. Elde edilen bu değer T6 ısıl işlemi uygulanan alaşımın sertliğinden daha düşüktür. 220°C yeniden çözültüye alma sıcaklığında sürenin artması ile sertlik değerlerinde azalma görülmektedir. RRA işlemi uygulanan 7075 alaşımında yeniden çözültüye süresine bağlı olarak sertlik değerlerinin değişimi önceki çalışmalarla da benzerdir. Ancak, bu çalışmada ince kesitli malzemeler kullanılmıştır. Yeniden çözültüye alma süresine paralel olarak sertlik değerlerindeki azalma mikroyapı içerisindeki GP zonları veya  $\eta'$  fazının çözünmesi ile açıklanmaktadır. Minimum sertlik değerlerinin elde edildiği süre maksimum çözünmenin meydana geldiği yeniden çözültüye alma süresine karşılık gelmektedir [43].

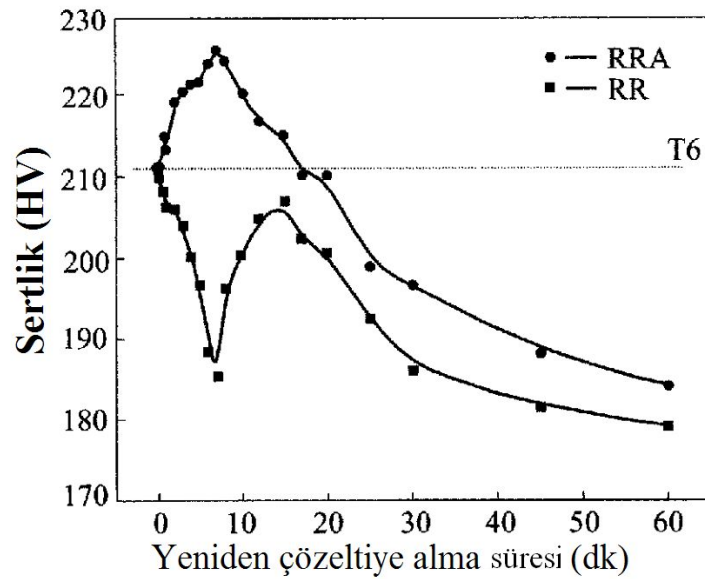
7075 alüminyum alaşımında GP zonları ( $\eta'$  fazları) sertliği arttırmakta ve bu fazların çözünmeleri ise sertlik değerlerini düşürmektedir. Belli bir yeniden çözültüye alma süresinden sonra sertlik değerlerinin yükselmesi ise  $\eta'$  fazının oluşmasına bağlıdır.

Yeniden yaşlandırma esnasında  $\eta'$  maksimum oranda oluşmakta ve yapı içerisindeki çökelti partikül miktarı artarak sertlik değerlerini yükselmektedir. Yeniden çözeltiye alma süresinin artması ile tane içerisinde ve tane sınırındaki çökeltilerin kabalaşması sonucu sertlik değerleri azalmaktadır. Bu durum bazı çalışmalar ile de desteklenmektedir [10, 11, 51, 52].



Şekil 4.8 Yeniden çözeltiye alma ve yeniden çözeltiye alınıp yeniden yaşlandırılan alüminyum 7075 alaşımının yeniden yaşlandırma süresine bağlı olarak değişimi[11]

FENG vd'nin [52] yapmış olduğu çalışmada 200°C'de farklı sürelerde yeniden çözeltiye alınan numune ile yeniden yaşlandırma sonrası sertlik değerlerinin değişimi Şekil 4.9'da verilmektedir. Başlangıçta dayanımda hızlı bir düşüş ve daha sonra ikinci pikte yükselme ve sonrasında tekrar düşme görülmektedir. Yeniden çözeltiye alma işlemi ile kıyaslandığında yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işleminde ise bu durum iki aşamalı gerçekleşmektedir. İlk aşamada sertlik artmakta (T6'dan değerlere ulaşmakta) ve daha sonra yeniden çözeltiye alma süresine bağlı olarak da azalmaktadır [52].



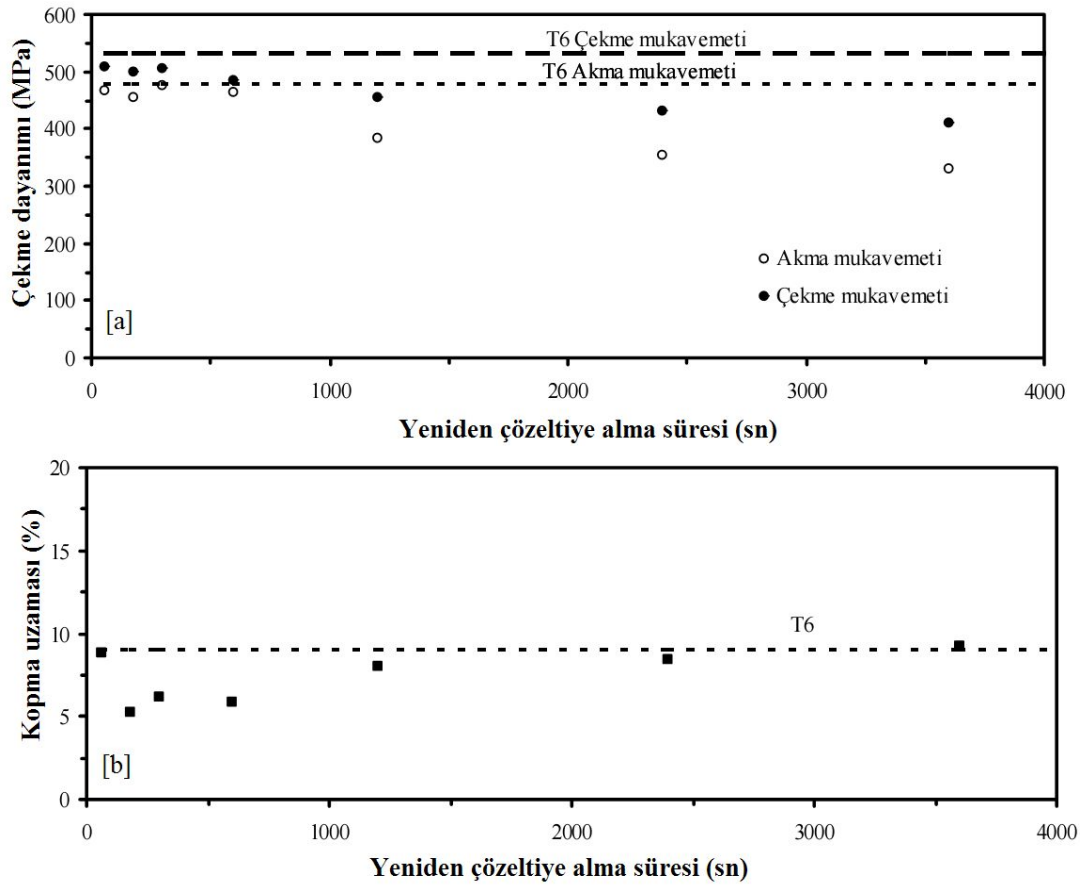
Şekil 4.9 200°C'de yeniden çözeltiye alma ve yeniden çözeltiye alma yeniden yaşlandırma işlemi yapılan 7xxx serisi alüminyum alaşımının sertlik değişimi [52]

#### 4.2.2. 7075 Alüminyum alaşımlarının çekme dayanımı

7075 alüminyum alaşımına uygulanan yeniden çözeltiye alma süresine bağlı olarak akma, çekme ve kopma uzamasının değişimi T6 ısıl işlemi uygulanan malzemelerle karşılaştırmalı olarak Şekil 4.10'da verilmektedir.

7075 alüminyum alaşımlarına yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi sonucu 10 dk'dan kısa yeniden çözeltiye alma sürelerinde akma mukavemeti T6 işlemi uygulanan numunenin akma mukavemetine göre hemen hemen aynı değerlere sahiptir. Yeniden çözeltiye alma süresi arttıkça akma mukavemeti düşmektedir. Çekme mukavemeti genellikle akma mukavemetine benzer bir davranış göstermekte yeniden çözeltiye alma süresine bağlı olarak da düşmektedir. Bu değerler sertlik ölçümleri ile uyumludur ve nedenleri aynı şekilde açıklanabilir. Mikroyapısal dönüşümler alaşımın sertlik ve mukavemetini benzer yönde etkilemektedir. Kopma uzaması sonuçlarına bakıldığında yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma sonucu alaşımların sünekliliği kısa süreli yeniden çözeltiye alma durumunda bir miktar düşmekte, sürenin artışına paralel olarak kopma uzaması değerleri görülmektedir [11].



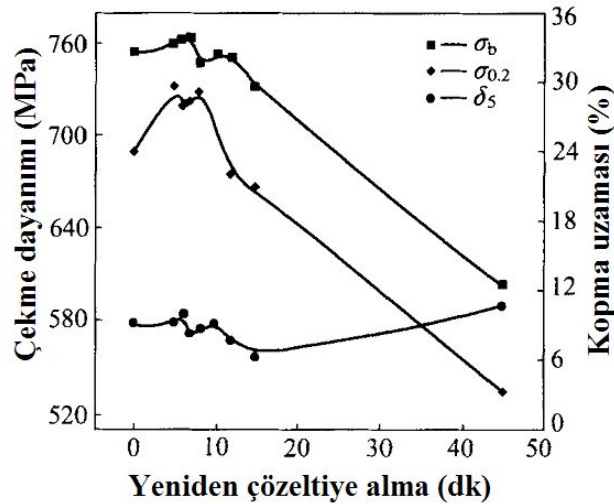


Şekil 4.10. Yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırılan 7075 alaşımının, a) akma ve çekme dayanımı, b) kopma uzaması değişimi [11]

Başka bir çalışmada [53], çeşitli sıcaklıklarda ve aşamalarda yaşlandırma yapılan alaşımların akma dayanımı, maksimum çekme dayanımı ve %kopma uzamaları Tablo 4.1'de verilmektedir. Maksimum çekme  $100^{\circ}\text{C}$ 'da 48 saat ısıl işlem gören numunelerden elde edilmiştir. Fakat bu işlem sonrasında % kopma uzaması miktarı diğer ısıl işlemlere göre herhangi bir düşüş gözlenmemiştir. Üç aşamalı yaşlandırma prosesinde  $100^{\circ}\text{C}$ , 24 saat +  $200^{\circ}\text{C}$ , 7 dk +  $100^{\circ}\text{C}$ , 24 saat yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerde daha yüksek çekme dayanımı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bu durum RRA şartlarının ön yaşlandırma şartlarına kıyasla daha iyi olduğunu göstermekte ve bu durumda iyi % uzama değerleri elde edilmekte ve Şekil 4.11 verilmektedir [53].

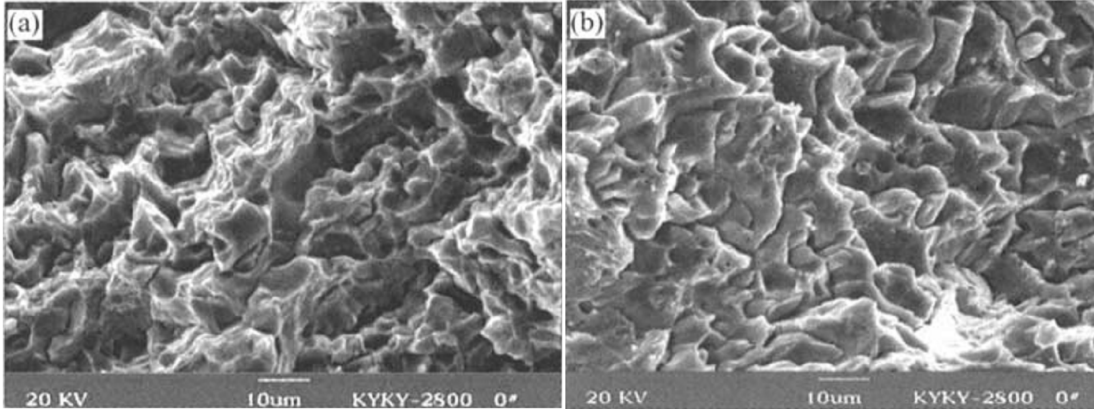
Tablo 4.1. Üç farklı yaşlandırma yapılan alaşımların çekme, akma dayanımı ve kopma uzaması değişimi [53]

Alaşım numarası	Yaşlandırma	Çekme dayanımı (MPa)	Akma dayanımı (MPa)	Kopma uzaması (%)
1	120°C,24 saat	665	617	11,4
2	100°C,24saat	770	733	9,1
	100°C,48saat	778	741	9,3
3	100°C,24saat	727	655	9,8
	100°C,80saat	754	689	9



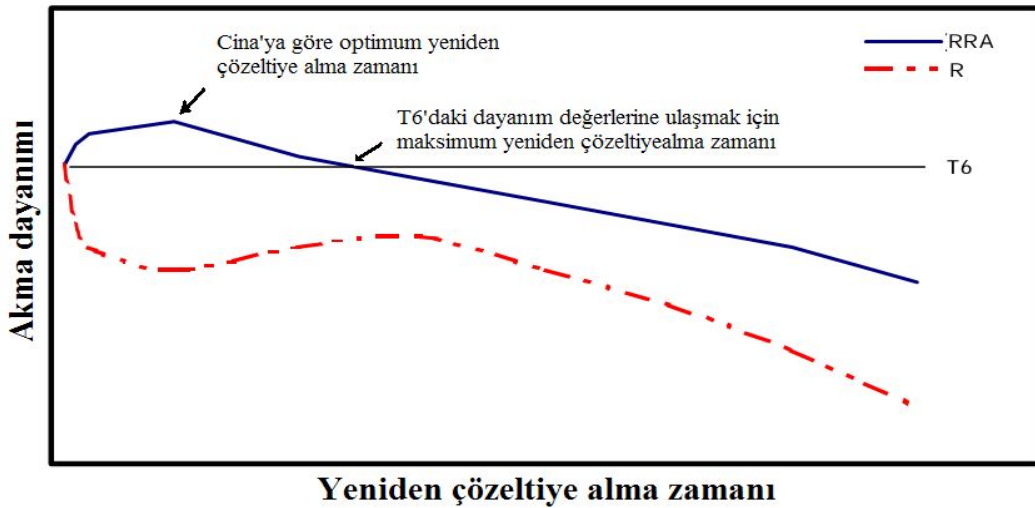
Şekil 4.11. 200°C'da yeniden çözültüye alınan üç farklı yaşlandırma işlemi yapılan malzemelerin çekme dayanımı ve % uzama değerleri değişimi [53]

Feng vd [52] tarafından yapılan çalışmada T6 ve RRA ısıtma işlemi çekme dayanımı sonrası elde edilen malzemelerin kırılma yüzeyi görüntüleri Şekil 4.12'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde iki tip kırılma mekanizması olduğu görülmektedir. Taneler arası ve tane içinde kırılma şeklinde gerçekleşmiş ve bu iki tip kırılma mekanizması fiber şeklinde sünek kırılmayı temsil etmektedir. Malzemenin içerisinde birçok küçük oyukların olduğu görülmektedir. Daha çok kristal kırılmalar ve küçük oyuk kırılmaları oluşmaktadır. Tane sınırlı kırılmalar içerisinde oyuk yapı içerisindeki ikinci fazlar nedeniyle oluşmaktadır. Alaşımın kırılma davranışı çözülmemiş kaba fazın azalması nedeniyle ve çökelen fazın artması sonucu gerçekleşmiştir. Çökelen fazın artması neticesinde akma dayanımının artmasına neden olmaktadır [52].

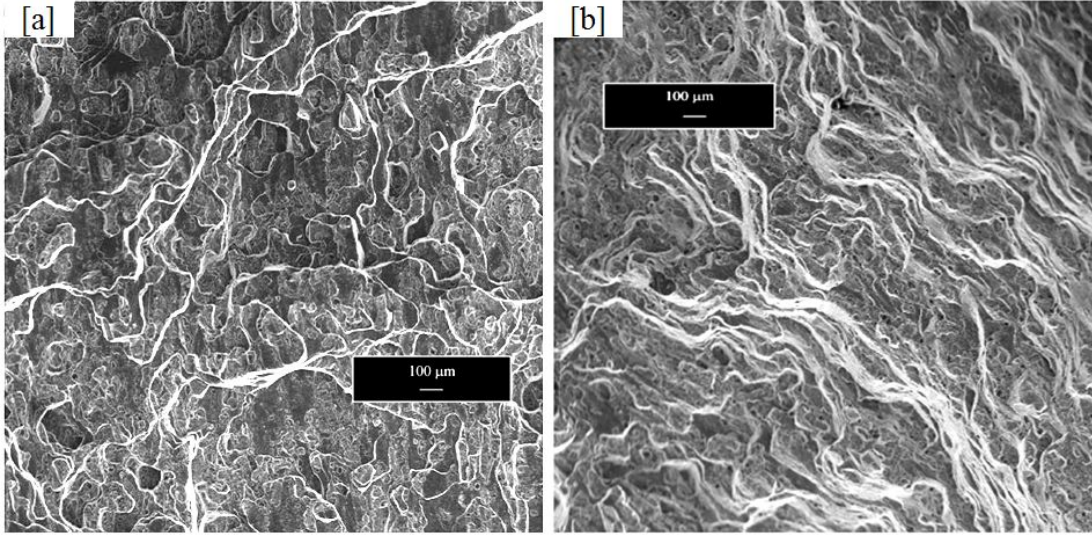


Şekil 4.12. a) T6 ve b) RRA ısı işlemleri sonrasında numunelerin çekme deneyi sonucunda elde edilen kırılma yüzeyleri SEM görüntüsü [52]

Ferrer tarafından hazırlanan bir raporda [7], Şekil 4.13'de 7xxx serisi alüminyum alaşımının akma dayanımı, yeniden çözeltilme zamanına bağlı olarak verilmiştir. Yeniden çözeltilme alma işlemi, T6 ısı işlemi ile karşılaştırıldığında malzemenin dayanımının düşmesine neden olduğu görülmektedir. Park ve Ardell' göre [44], akma gerilmelerindeki azalma  $\eta'$  çökeltilerinin çözülmesinden kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak dayanımdaki artış  $\eta'$  çökelti fazının kısmi olarak çökmesi sonucu oluşur. Çökelen partiküllerin irileşmesi malzemenin dayanımını düşürmektedir. Yeniden çözeltilme alma işlemi aynı nedenle yapılmaktadır. Dayanımdaki artış  $\eta'$  fazının çekirdeklenmesi ve büyümesi nedeniyle olmaktadır [7]. Şekil 4.14 a ve b'de T6 ve RRA ısı işlemi görmüş malzemenin kırılma yüzeyleri görülmektedir.



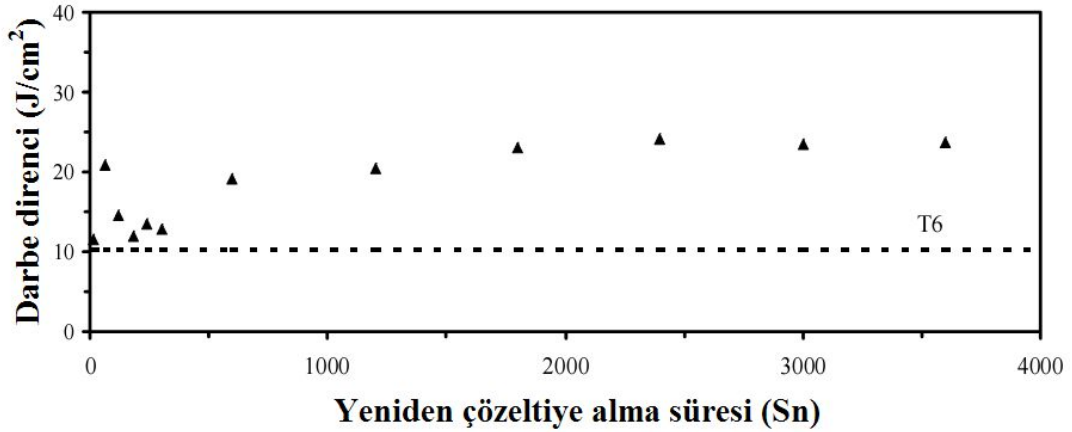
Şekil 4.13. Yeniden çözeltilme alma ve yeniden yaşlandırma (RRA) ve yeniden çözeltilme alma (R) işlemi yapılan malzemelerin akma dayanım değerlerinin yeniden çözeltilme zamanına bağlı değişimi [7]



Şekil 4.14. a) T6, b) RRA ısııl işlemi uygulanan malzemelerin kırılma yüzeylerinin SEM görüntüsü [7]

#### 4.2.3. 7075 Alüminyum Alaşımlarının Darbe direnci

Darbe deneyleri sonuçları yeniden çözeltiye alma sürelerine bağlı olarak ve T6 ısııl işlem durumundaki alaşıımın spesifik darbe direnci ile karşılaştırılması Şekil 4.15’de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi darbe direnci düşük yeniden çözeltiye alma sürelerinde düşmektedir ancak bu değer T6 ısııl işlemi uygulanan numuneye kıyasla daha yüksektir. Yeniden çözeltiye alma süresi arttıkça, malzemenin darbe direnci de artmaktadır. Darbe direncinin yeniden çözeltiye alma sürelerine paralel olarak artması, gerçekleştirilen aşırı yaşlanma ile ilgilidir. Bu durum önceden benzer konularla yapılan araştırmalarda elde edilen sonuçlarla da desteklenmektedir [11].



Şekil 4.15. Yeniden çözeltiye alma sürelerinin darbe direnci değişimi [11]

Tablo 4.2’de farklı ısıl işlemleri sonucunda sertlik, akma, çekme ve darbe direnci özellikleri karşılaştırılmıştır. RRA işlemindeki sertlikle T6 ısıl işlemine göre sertlik kıyaslandığında RRA işlemi sertliği arttırmaktadır. Ancak akma ve çekme dayanımlarında bir miktar azalma meydana geldiği görülmektedir. RRA işlemi uygulanan numunelerde kopma uzamaları aynı olurken darbe direncinde T6 ısıl işlemine göre %100’den daha yüksek oranda artış sağlandığı görülmektedir [11].

Tablo 4.2. T6 ve RRA ısıl işlemi uygulanan malzemelerin mekanik özellikleri değişimi [11]

Mekanik özellik	T6	RRA	% değişim
Sertlik Hv <sub>10</sub>	183	195	6,6
Akma mukavemeti MPa	479	467	-2,5
Çekme mukavemeti MPa	532	507	-4,7
Kopma uzaması %	9	9	-
Darbe direnci J/cm <sup>2</sup>	10,2	20,8	104

#### 4.2.4. Aşınma Davranışları

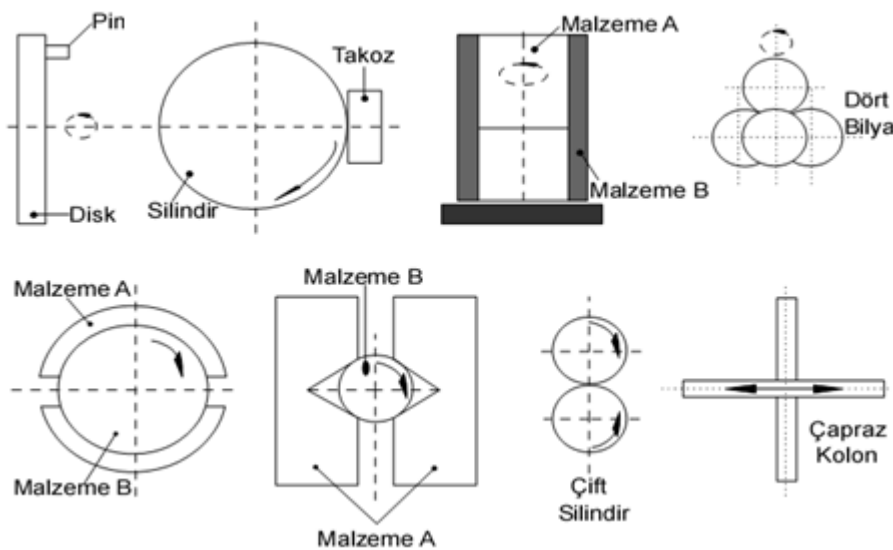
Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenlere bağlı olarak meydana gelen malzeme kaybıdır. Birbiriyle temas halindeki iki cisim arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir. Bu şekilde, yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon tam olarak yerine getirilemez.

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve karmaşık bir sistem özelliği gösteren aşınma, korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenle araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji ve malzeme israfı da önlenmiş olur [26, 54, 55 ].

Triboloji, “bir izafi hareket içinde bulunarak birbirlerine etki eden yüzeylerin ve bunlarla ilgili olayların bilimi veya tekniği” olarak tanımlanmaktadır. Triboloji;

sürtünme, aşınma ve yağlamının bilimsel incelenmesini ve tribolojik bilgilerin teknik uygulanmasını içermektedir [54, 55].

Aşınmanın gerçek sistemlerde belirlenmesinin zorluğu, bir kısmı standartlaştırılan model cihazların geliştirilmesine yol açmıştır. Model cihazlarda tribo sistemi oluşturan unsurların, gerçek sisteme uygun şekilde oluşturulması, sonuçların tekrarlanabilir olması bu cihazlardan beklenen özelliklerdir. Kayma sürtünme ve aşınma test cihazı modelleri tribolojik prensiplere göre Şekil 4.16’de şematik olarak gösterilmiştir [55, 56].



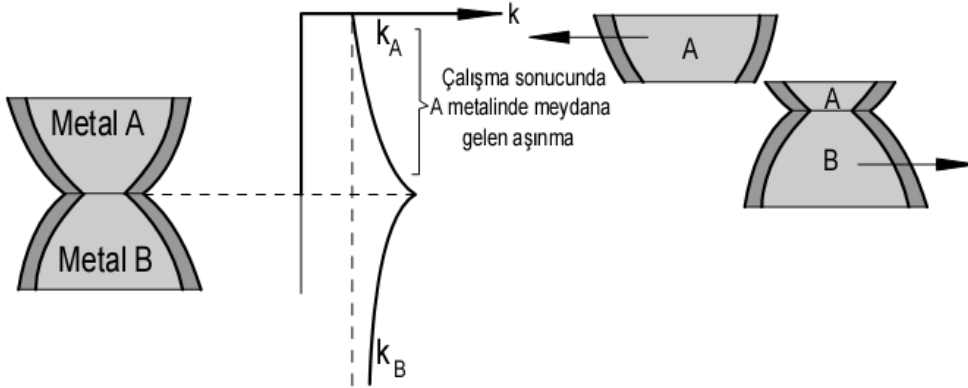
Şekil 4.16 Yağlamalı veya yağlamasız adhesiv (metal-metal) aşınma deney yöntemleri [55]

Kayma, yapışma, ovalanma ve kavrama olarak da bilinen adhezyon aşınması, birbirine temas eden temas yüzeylerinin, bir normal kuvvet etkisi altında izafi hareket yapmaları sırasında görülür. Cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin yüzey pürüzlüğü sebebiyle aslında çok küçük olduğundan, bu noktalardaki gerilmeler çok küçük yük durumlarında dahi akma gerilmesi sınırına erişirler. Bu durumda akarak plastik deformasyona uğramakta ve cisimler birbirine mikro kaynaklar ile bağlanırlar. Bu sırada iki cisim arasında devam eden izafi hareket sebebiyle kaynak bağı kopar. Bu kopma sonucu diğer cisme göre yumuşak olan malzemeden imal edilmiş cismin yüzeyinde boşluklar oluşur. Diğer yüzeydeyse çıkıntılar meydana gelir ve iki yüzey arasına adhezif parçacıklar dökülür [55].

Aşınma hızı yüzeylerin izafi hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Genelde yüksek kayma hızlarında ve büyük yüklerde görülen bir aşınma şeklidir. Cisimlerin etrafındaki gazların aşınma hızına etkisi büyüktür. Karbon dioksitli ve azotlu ortamda aşınma hızı havaya göre oldukça düşmektedir. Yine oksitlenme ve nem sebebiyle oluşan korozyon tabakası da adhezyon hızını önemli ölçüde artırmaktadır [26, 54].

Aşınma hızı yüzeylerin izafi hızına ve normal kuvvete bağlıdır. Genelde yüksek kayma hızlarında ve büyük yüklerde görülen bir aşınma şeklidir. Cisimlerin etrafındaki gazların aşınma hızına etkisi büyüktür. Karbon dioksitli ve azotlu ortamda aşınma hızı havaya göre oldukça düşmektedir. Yine oksitlenme ve nem sebebiyle oluşan korozyon tabakası da adhezyon hızını önemli ölçüde artırmaktadır [26, 54].

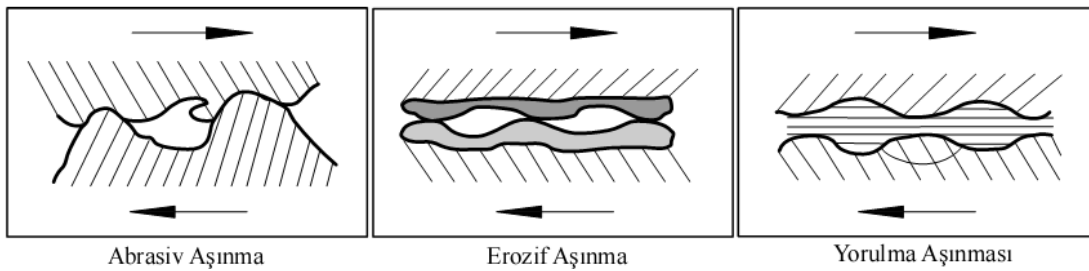
Makine elemanlarının yüzeylerinin sertleştirilmesi aşınmayı oldukça yavaşlatır. Birbirine temas eden makine elemanlarının yüzeylerinden birinin diğerine göre nispeten daha sert olması, adhezyon aşınmasının yumuşak malzemede oluşmasını ve yumuşak malzemenin sert malzeme üzerinde birikimini, dolayısıyla sert parçanın adhezyon aşınmadan korunmasını sağlar [54, 56]. İki ayrı metal yüzeyi basınç altında Şekil 4.17'de görüldüğü gibi bir araya getirildiği zaman, iki ayrı yüzeyde bulunan karşılıklı çıkıntılar gerek sürtünme neticesinde oluşan ısı, gerekse de soğuk kaynaklaşma etkisi nedeniyle birbiriyle bağ yaparlar. Meydana gelen bu bağ, birleşen çıkıntılarının diğer bölgelerindeki bağ yapısından daha kuvvetli olabilir. Yüzeylerin birbirine karşı olarak yaptığı hareketin devam etmesiyle birleşen iki çıkıntı, bağ kuvvetinin en zayıf olduğu noktadan kopacaktır. Bu kopma kaynak noktasında meydana gelmediği zaman, bir yüzeyden diğer yüzeye malzeme transferi meydana gelir. Bu prosesin çalışma koşullarında birçok kere tekrarlanması ile adhesiv aşınma kendisini hissettirecek boyutlara ulaşır [26, 54, 56]



Şekil 4.17. Adhesiv aşınma mekanizması şematik görüntüsü [56]

Abrasiv aşınma, sürtünen iki yüzey arasında dışarıdan giren ya da iki yüzey arasında oksitlenmeden dolayı meydana gelen daha sert bir maddenin yüzeylerde yaptığı hasar olarak ifade edilir. Bu sert maddeler, yüzeylerde taşlama işleminde olduğu gibi bir malzemedен parça kopartılması olayına benzer bir durum sergilerler [56].

Yorulma aşınması, temas yüzeylerinde oluşan küçük çukurcuklar halinde kendini göstermektedir. Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi yuvarlanma hareketi yapan makina elemanlarının yüzeylerinde oluşur ve zamanla yorulma sonucu zararlı hale gelir. Elastik ve plastik olayların devam etmesi sonucu mikro çatlaklar meydana gelerek çatlak büyümesi sonucunda aşınan parçacıklar kopar. Şekil 4.18'de abrasiv aşınma, erozif aşınma ve yorulma aşınması mekanizmaları gösterilmektedir [56].



Şekil 4.18. Farklı aşınma mekanizmaları [58]

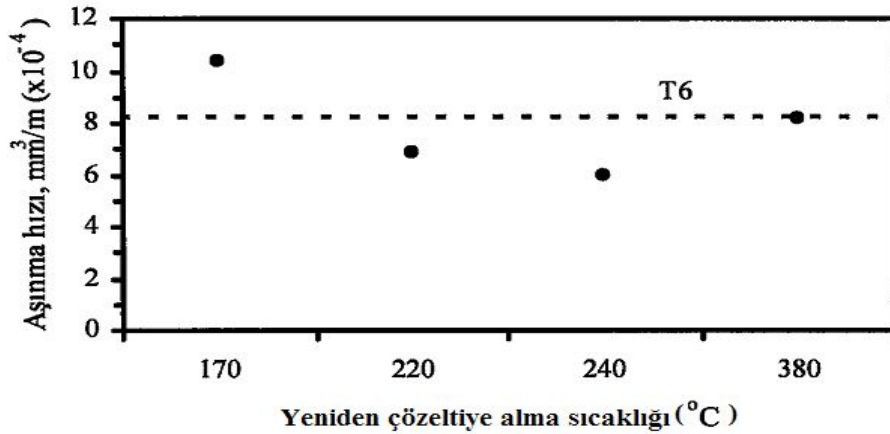
Oyuklanma, bir aşınma mekanizması olarak düşünülmektedir. Metal yüzeyinin yorulması sonucu ortaya çıkan bir hasardır. Çok düşük gerilmeler altında yapılan hızlı uygulamalarda metal - metal yüzeyinde oyuklara benzer birçok boşluk meydana gelebilir. Çatlaklar yüzeyin hemen altında, maksimum gerilmeye ulaştığı zaman



yüzeyin altında bulunan bir boşluk veya inklüzyon köşesi ile birleşerek gerçekleşmektedir. Son teknolojik gelişmelere bağlı olarak çok temiz malzemelerin üretilmesi ile malzemedeki inklüzyon sayısı düşürülmektedir. Çalışmalar inklüzyon dokusunun ve segregasyonların oyuklaşmayı etkilediğini göstermiştir [55]. 7075 alüminyum alaşımları ve çeşitli ısıl işlem gören bu tip malzemelerinin aşınma özellikleri ile ilgili araştırmalar sınırlıdır [11, 19, 21]

#### 4.2.4.1. 7075 alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları

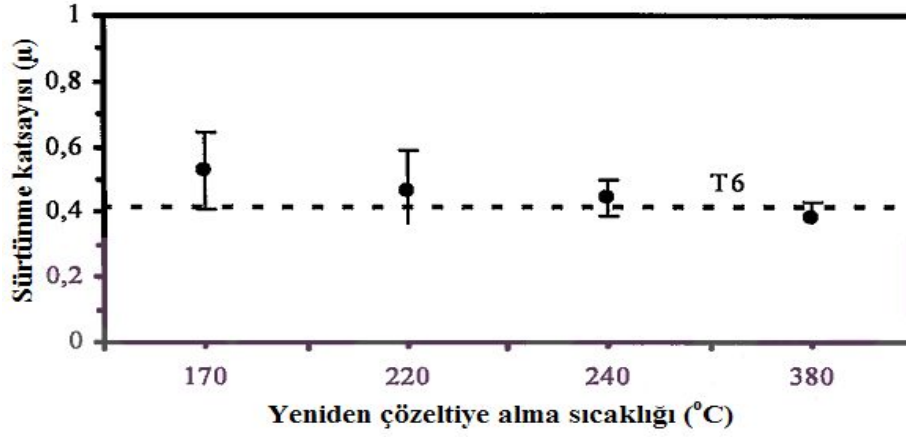
Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımı yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığına bağlı olarak aşınma hızının değişimi Şekil 4.19'da verilmektedir [11]. Şekil incelendiğinde yüksek aşınma hızı 170°C'de yeniden çözeltilmeye alınan ve daha sonra yeniden yaşlandırılan malzemelerde elde edilmiştir. 170°C'den daha yüksek sıcaklıklarda yeniden çözeltilmeye alınan malzemelerin aşınma hızı değerleri T6 ısıl işlemi uygulanan malzemelerin aşınma hızı değerlerinden daha düşüktür.



Şekil 4.19. Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alaşımının kuru ortam aşınma hızının yeniden çözeltilmeye alma süresine bağlı olarak değişimi [11]

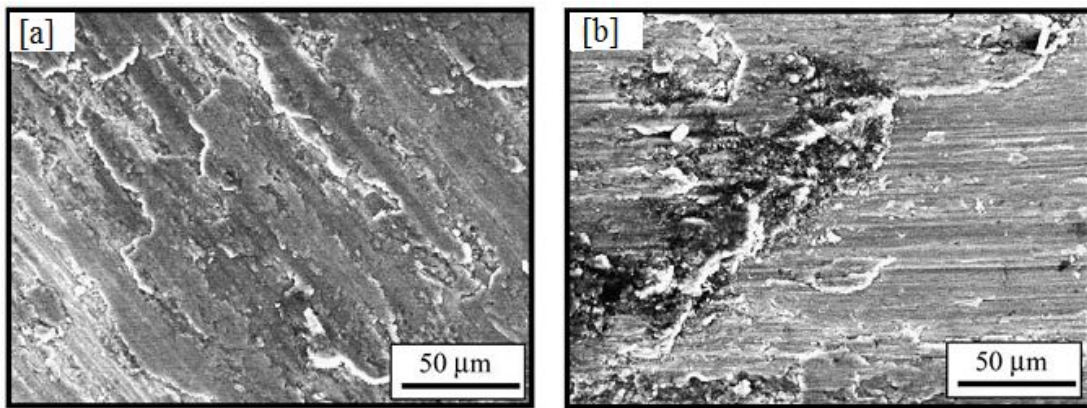
7075 alüminyum alaşımı kuru ortamda uygulanan aşınma deneylerindeki yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığına bağlı olarak elde edilen sürtünme katsayısı Şekil 4.20'de verilmektedir. 170°C ile 240°C sıcaklık aralığında uygulanan yeniden çözeltilmeye alma işlemi uygulanan malzemeler T6 ısıl işlemi uygulanan malzemelerin sahip olduğu sürtünme katsayısı değerlerinden yüksektir. Diğer taraftan 380°C'de yeniden

çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan numunelerin sahip olduğu sürtünme katsayısı T6 ısıtım işlemi gören alaşımlarinkinden daha düşüktür. Aşınma deneyi esnasında kayma mesafesine bağlı olarak aşınma oranları artmaktadır [11, 19]. Uygulanan yük miktarı arttıkça aşınma oranı da artmakta ancak kayma hızı arttıkça da aşınma oranı azalmaktadır [13].



Şekil 4.20. 7075 alüminyum alaşımının yeniden çözeltiye alma sıcaklığına bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi [11]

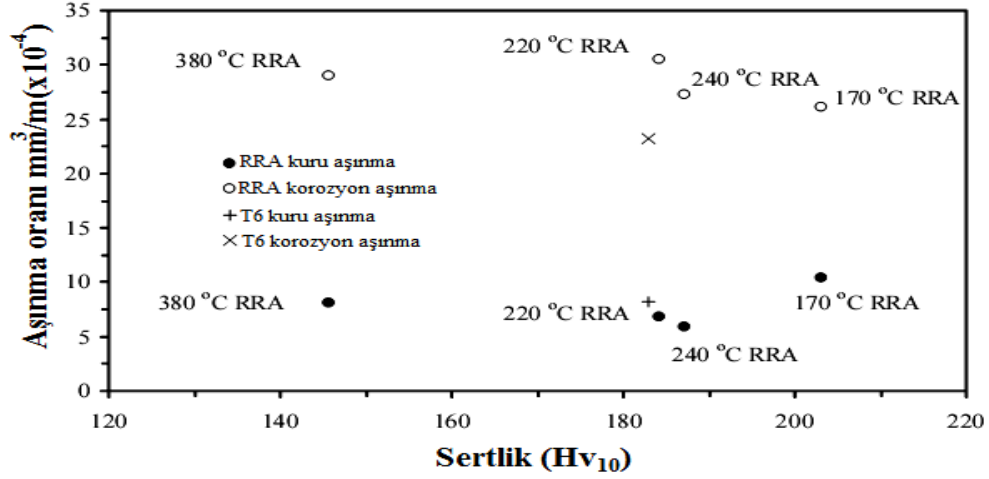
T6 ve 170°C yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan ısıtım işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının aşınma yüzeylerinin görüntüsü Şekil 4.21'de verilmektedir. Aşınma daha çok abrasiv aşınma mekanizması ile gerçekleşmektedir [11,19].



Şekil 4.21. a) T6 ve b) 170°C'da yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan alüminyum 7075 alaşımının kuru aşınması yüzey SEM yüzey görüntüleri [19]

Baydoğan vd [19] yapmış olduğu çalışmada aşınma oranının malzemenin sertliği, darbe direnci ve elektrik iletkenliği ilişkileri de grafik olarak verilmiştir. Burada

örnek olarak yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığına bağlı olarak sertlik ve aşınma oranı arasındaki ilişkiyi Şekil 4.22’de verilmektedir [19].



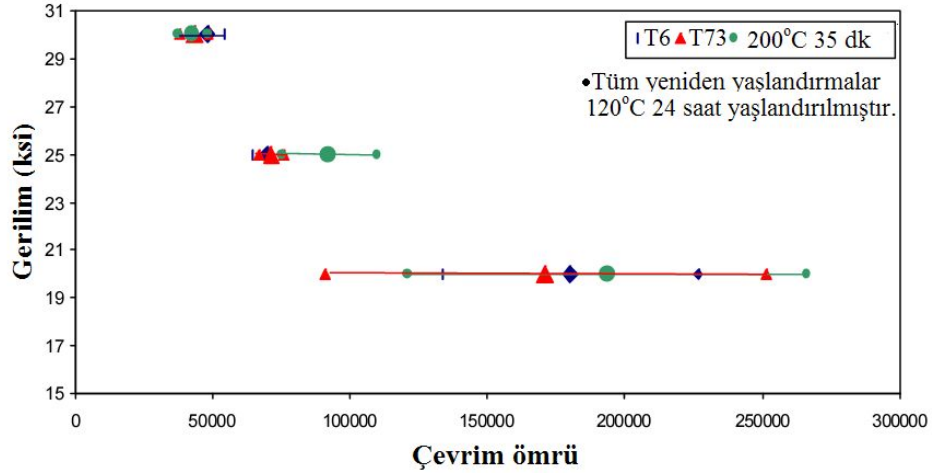
Şekil 4.22 RRA ve T6 ısıl işlemleri uygulanan alüminyum 7075 alaşımının kuru ve korozyon aşınmalarının sertlik ile aşınma oranı arasındaki değişimi [19]

#### 4.2.5. Yorulma Özellikleri

Alüminyum alaşımlarında yapılan yorulma özellikleri diğer malzemelerden farklı ve yaşlanabilir alüminyum alaşımlarında çekme dayanımını çökeltme sertleşmesi sonucunda artması halinde yorulma oranı değerlerinde aynı oranda düşme meydana gelmektedir [11]. RRA ısıl işlemleri uygulanan 7075 alüminyum alaşımının yorulma deneyleri Saçkesen [4] tarafından çalışılmış toplam ömür çatlak ilerlemesi ve çevrim sayısı ile ilişkisi ele alınmıştır. RRA ısıl işlemleri uygulanan malzemelerin ömürleri ısıl işlem görmeyen malzemelere göre daha uzun olduğu, çatlak ilerleme ömürlerinde ısıl işlem ısıl işlem görmemiş malzemelere göre ömür sayısı daha fazladır. RRA işlemleri ile yorulma ömründe ısıl işlem görmemiş numuneye göre 1,2 kat iyileşme sağlanmıştır. Baydoğan ve diğerlerinin [11, 57] çalışmaları da bunu desteklemektedir. Yapılan çalışmada 7xxx serisi alüminyum alaşımlarına uygulanan T73 ve T76 ısıl işlemleri ile alaşımın kırılma tokluğunda artış ve yorulma çatlak ilerleme hızında azalma görülmüştür [11,19].

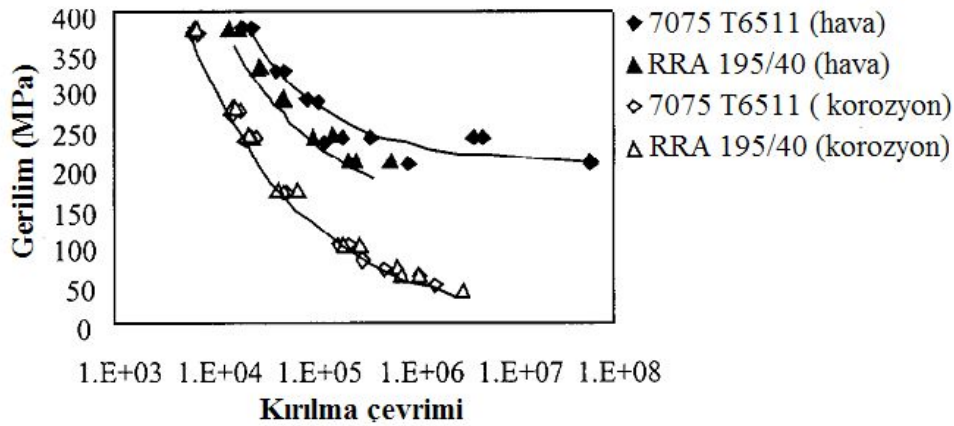
Şekil 4.23’de T6, T73 ve 200°C’de 35dk yeniden çözeltilmeye alma ve 120°C 24 saat yeniden yaşlandırma işlemleri uygulanan malzemelerin gerilim ve kırılma çevrimleri

eğrisi verilmektedir. RRA ısı işleme uygulanan numunelerde ömrün fazla olduğu şekilden anlaşılmaktadır [7].



Şekil 4.23. Farklı ısı işlemler uygulanan alüminyum 7075 alaşımının gerilim yorulma ömrü değişimi [7]

Bu durumu HOLT vd [58] çalışmasında elde ettikleri sonuçlarla desteklemektedir. RRA ısı işleme gören malzeme T6 ısı işleme gören malzemeye göre daha iyi sonuçlar vermektedir. T6 ve 195°C'de 40 saat yeniden çözültüye alınan numune korozyon şartlarından sonra düşük yorulma dayanımı ve yorulma ömürleri Şekil 4.24'de vermektedir.

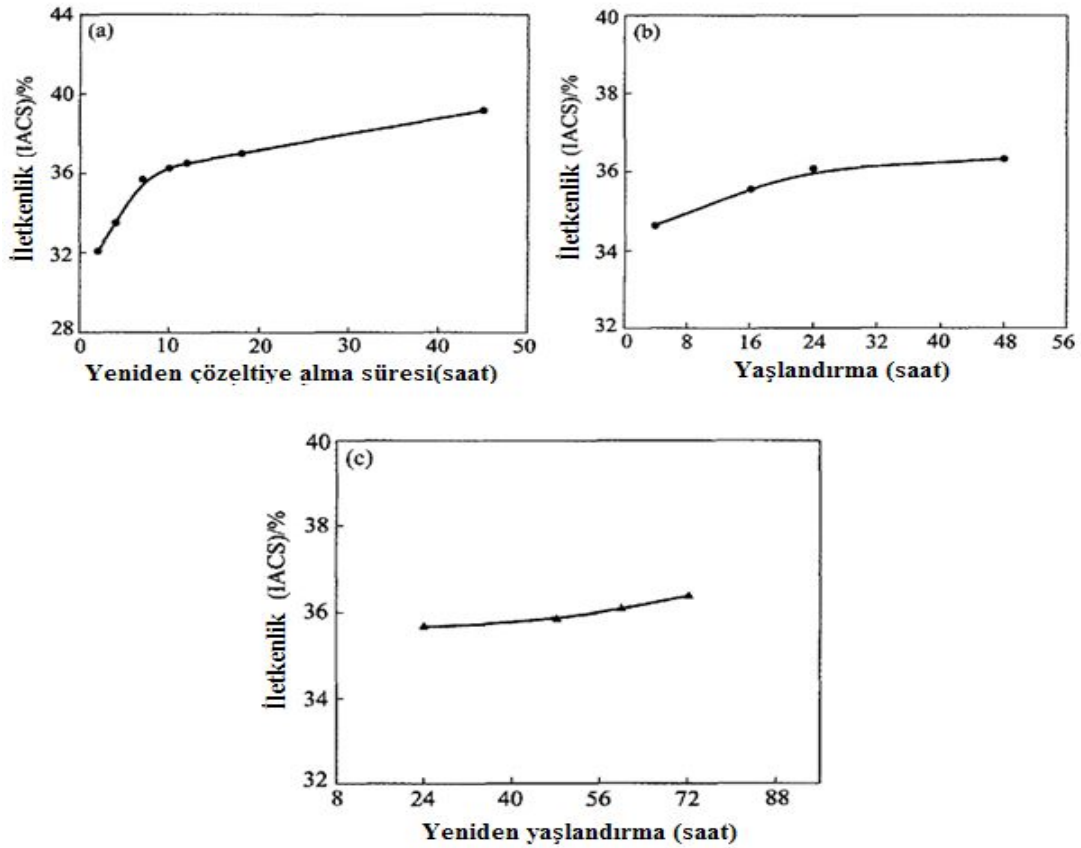


Şekil 4.24. 7075-T6511 ve RRA ısı işleme uygulanan malzemelerin normal hava ortamında ve korozyon ortamında NaCl çözeltisi ortamında gerilim kırılma çevrimi yorulma değişimi [58]

### 4.3. 7075 Alüminyum Elektrik İletkenliği

7075 alüminyum alaşımlarına uygulanan ısı işlemlerin malzemenin elektriksel iletkenliğine büyük oranda etkisi vardır. Uygulanan ısı işlemlerin 7075 alüminyum alaşımlarının elektriksel özelliklerine etkisi birçok araştırmacı tarafından araştırılmıştır. [11, 52, 59, 60]. Farklı RRA işleminden sonra malzemenin iletkenliğinin değişimi Şekil 4.25’de verilmektedir. Bu durum diğer araştırmacıların elde ettiği sonuçlarla uyum içerisindedir [10, 11, 60].

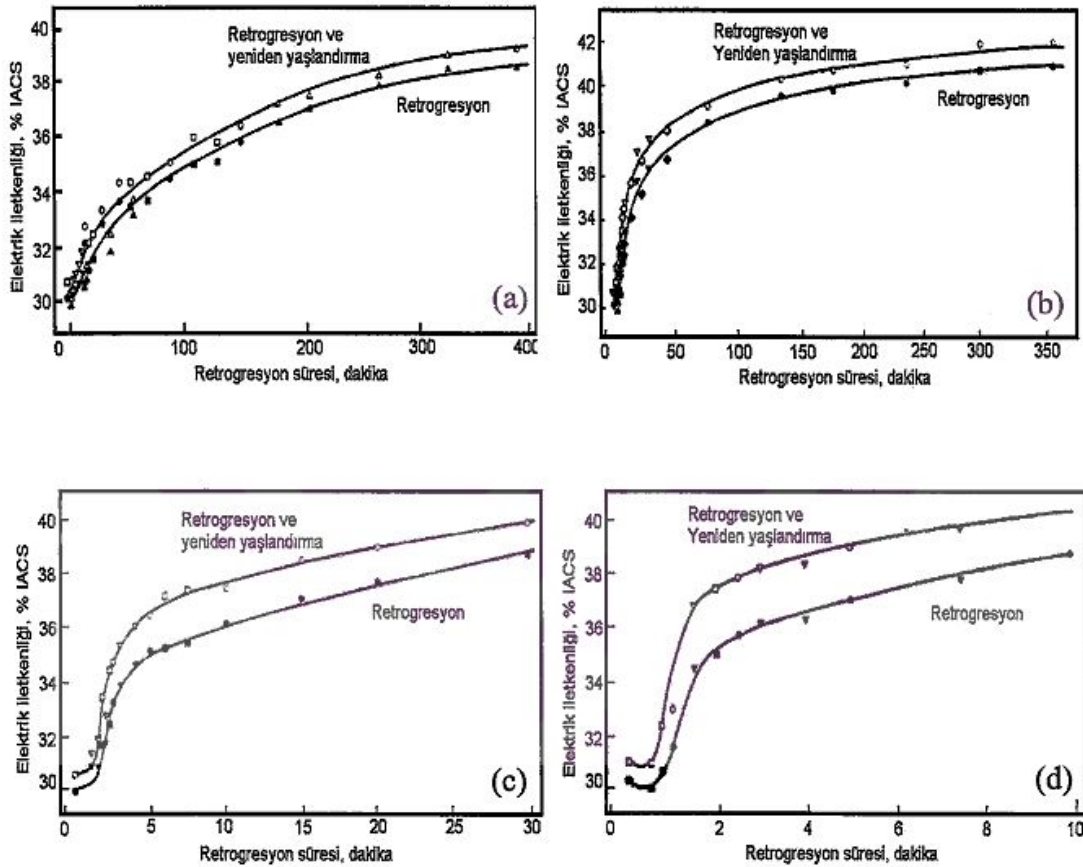
Ön yaşlandırma ve yeniden yaşlandırma işlemlerinde aynı etkiyi gösterme eğilimindedir. İletkenlik yaşlandırma zamanına bağlı olarak artmaktadır. Şekil incelendiğinde malzemenin iletkenliğine etki eden en önemli faktörün yeniden çözeltilme süresinin olduğu görülmektedir.



Şekil 4.25. Farklı sürelerde yaşlandırma (a), yeniden çözeltilme (b) ve yeniden yaşlandırmanın (c) elektrik iletkenliği değişimi [52]

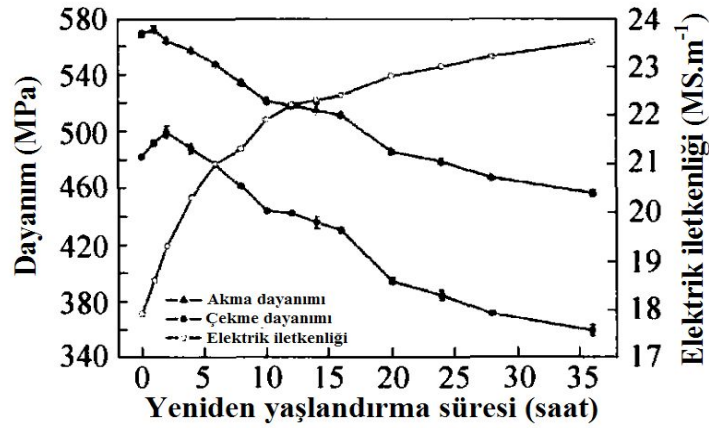
Bu durum başka bir araştırmada [11, 60] yeniden çözeltilmeye alma ve daha sonra yeniden yaşlandırma sonucu elde edilen elektrik iletkenliği değerleri sadece yeniden çözeltilmeye alma sonralarında malzemenin sahip olduğu elektrik iletkenliği değerlerinden bir miktar fazla olduğu Şekil 4.26'da görülmektedir.

Aradaki farkın yeniden yaşlandırma sonucu meydana gelen çökelti partiküllerinin, matrisi çözünen atomların daha da farklılaşmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığındaki artışa paralel olarak dengedeki çözünen konsantrasyonlarının da artışına bağlı olarak iletkenlik değerleri arasındaki fark artmaktadır [11, 60].



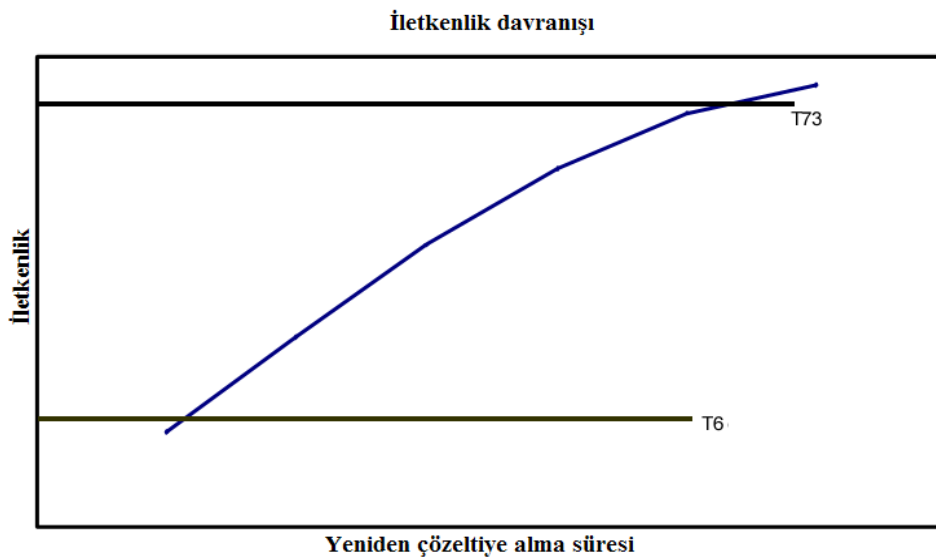
Şekil 4.26. Yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma elektrik iletkenliği değişimi [11]

İki aşamalı ısıl işlem sonrasında yaşlandırılan malzemenin sahip olduğu elektrik iletkenliği, çekme ve akma dayanımı arasındaki ilişki Şekil 4.27'de verilmektedir. 165°C'de yaşlandırma sonrasında sürenin artışına paralel olarak elektrik iletkenliği artmakta ancak çekme ve akma dayanımı azalmaktadır [40].



Şekil 4.27. İki aşamalı 115°C'de 7 saat ve 165°C'de farklı sürelerde yaşlandırılan malzemenin akma, çekme dayanımı ve elektrik iletkenliği değişimi [40]

Şekil 4.28'da 7075 alüminyum alaşımına uygulanan T73 ve T6 yeniden çözeltilme ve yeniden yaşlandırma ısıl işleminde iletkenlik farkının etkisi verilmektedir. Şekil yeniden çözümlenme süresinin artışı malzemelerin elektriksel iletkenliğini arttırmaktadır [7]. T73 ısıl işleminden sonrasında 7075 alüminyum alaşımının korozyon direncini arttırdığına göre elektrik iletkenliği ile gerilim korozyon çatlak direnci arasında direkt bir ilişki bulunmamaktadır [52]. Diğer taraftan yeniden çözeltilme sıcaklığı elektrik iletkenliğine etki etmektedir. En yüksek iletkenlik 220°C'de yeniden çözeltilme alınan 7075 alüminyum alaşımının sahip olurken en düşük elektrik iletkenliği değeri 380°C yeniden çözeltilme alınan malzemelerde olduğu görülmektedir [11].



Şekil 4.28. T6 ve T73 ısıl işlemlerinin yeniden çözeltilme süresine bağlı olarak iletkenlik değişimi [7]

## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 5.1. Deneysel Malzeme

Deneysel çalışmalarda kullanılan alüminyum 7075 alaşımı ACA METAL'den temin edilmiştir. Kullanılan malzemenin kimyasal kompozisyonu Tablo 5.1 verilmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alüminyum 7075 alaşımının kimyasal bileşimi

Element	Al	Si	Fe	Mn	Cu	Mg	Zn	Cr	Zr
Ort%	89,6	0,403	0,549	0,014	1,568	2,596	5,480	0,0125	0,0305

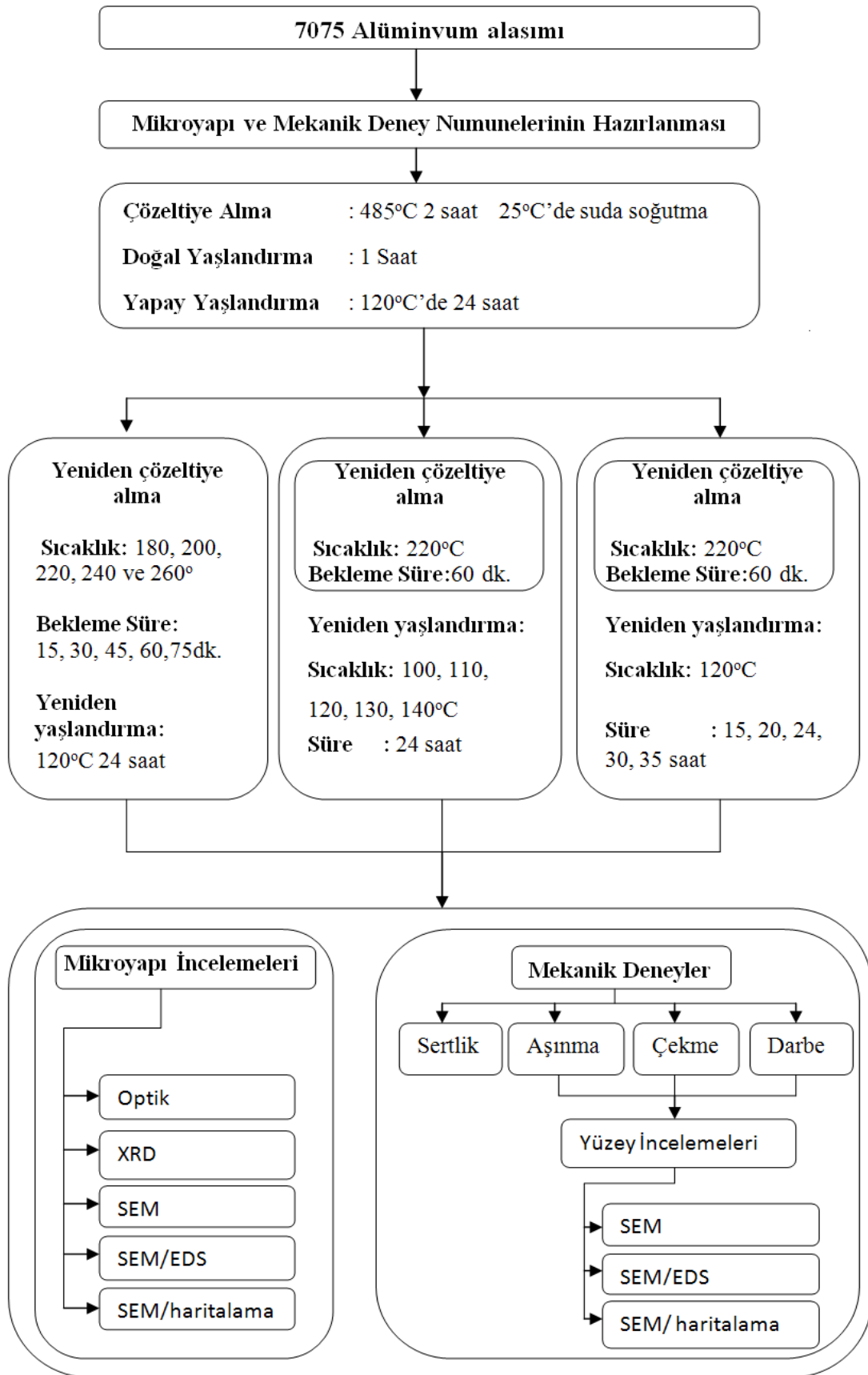
### 5.2. Deney Numunelerin Hazırlanması

Aşınma test numuneleri alüminyum 7075 çubuğundan 7x10 mm boyutunda hazırlanmıştır. Numune yüzeyleri 180-1200 mesh zımpara ile düzeltilmiş ve parlatılmıştır. Çekme numuneleri [TS 138 EN10002-1] standardına göre Karabük Üniversitesi Makine Eğitimi Laboratuvarında bulunan CNC tezgahında belirtilen standartlarda üretilmiştir. Çentik darbe numuneleri 10 mm kalınlığındaki alüminyum 7075 levha malzemesinden kesilerek standartlara uygun hale getirilip çentik darbe işlemi için hazırlanmıştır.

### 5.3. Deneysel Çalışma Programı

Bu çalışmada kullanılan deney malzemeleri hazırlandıktan sonra çalışma programı ile mikroyapı ve mekanik özellikleri bazı deneyler ile karakterize işlemleri Şekil 5.1'de sunulmuştur. Çalışmada farklı sıcaklıklar ve sürelerde yeniden çözültüye alma ve yeniden yaşlandırma gerçekleştirilmiştir.





Şekil 5.1. Şematik Olarak Deneysel İşlem Aşamaları

Çalışmada 485°C'de 2 saat çözeltiye alınan 7075 alüminyum alaşımı, oda sıcaklığındaki suda soğutulduktan sonra 1 saat doğal yaşlandırılmış ve daha sonra 120°C'de 24 saat süre ile yaşlandırılmıştır. Bu işlemlerden sonra 7075 alüminyum alaşımının optimum yeniden çözeltiye alma sıcaklığının ve süresinin belirlenmesi için farklı sıcaklıklarda 180, 200, 220, 240 ve 260°C ve farklı bekleme sürelerinde 15, 30, 45, 60 ve 75 dk ısı işlem uygulanıp 120°C de 24 saat yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Isıl işlem uygulanan numunelerin aşınma, çekme deneyleri ve çentik darbe testleri uygulanarak optimum yeniden çözeltiye alma sıcaklığı ve süresi belirlenmiştir.

Uygulanan ısı işlemler sonucunda deneyler yapılarak ideal yeniden çözeltiye alma sıcaklığı ve bekleme süresi belirlendikten sonra yeniden yaşlandırma ısı işlemi sıcaklığını belirlemek için farklı sıcaklıklarda 100, 110, 120, 130 ve 140°C 24 saat yaşlandırılan deneysel malzemelere aşınma, çekme testleri ve çentik darbe testleri uygulanarak yeniden yaşlandırma sıcaklığı belirlenmiştir.

Uygulanan yeniden yaşlandırma ısı işlemleri sonucu deneyler yapılarak ideal yeniden yaşlandırma sıcaklığına ulaşılmış ve bu yeniden yaşlandırma ısı işlem sıcaklığında 120°C farklı bekleme süreleri 15, 20, 24, 30 ve 35 saat uygulanarak deneysel malzemelere aşınma, çekme ve çentik darbe deneyleri uygulanarak yeniden yaşlandırma sıcaklığı belirlenmiştir. Gerçekleştirilen çalışmalarda Karabük Üniversitesi Metal Eğitimi laboratuvarında bulunan Protherm marka (1200°C) ısı işlem fırını kullanılmıştır.

#### **5.4. X Işımları Difraksiyon Analizi**

Yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma ısı işlemleri yapılan numunelerin yapıda oluşan bileşikleri belirlemek amacıyla XRD analizleri, SAÜ Mühendislik Fakültesi Metalurji Malzeme Mühendisliği Bölümünde bulunan Rigaku XRD-6000 cihazı ile Cu X-ışını tüpü ( $\lambda=1,5405$ ) kullanılarak yapılmıştır. Bu yöntemde, karakteristik x-ışını, yüksek hızlı elektronlar bir metal hedefe (Cu gibi) çarptırılarak elde edilmektedir. Bahsedilen ışınlar kristal yapılı bir nesneye çarptırıldığında kristal düzlemde bulunan atomlar tarafından kırınıma uğrayarak belirli açılarla

yansıtılmaktadır. Elde edilen paternlerin standart paternlerle karşılaştırılması sonucu malzemenin kristal özellikleri ve içerisinde bulunan fazlar tespit edilmektedir.

## **5.5. Mikroyapı İncelemeleri**

### **5.5.1. Optik mikroskop incelemeleri**

Metalografik inceleme için belirtilen standartlarda hazırlanan numunelere sırasıyla 180, 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 grit numaralı SiC aşındırıcı zımparalarla su altında zımparalama işlemi uygulanmıştır. Bu işlemden sonra numuneler 0,3µ elmas pasta ile mikroyapı incelemelerinde kullanılan özel bir parlatılmıştır. Parlatılan numuneler su ile yıkanıp, yüzeyleri alkol ile temizlenmiştir. Mikroyapı incelemeleri için hazır hale getirilen numuneler 2 ml HF, 3 ml HCl, 20 ml HNO<sub>3</sub>, 175 ml H<sub>2</sub>O ile hazırlanan dağlayıcıyla 1–2 dk dağlanmıştır. Optik inceleme Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümü laboratuvarında bulunan NIKON LP 1200 ELIPSE mikroskop ile yapılmıştır.

### **5.5.2. Tarama elektron mikroskobu (SEM) incelemeleri**

Yaşlanma işlemi ile mikroyapıda meydana gelen değişiklikler ve ikinci faz partikülleri incelemek ve aşınma yüzeylerini, çekme numuneleri kırık yüzeyleri, çentik darbe kırık yüzeylerini incelemek amacı ile Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki “JEOL JSM-6060” tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

### **5.5.3. Enerji dağılımlı x-ışını spektroskopisi (EDS) incelemesi**

Alüminyum 7075 numunelerine uygulanan ısıtma işlemler sonucunda oluşan özelliklerin tanımlanmasını kolaylaştırmak ve kırık yüzeylerdeki bazı bölgelerinin element yoğunluğunu belirlemek amacı ile Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesindeki IXRF 500 analiz cihazında numuneler incelenmiştir.

## 5.5. Mekanik Deneyler

### 5.5.1. Sertlik ölçümleri

Sertlik değerlerinin ölçülmesinde Vickers sertlik metodu kullanılmıştır. Sertlik ölçümleri Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Döküm bölümü laboratuvarında bulunan üniversal AFFRI marka RSD251 model cihazda 3 kg yük uygulanarak yapılmıştır. Sertliği ölçülen numune yüzeyleri 1200 gritlik SiC aşındırıcı zımpara ile düzeltilerek parlatılmıştır. Her numuneden beş farklı sertlik ölçümü yapılarak ortalamaları alınmıştır.

### 5.5.2. Aşınma deneyleri

Aşınma deneylerinde Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bulunan pin-on-disk tipi standart deney cihazı kullanılmıştır. Aşınma testlerinin yapıldığı disk Ç4140 malzemesi  $\phi 230$  mm çapında, 20 mm kalınlığında ve 56 Rc sertliğindedir. Aşınma deneylerine başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi aseton ile temizlenmiştir. Her numune farklı bir iz oluşturacak şekilde yerleştirilerek her test için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Aşınma testlerinden sonra disk yeniden taşlanarak yeni test için hazır hale getirilmektedir.

Aşınma testlerinde üç farklı yük olmak üzere 15 N, 30 N ve 50 N olmak üzere kullanılmıştır. Aşınma mesafesi olarak 500, 1000, 1500 ve 2000 metre olarak dört farklı mesafe test edilmiştir. Kayma hızı olarak da  $1,5 \text{ ms}^{-1}$ 'lik kayma hızı seçilmiştir. Numuneler deney öncesinde ve her 500 m mesafede  $10^{-4}$  g hassasiyetindeki dijital terazide tartılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür.

### 5.5.3. Çekme deneyleri

Çekme deneylerini Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitimi Bölümünde bulunan SHIMADZU marka deney cihazı  $2 \text{ mmdk}^{-1}$  çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir.

#### **5.5.4. entik darbe deneyleri**

entik darbe deneyleri Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan INSTRON WOLPERT PW30 markalı cihazda yapıldı.

## **BÖLÜM 6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA**

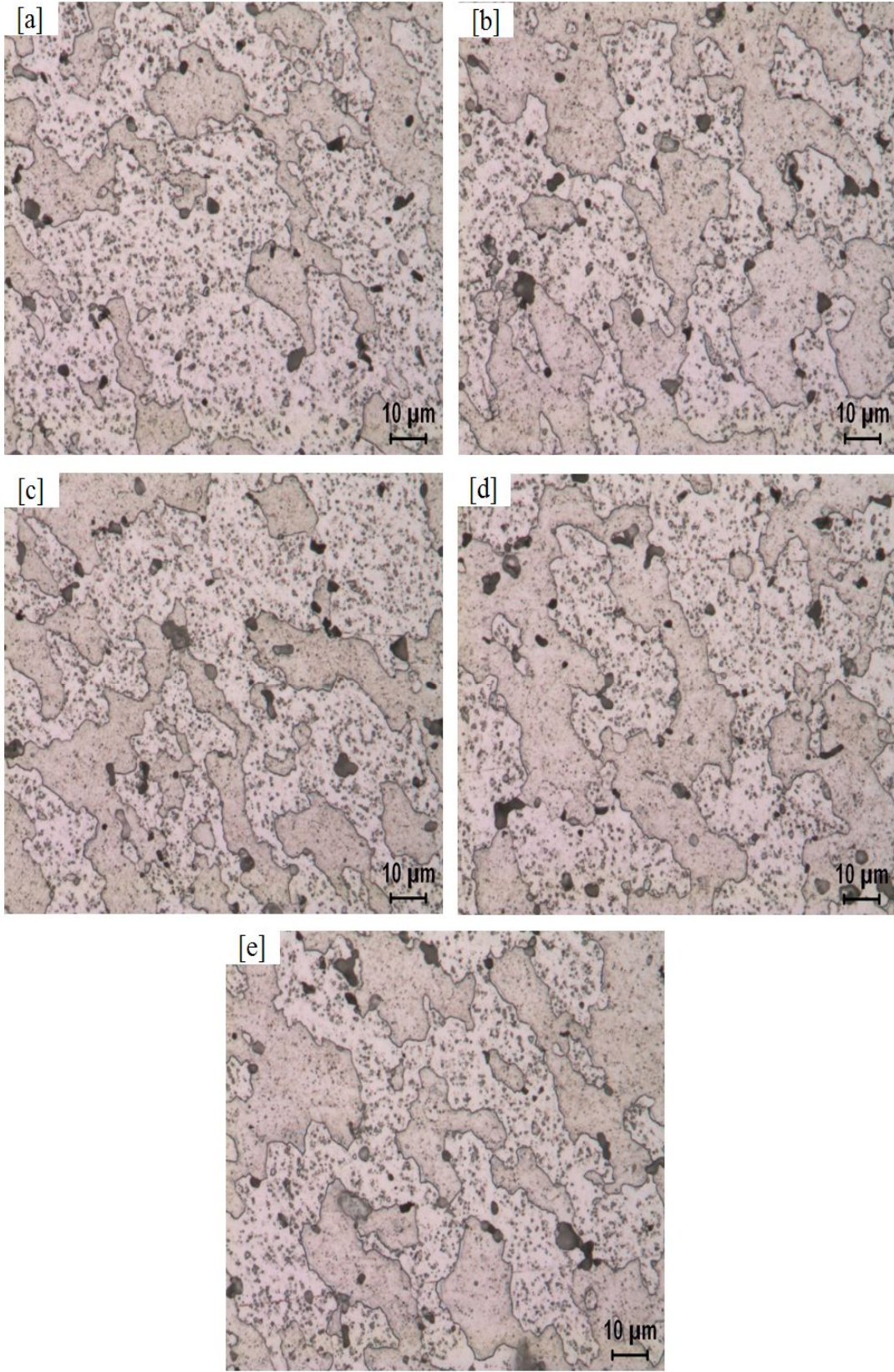
### **6.1. Yeniden Çözeltiye Alma Sıcaklığının ve Süresinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi**

T6 ısıtma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımlarına, T6 ısıtma işleminin ardından. 180, 200, 220, 240 ve 260°C gibi farklı sıcaklıklarda ve 15, 30, 45, 60 ve 75 dk sürelerde yeniden çözeltiye alma (retrogresyon) işleminden sonra 120°C'de 24 saat yeniden yaşlandırılma ısıtma işlemi uygulanmıştır. Elde edilen mikroyapı ve mekanik özellikler çalışmanın bu aşamasında sunulmaktadır.

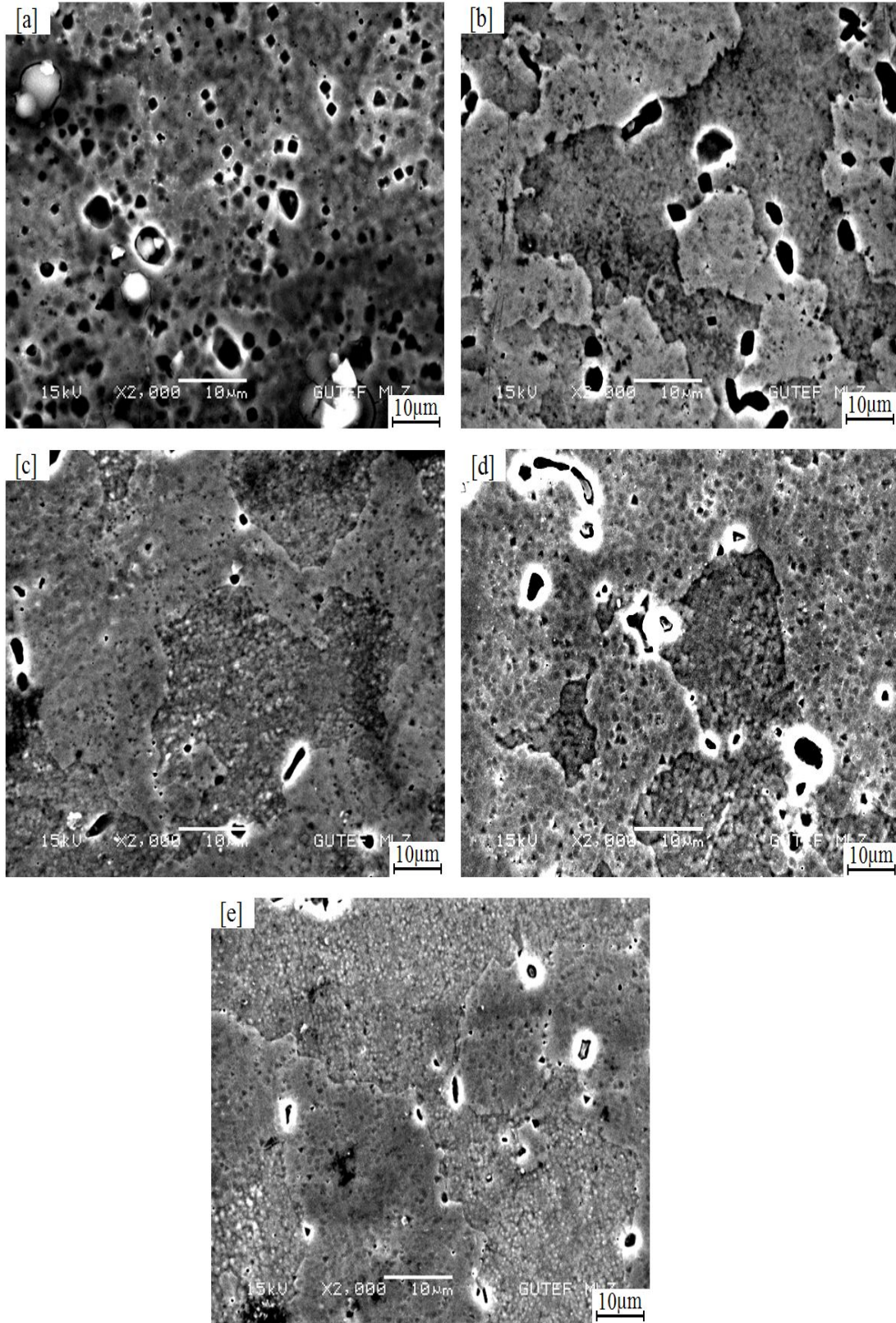
#### **6.1.1. Mikroyapı incelemeleri**

T6 ısıtma işleminden sonra farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanan alüminyum 7075 alaşımının optik ve SEM görüntüleri sırası ile Şekil 6.1' ve Şekil 6.2' de gösterilmektedir.

Mikroyapı görüntüleri incelendiğinde yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma sonrasında meydana gelen mikroyapı değişiklikleri belirlenmemektedir. Çünkü yapı içerisinde oluşan çözeltiler nano mikron boyutlarında olduğundan küçük büyütme SEM mikroyapı görüntüleri arasında belirgin bir fark görülememektedir. Buna rağmen bu çalışmada uygulanan ısıtma işlemlerin mikroyapıya olan etkileri açısından genel fikir vermesi için sunulmuştur. Hem optik mikroskop hem de SEM mikroyapı görüntülerinde mikroyapıda olan değişiklikleri görmek mümkün olmamaktadır. Baydoğan [11] ve Kaya [5] tarafından aynı malzemelere uygulanan yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi sonrasında yapılan mikroyapı çalışmalarında da benzer sonuçlar elde edilmiştir.



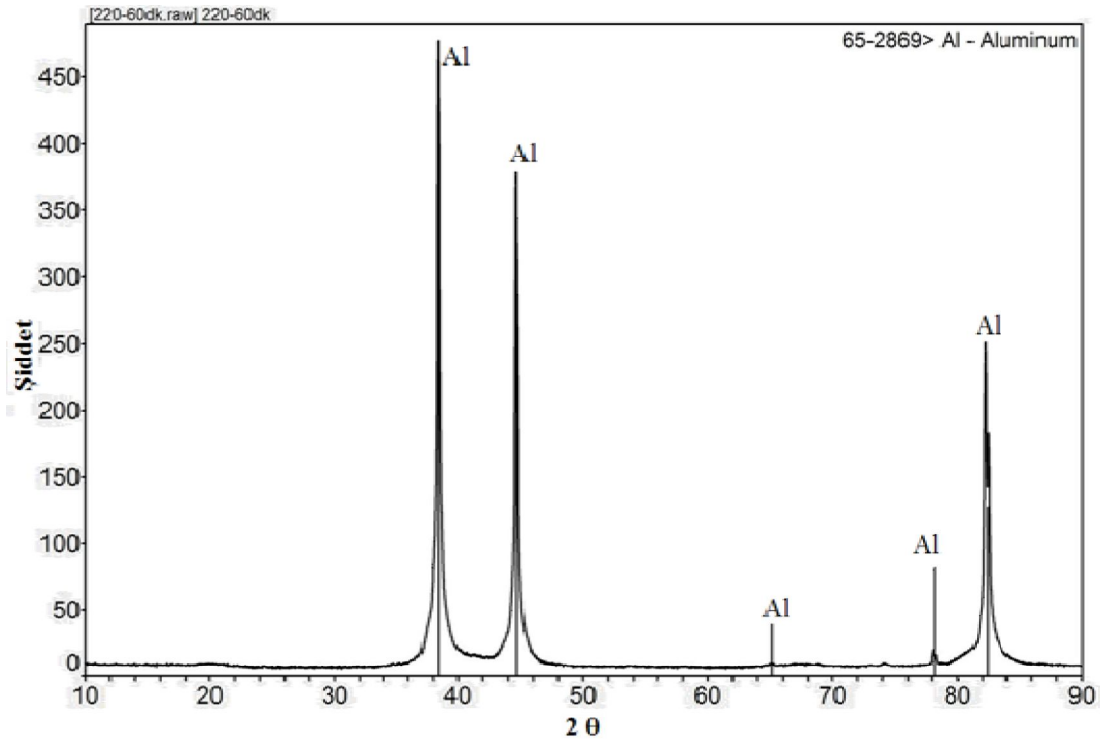
Şekil 6.1. a) 180°C, b) 200°C, c)220°C, d) 240°C e) 260°C sıcaklığında yeniden çözeltiye alma 60 dk bekletilen 7075 alüminyum alaşımının optik mikroskop görüntüleri



Şekil 6.2. a) 180°C b) 200°C c)220°C d) 240°C e) 260°C sıcaklıklarında yeniden çözeltiye alma 60dk bekletilen 7075 alüminyum alaşımlarının SEM görüntüleri



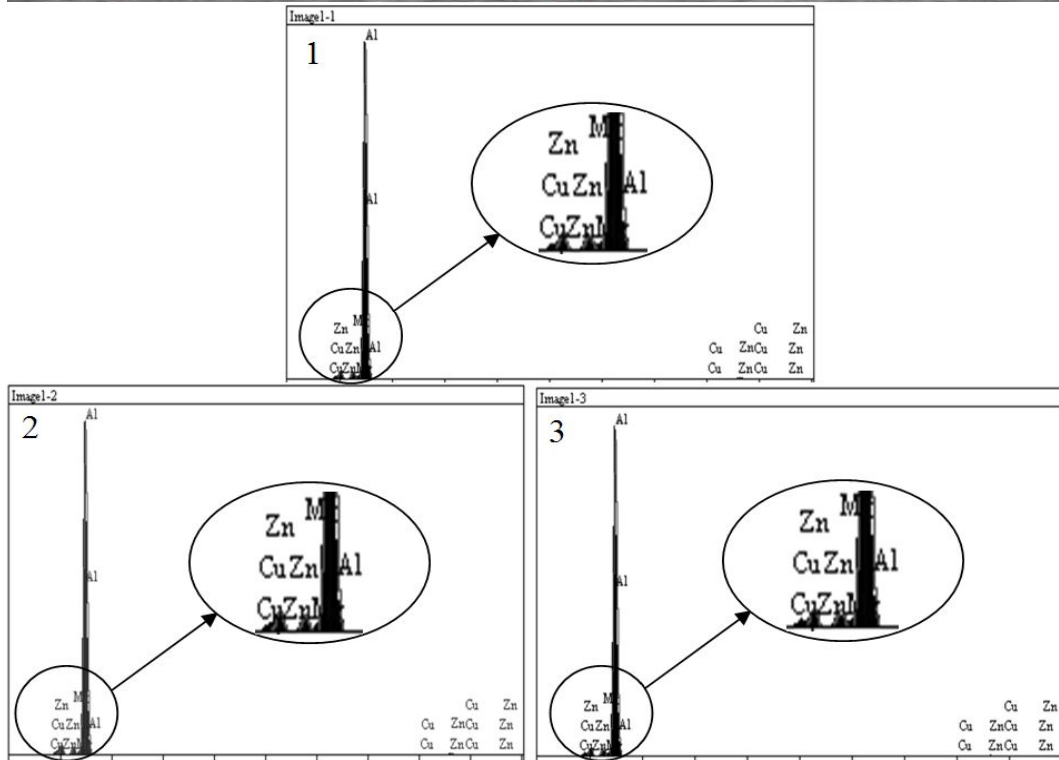
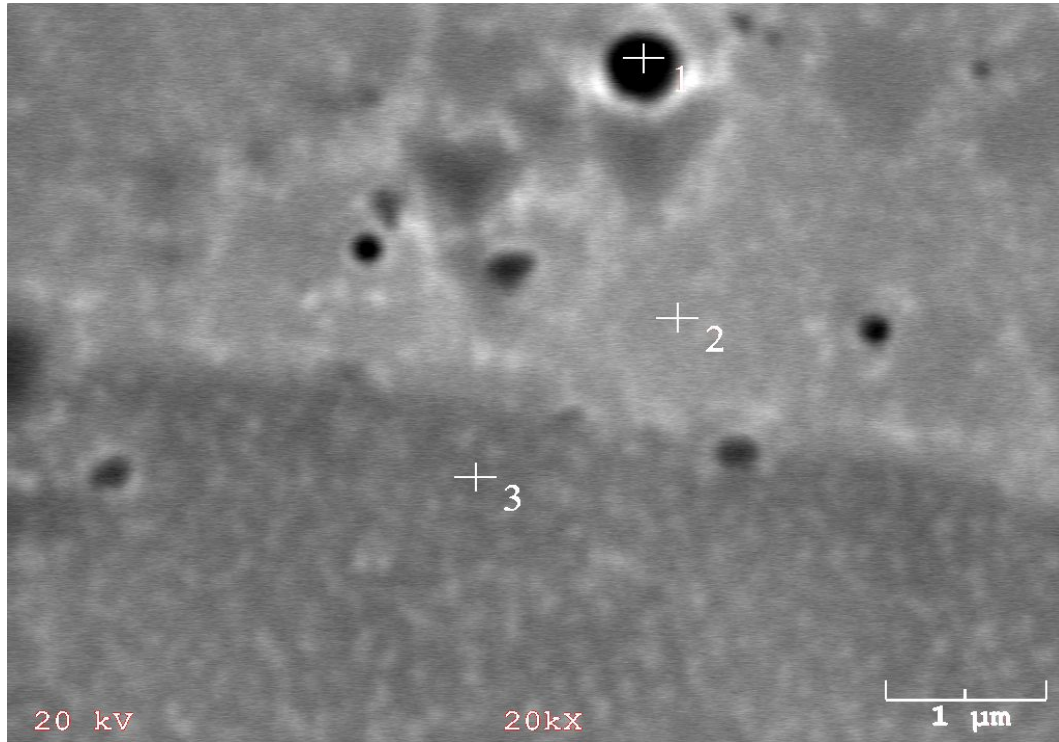
220°C'da 60 dk yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırılan numunelerin XRD analizi Şekil 6.3'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde yapı içerisinde sadece alüminyum pikleri görülmektedir. Baydoğan [11]'in çalışmasında belirtildiği gibi mikroyapı içerisinde oluşan çökeltilerin ve diğer mikroyapı bileşenlerin hacimsel olarak oranlarının % 5'den daha düşük olduğundan XRD analizlerinde belirlenmesi zorlaşmaktadır [11, 60]. Ayrıca bu çalışmada gerçekleştirilen XRD analizlerinde elde edilen pikler Baydoğan [11]'in çalışmasında elde edilen piklerden farklıdır.



Şekil 6.3. 220°C'da 60dk Yeniden çözeltiye alınan numunenin XRD analizi

7075 alüminyum alaşımına uygulanan RRA işleminden sonra mikroyapı da meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacı ile EDS analizi Şekil 6.4'de verilmektedir. Şekil 6.4'de verilen SEM/EDS analizinde 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan numuneden alınan EDS analizinde çinko ve bakır oranının diğer noktalara göre daha fazla olduğu ve mikroyapı içerisinde ikinci bir faz olduğu anlaşılmaktadır. İki ve üçüncü noktalardan alınan EDS incelemelerinde element oranlarının birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Çinko miktarının yapı içerisinde çözünme miktarı % 3,5-3,9 arasındadır. % 5,4 Zn'den kalan kısmının yapı içerisinde ikinci faz olarak kaldığı düşünülmektedir. Mikroyapı görüntüleri daha önce yapılan

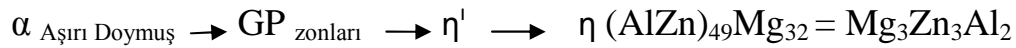
çalışmalarda [10, 11, 32, 40] elde edilen görüntüleri benzerdir. Mikroyapıda yaşlandırma sonrasında yapılan yeniden çözündürme işlemi ile GP-1 ve GP-2 zonları oluşmaktadır. Yaşlandırma işlemi ilerledikçe  $\eta'$  fazı oluşmaktadır. 1-2 nm boyutlarında olan  $\eta'$  fazının yeniden çözünme ile hem yenileri oluşmakta hem de  $\eta'$  fazı büyüyerek  $\eta$  ( $MgZn_2$ ) fazına dönüşmektedir. Ancak bu SEM ve SEM/EDS analizi ile hangi fazın daha yoğun olduğu belirlenememektedir.



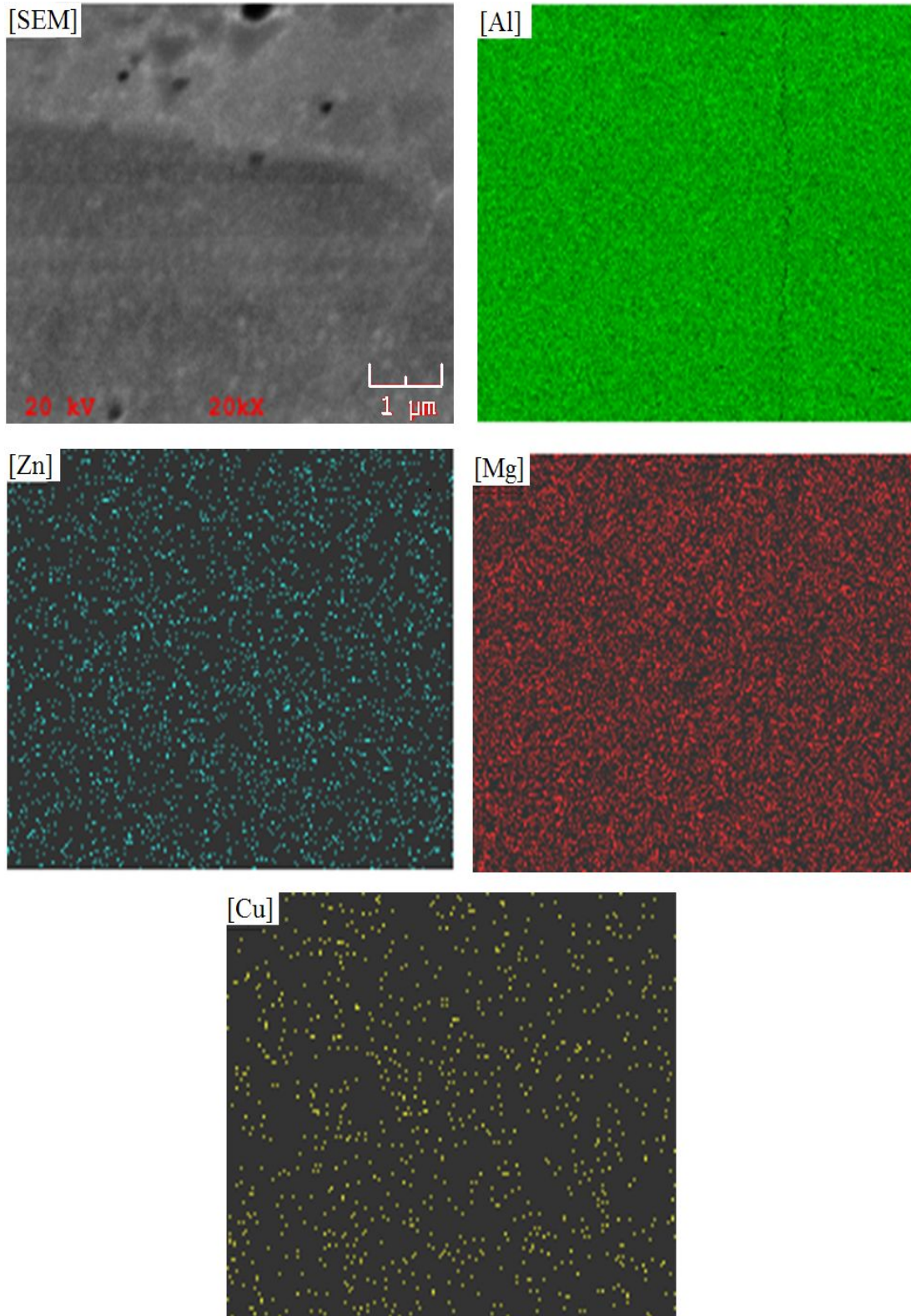
Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%
1	92,116	4,305	1,965	1,614
2	93,191	3,810	2,143	0,856
3	93,098	3,522	2,248	1,132

Şekil 6.4. 220°C sıcaklıkta 60dk yeniden çözültiye alma işlemi yapılan numunenin EDS analizi

Mikroyapıda çözünen Zn-Mg-Cu elementlerinin daha net olarak görülmesi amacı ile 220°C'da 60 dk süre ile yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımlarının EDS yüzey taraması görüntüleri Şekil 6.5'de verilmiştir. EDS analizinden Al matriste Zn, Mg, Cu elementlerinin dağılımı gösterilmektedir. Al matriste Mg ve Zn elementlerinin hemen hemen homojen dağıldığı anlaşılmaktadır. Cu elementi ise daha seyrek bir dağılım sergilemektedir. 7075 alüminyum alaşımının yaşlanma ardışıklığı [11, 60];

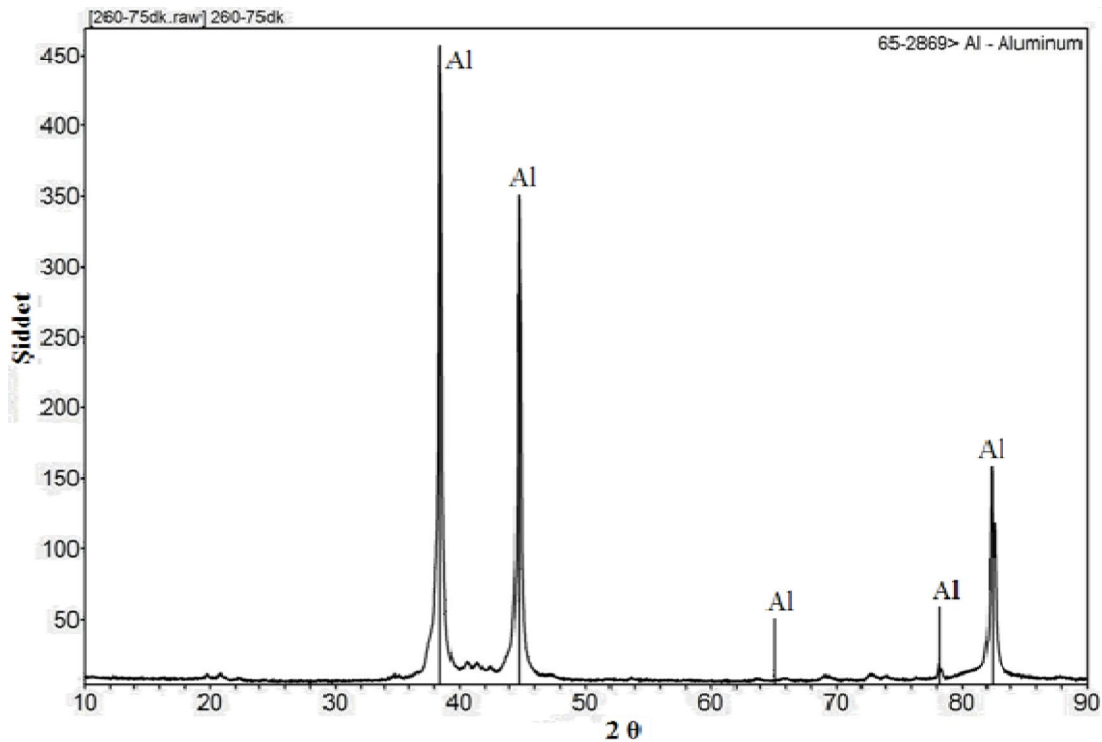


Şelkinde meydana gelmektedir. Bu tür dönüşümde Zn ve Mg'ca zengin GP zonları, matrisle yarı uyumlu  $\eta'$  fazına dönüşmektedir. Yaşlandırma süresindeki artış  $\eta'$  fazından kararlı  $\eta$  fazı oluşmaktadır. Bu faz kübik kristal yapıya sahip olup matrisle uyumsuzdur. Mg / Zn oranı 1/2 ve 1/3 oranında değişen Al-Zn-Mg alaşımlarından 200°C'dan yüksek sıcaklıklarda gerçekleştirilen yaşlandırma sonucunda oluşmaktadır [61-63].



Şekil 6.5. 220°C 60 dk yeniden çözeltilmiş ve yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/ haritalama analiz görüntüsü

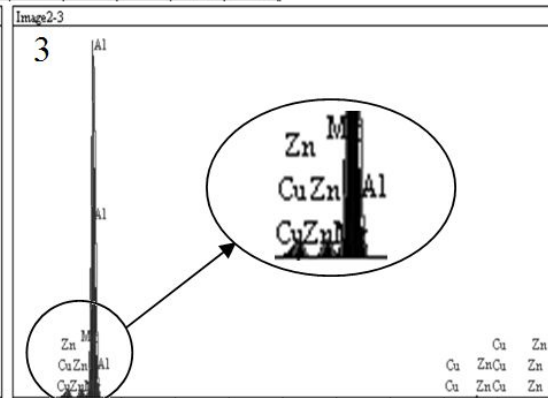
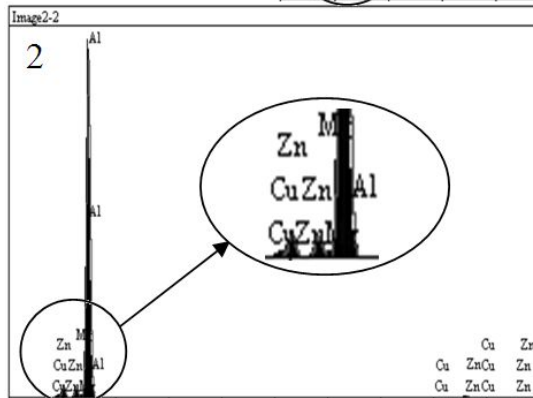
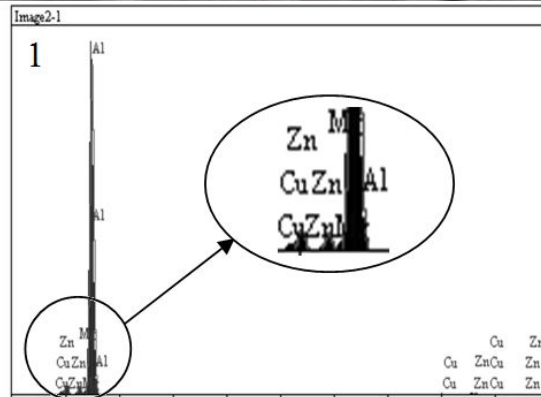
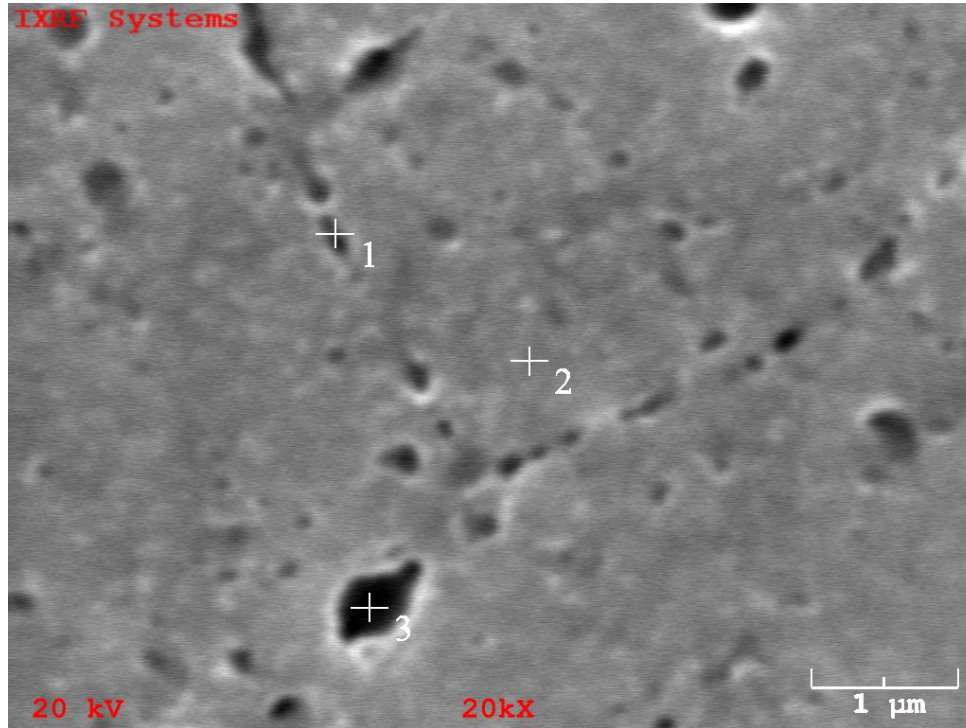
260°C 75 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden sertleştirilen 7075 alüminyum alaşımının XRD analizi Şekil 6.6'da verilmektedir. XRD analizinde yapı içerisinde belirgin bir fark olmadığı daha önceden alınan 220°C'da 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden sertleştirilen numunenin XRD analizi ile karşılaştırıldığında, ortaya çıkan pikler açısından bir fark görülmemektedir. Ancak, pik boyları karşılaştırıldığında bu XRD diyagramında alüminyum piklerinin daha kısa olduğu görülecektir. Bu durumda yapı içerisinde diğer faz oranlarının arttığını ve bu nedenle Al piklerinin kısaldığı düşünülmektedir. Daha yüksek sıcaklıklarda yeniden çözeltilmeye alınan numunelerin mikroyapıda yeni ve farklı çökeltiler oluştuğu veya boyutları farklılaştığı şeklinde ifade edilebilir.



Şekil 6.6. 260°C'de 75 dk Yeniden çözeltilmeye alınan numunenin XRD analizi

Şekil 6.7'de 260°C'da 75 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden sertleştirilen 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS görüntüleri verilmektedir. Elde edilen görüntüler Şekil 6.4'de verilen SEM/EDS görüntüleri ile karşılaştırıldığında genel olarak bir fark görülmemektedir. Çeşitli noktalardan alınan EDS analizlerinde Al, Zn ve Mg oranları bir önceki numunenin EDS benzer değerleri içermektedir. Ancak Cu

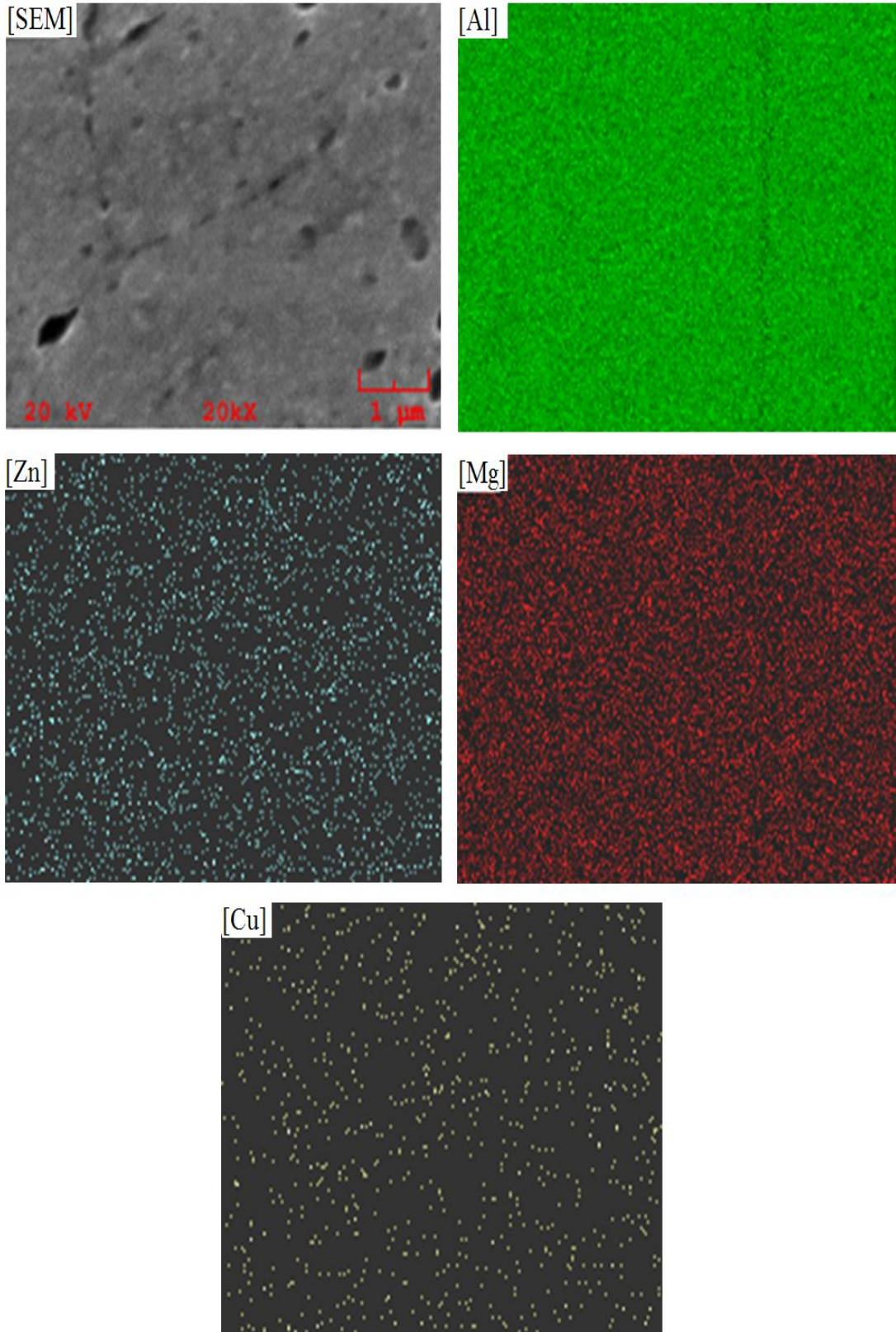
değerlerinde bir miktar azalma dikkat çekmektedir. EDS ile görüntüleme analizinde tane sınırlarında oluşan çökeltilerin aralıklı olduğu ve tane içerisindeki çökeltilere göre boyutlarının büyük olduğu görülmektedir. Bu SEM görüntüsünün element dağılımını görebilmek amacıyla yüzeylerin EDS yüzey taraması görüntüleri Şekil 6,8’de verilmiştir. Analiz sonucunda Zn elementinin belirli bölgelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Buna karşılık Mg elementi daha yoğun ve homojen bir dağılım sergilemektedir. Cu elementi ise oldukça seyrek bir dağılım sergilemektedir.



Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%
1	92,954	3,935	2,158	0,952
2	92,495	3,862	2,450	1,193
3	92,921	3,511	2,304	1,264

Şekil 6.7. 260°C'de 75 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi uygulanan numunenin EDS analiz görüntüsü



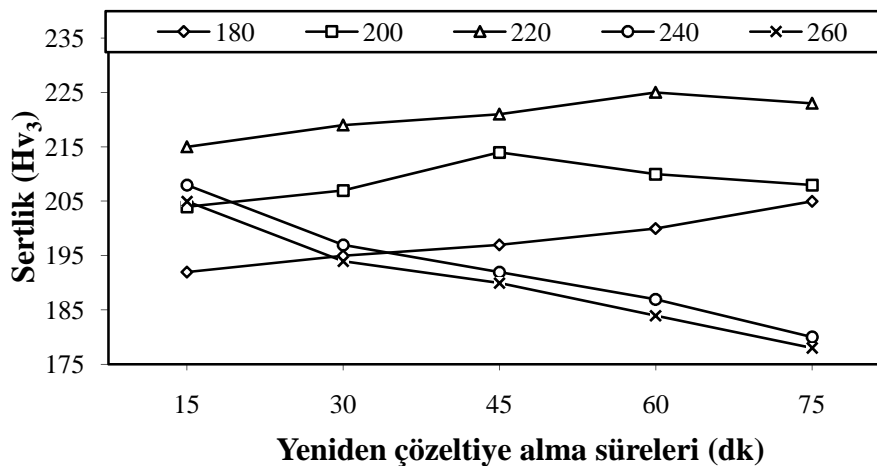


Şekil 6.8. 260°C'de 75dk yeniden çözeltilmiş ve yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/haritalama analiz görüntüsü

### 6.1.2. Sertlik ölçümleri

Farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemine tabi tutulan numunelerin sertlik dağılımı Şekil 6.9 de gösterilmektedir.

Şekildeki sertlik değerleri incelendiğinde 180°C’de yeniden çözeltiye alma sıcaklığında bekleme süresi artırıldığında sertlik değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Yeniden çözeltiye alma sıcaklığı 200°C çıkarıldığında sertliğin 180°C’den daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak bekleme süresinin artması ile 45 dk’ ya kadar artış görülmüştür. 45 dakikadan üzerindeki bekleme sürelerinde yapı içerisindeki bulunan çökeltilerin aşırı yaşlandırma periyoduna girmesi nedeniyle sertlik değerlerinde azalma meydana gelmektedir. Yeniden çözeltiye alma sıcaklığı 220°C’ye çıkarıldığında sertliğinin 180°C ve 200°C’ye göre daha yüksek değerlere çıktığı görülmektedir. 220°C’deki yeniden çözeltiye alma sıcaklığında bekleme süreleri incelendiğinde 60 dakikada en yüksek değerine ulaşmaktadır. Bekleme süresini 75dk’ya çıkarıldığında yapı içerisindeki bulunan çökelti boyutunun arttığı ve aşırı yaşlanma periyoduna girdiği ve bu nedenle sertliğinin azaldığı düşünülmektedir. Yeniden çözeltiye alma sıcaklığı 240°C’ye çıkarıldığında 15 dk uygulanan bekleme süresinin bu sıcaklıkta en yüksek sertlik değeri elde edilmiştir. Ancak, bu sertlik değerinin 220°C’de 15 dk bekleme süresindeki değerinden daha düşük olduğu görülmektedir. 240°C’de bekleme sürelerini arttırdığımızda numunelerin sertlik değerleri azalmaktadır. Yeniden çözeltiye alma sıcaklığını 260°C’ye çıkarıldığında 15 dk bekleme süresindeki sertliğin 240°C’ ye göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bekleme süresi artmasına bağlı olarak alaşımın sertlik değerlerinin azaldığı görülmektedir. 240 ve 260°C’de yeniden çözeltiye alma sıcaklığının yüksek olması sonucunda aşırı yaşlanma periyoduna geçişin daha hızlı olması nedeniyle, 15dk bekleme süresinin yüksek olduğu buna bağlı olarak yapı içerisindeki  $\eta'$  fazının  $\eta$  fazına dönüşerek sertlik değerlerini azalttığı düşünülmektedir.



Şekil 6.9. 180-260 sıcaklıklarında ve 15-75 dk bekleme sürelerinde yeniden çözeltiye alma ve daha sonra 120°C'da 24 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin sertlik değerleri

Yeniden çözeltiye alma ve daha sonra tekrar yaşlandırılan numunelerin sertliğinin arttığı, ancak yeniden çözeltiye alma süresi arttığında belirli bir süreden sonra azalması aşırı yaşlanmanın meydana geldiğini göstermektedir [11, 45, 51]. 7075 alüminyum alaşımına uygulanan yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma ısı işlemlerinde en yüksek sertlik değerinin 220-240°C değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Yapılan birçok çalışmada bu sıcaklık aralığının seçildiği görülmektedir [11, 64-67]. Daha önceden yapılan Baydoğan [11] ve Ning [53]'in çalışmalarında 7075 alüminyum alaşımına hem sadece yeniden çözeltiye alma işlemi hem de yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma ısı işlemi uygulanmış ve sertlik değerleri incelenmiştir. Sadece yeniden çözeltiye alınan alaşımın sertlik değerlerinin RRA ısı işlemi uygulanan alaşımların sahip olduğu sertlik değerlerine göre daha düşük olduğu görülmüştür. Bu çalışmada yeniden çözeltiye alma sıcaklığı artışına bağlı olarak sertlik değerlerinde düşüş görülmektedir. Yeniden çözeltiye alma aşamasında bekleme süresi artmasına bağlı olarak sertlik değerlerinin düşmesi mikroyapı, mikroyapı içerisindeki GP zonları veya  $\eta'$  fazı gibi yarı uyumlu mikroyapı bileşenlerinin çözünmesi ile açıklanabilir. Bu aşamada elde edilen minimum sertlik değerleri, maksimum yeniden çözeltiye alma sürelerine karşılık gelmektedir [10, 11, 19, 45, 51]. 7075 alüminyum alaşımlarında ana sertleştirici bileşenler GP zonları ve  $\eta'$  fazıdır. Bu fazların matris içerisinde çözünmeleri sertlik değerlerini düşürmektedir. Yeniden çözeltiye alma sıcaklıklarında bekleme

sürelerindeki artışa paralel olarak sertlik değerlerindeki artış, matris içerisindeki yeni oluşan  $\eta'$  fazının oluşması ve miktarlarının artışına bağlanabilir [11, 19, 51]. Yeniden yaşlandırma aşamasında oluşan  $\eta'$  miktarı maksimuma çıkmakta ve alaşımın sertlik değerleri T6 ısıl işlemi gören malzemenin sertliğinin üzerine çıkmaktadır. Yüksek yeniden çözeltilmeye alma sıcaklıklarında ise aşırı yaşlanma ile tane içi ve tane sınırlarındaki çökeltilerin kabalaşmasına bağlı olarak azalmaktadır [11, 19, 51]. Sonuç olarak sertlik değerleri incelendiğinde uygulanan farklı sıcaklık ve bekleme sürelerine bağlı olarak sertlik değerleri incelenmiş ve en optimum sonuçlar 220°C sıcaklık ve 60 dk bekleme sürelerinde uygulanan yeniden çözeltilmeye alma işleminde elde edilmiştir.

### 6.1.3. Aşınma deneyleri

485°C' da 2 saat çözeltilmeye alınan 7075 alüminyum alaşımları hızlı soğutulduktan ve 1 saat doğal yaşlandırıldıktan sonra 120°C' da 24 saat yaşlandırılmıştır. Bu işlemlerin ardından 180, 200, 220, 240 ve 260°C sıcaklıklarında ve 15, 30, 45, 60 ve 75dk sürelerde yeniden çözeltilmeye alma daha sonra 120°C'da 24 saat yeniden yaşlandırma ısıl işlemi uygulanmıştır. Bu ısıl işlem uygulanan 7075 alüminyum alaşımın sertlik değerleri ölçüldükten sonra aşınma davranışları araştırılmış ve elde edilen deneysel sonuçlar çalışmanın bu bölümünde sunulmuştur. Aşınma deneyleri sonrasında oluşan ağırlık kaybı değişimleri Şekil 6.10'da verilmektedir.

Şekilden de anlaşıldığı gibi 15 N yük altında yapılan aşınma deneylerinde 180°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında ağırlık kaybının bekleme süresindeki artışla ters orantılı olarak azalmaktadır. Farklı yeniden çözeltilmeye alma sürelerinde malzeme aşırı yaşlanma periyoduna girmediği için sertlik ve dayanım değerlerinin artması ve buna bağlı olarak ağırlık kaybı miktarı azalmaktadır. 240 ve 260°C sıcaklıklarında yeniden çözeltilmeye alma işlemine tabi tutulan numunelerin aşınma deneylerinde ağırlık kaybı artmaktadır.

200°C'de yeniden çözeltilmeye alma işlemi uygulanan numunelerin ağırlık kaybı miktarı 45 dk bekleme süresine kadar azalırken 45 dk'dan sonra ağırlık kaybı miktarı

artmaktadır. Şekil 6.9'da verilen sertlik değerlerinde görüldüğü gibi 200°C 45 dk bekletildikten sonra malzemenin aşırı yaşlanma periyoduna girerek sertlik ve dayanım değerleri azalmakta ve buna bağlı olarak ağırlık kaybı artmaktadır.

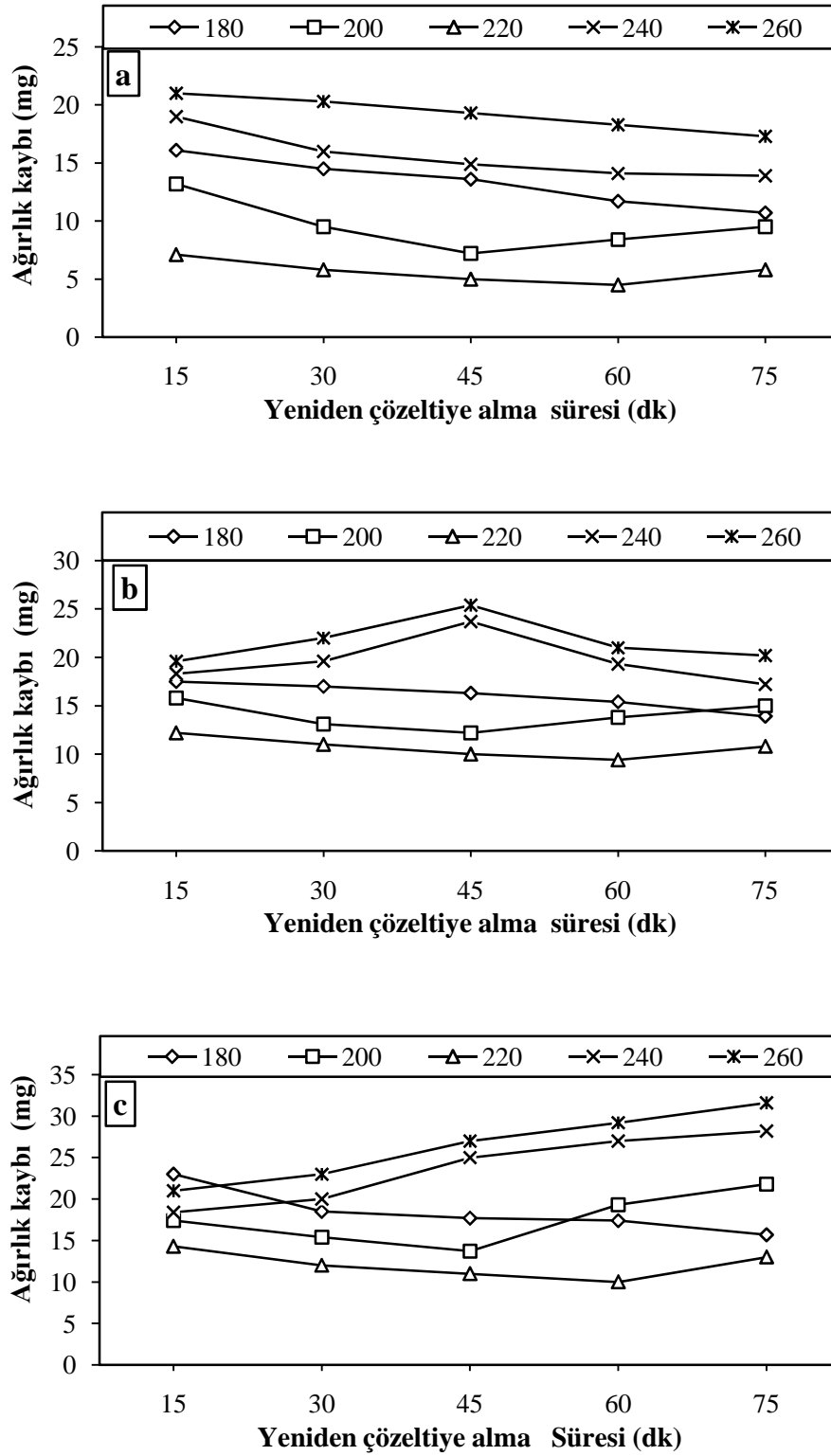
En düşük ağırlık kaybı miktarının 220°C yeniden çözeltilme alma sıcaklığında bekletilen numunelerde elde edildiği görülmektedir. Bekleme süreleri dikkate alındığında 60 dk bekletilen numunelerin aşınma testlerinde ağırlık kaybının azaldığı 75 dk bekletilen numunelerde ise ağırlık kaybının bir miktar arttığı görülmektedir. Bu değerlere göre 220°C'de 60 dk bekleme süresinin yeniden çözeltilme alma işlemi için en optimum değer olduğu anlaşılmaktadır.

240°C yeniden çözeltilme alma ve yeniden yaşlandırma işleminden sonra uygulanan aşınma deneylerinde ağırlık kaybının bekleme süresine bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Şekil 6.9'de verilen sertlik ölçümlerinde ise tam tersi olarak, bekleme süresi arttıkça sertlik azalmaktadır. Bu durum numunelerin sertlikteki azalma sonucu temas yüzeyinde ısı etkisi ile sıvanma meydana gelmesi ve bu nedenle ağırlık kaybının azaldığı görülmektedir. 260°C'de yeniden çözeltilme alınan numuneler incelendiğinde 240°C sıcaklığında karşılaşılan durumun gerçekleştiği anlaşılmaktadır. Ağırlık kaybının 240°C'a göre yüksek olması, yeniden çözeltilme alma sıcaklığı yüksek olması ve buna paralel olarak bekleme sürelerindeki artış aşırı yaşlanma aşamasını hızlandırdığı, bu nedenle sertlik ve dayanımın düşülmesi ile ilişkilendirilebilir.

30 N yük altında uygulanan aşınma deneyleri sonrasında elde edilen ağırlık kaybı değerleri incelendiğinde 180, 200 ve 220°C sıcaklıklarında 15 N yük uygulanarak yapılan aşınma deneylerinde elde edilen sonuçlara benzer durumun meydana geldiği anlaşılmaktadır (Şekil 6.10.b). Ancak 240 ve 260°C'de yeniden çözeltilme alınan numunelerin aşınma deneylerinde farklılıklar gözlenmektedir. 45 dk'ya kadar bekletilen numunelerin sertliği azalırken ağırlık kaybı artmaktadır. Bu sıcaklıklarda bekleme süresi arttığında dayanımın düşmesi yüzeyden kopan parçacıkların tekrar yüzeye yapışması ve sürtünme yüzeyindeki ısının artması ile oluşan oksit tabakasının yağlayıcı etki göstererek ağırlık kaybını azalttığı düşünülmektedir.

Şekil 6.10 c’de 50 N yük uygulanan numunelerden elde edilen ağırlık kayıpları incelendiğinde, daha düşük yükler uygulandığında elde edilen sonuçlar 180, 200 ve 220°C sıcaklıkları içinde benzerlik gösterdiği anlaşılmaktadır. 240 ve 260°C’de elde edilen ağırlık kayıplarının bekleme süresine bağlı olarak arttığı görülmektedir. 30 N yük altında gerçekleştirilen aşınma deneylerinde yük artışı nedeniyle oksit tabakası oluşmamakta veya oluşan oksit film tabakasının parçalandığı için ağırlık kaybının arttığı düşünülmektedir. Uygulanan farklı yükler altındaki aşınma deneylerinde en düşük ağırlık kaybının 220°C’de yeniden çözeltilme ve yeniden yaşlandırma uygulanan numunelerin sahip olduğu görülmektedir. Daha önceden 7075 alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları üzerine yeniden çözeltilme sürelerine bağlı olarak aşınma hızı değerlerinde düşüş olduğu belirtilmektedir [11, 13, 19, 66]. Ancak, çok yüksek sıcaklıklarda yeniden çözeltilme alınan numunelerde bu değer daha düşük olmaktadır. Bu bakımdan elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.

Venkataraman [66]’ın yaptığı çalışmada da yüke bağlı olarak aşınma oranlarında artış görülmüştür. Yeniden çözeltilme ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının aşınma testleri sırasında numune yüzeylerinde oksit bir film tabakası oluşmakta ve oluşan oksit filmi katı yağlayıcı etkisi göstererek aşınma miktarını azaltmaktadır. Bu durum diğer çalışmalarla da uyumludur [13-18, 66, 67]



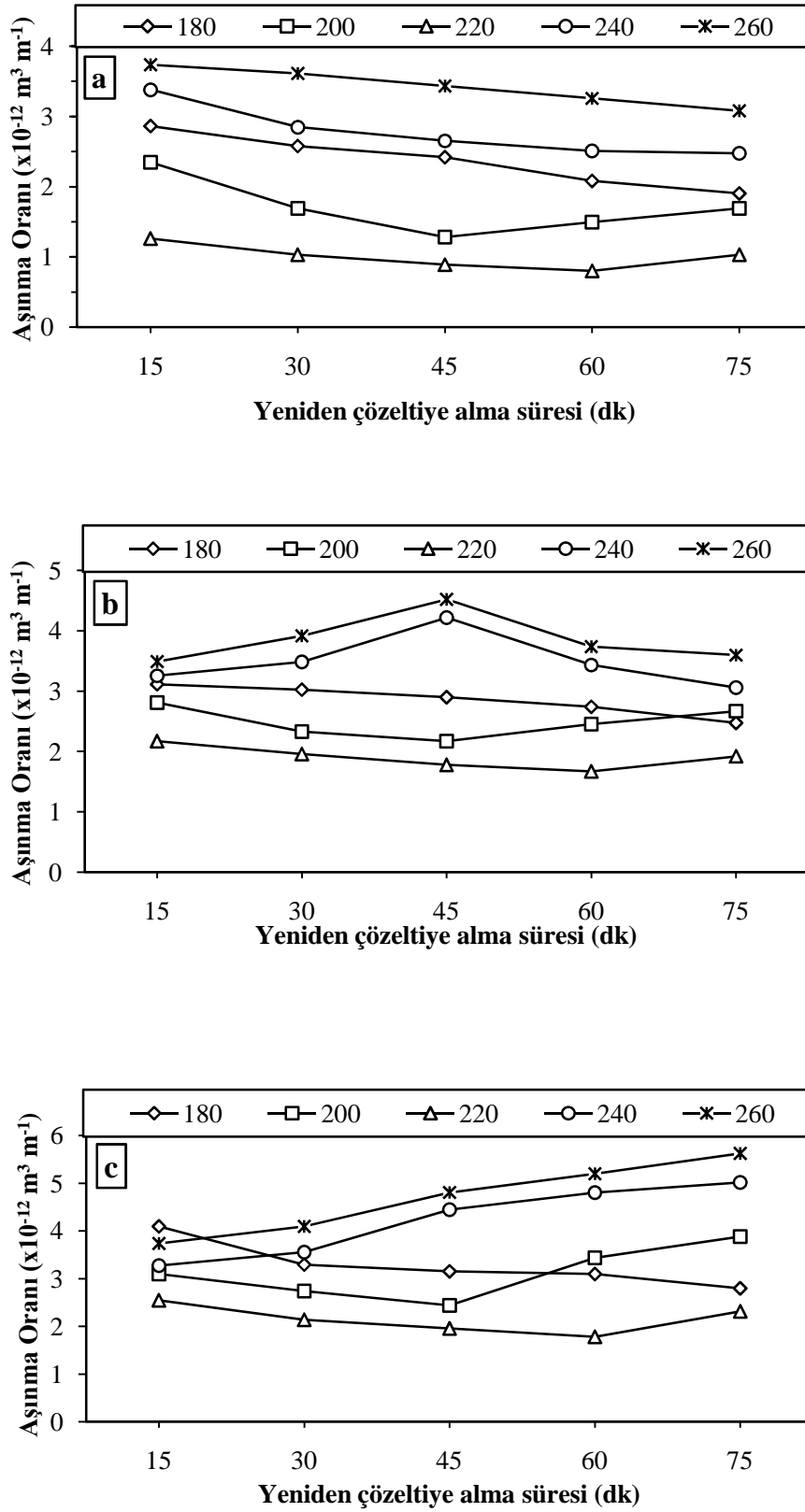
Şekil 6.10.180-260°C sıcaklık ve 15-75 dk sürelerde yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 2000 m kayma mesafesinde a) 15N, b) 30, c) 50N yük altındaki aşınma deneyi sonrasındaki ağırlık kaybı değişimleri

Farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının farklı yükler uygulanarak yapılan aşınma deneyinde elde edilen aşınma oranları Şekil 6.11’de verilmiştir.

Şekilde verilen 15 N yük altında farklı yeniden çözeltilmeye alma sıcaklıkları ve farklı bekleme sürelerinde yaşlandırılan numunelerin aşınma oranları incelendiğinde, en düşük aşınma oranının 220°C’de yeniden çözeltilmeye alınan numunelerde elde edildiği görülmektedir.

En fazla aşınma oranının ise 260°C sıcaklıkta yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırılan numunelerde elde edildiği görülmektedir. Şekil 6.10’de verilen ağırlık kaybı değerlerinde olduğu gibi 240 ve 260°C’de yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırılan numunelerde, bekleme süresine bağlı olarak aşınma oranının azaldığı görülmektedir. Aşınma oranları ile ağırlık kaybı miktarları arasında yakın ilişki olduğundan sonuçlar arasında paralellik bulunmaktadır.





Şekil 6.11. 180-260 sıcaklık ve 15-75 dk sürelerde yeniden çözeltiye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 2000 m kayma mesafesinde a)15N, b)30, c)50N yük altındaki aşınma deneyi sonrasındaki aşınma oranı değişimi

Aşınma testleri yapılan numune yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 6.12'de verilmiştir.

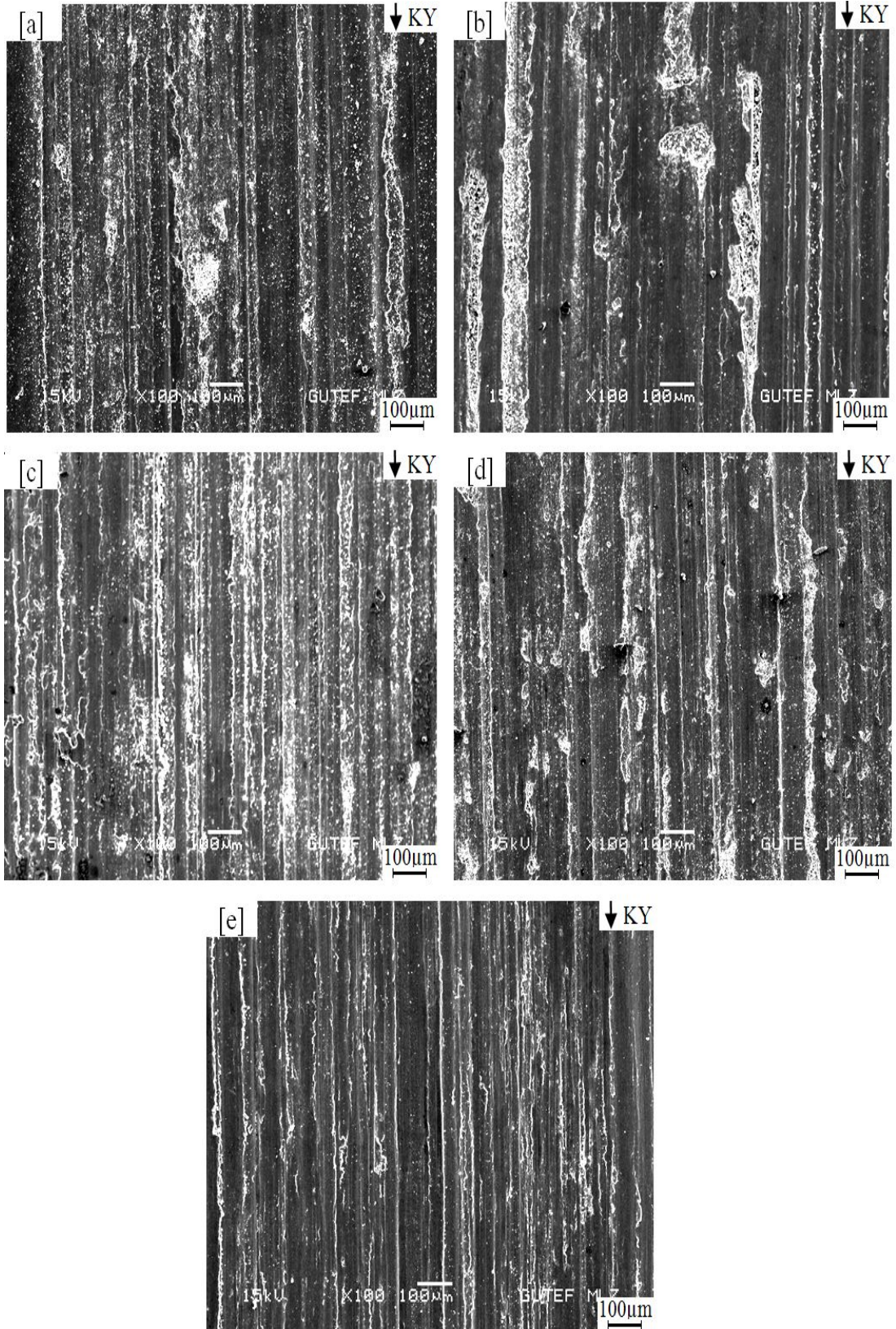
Şekil 6.12'de 180°C'de yeniden çözeltilme sıcaklığında 60dk bekleme süresi ve daha sonra yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeylerinin SEM görüntüsü incelendiğinde aşınma yüzeyin bazı bölgelerinde kırılmalar ve plastik deformasyona bağlı olarak kayma yollarının oluştuğu görülmektedir. Yüzeyde çok ince beyaz bölgelerin çok olması yüzeyden kopan parçaların daha sonra tekrar yüzeye yapıştığı ve aşınmaya karşı direnç oluşturduğu düşünülmektedir. Sertlik, ağırlık kaybı ve aşınma oranında da görüldüğü gibi 180°C'da yeniden çözeltilme sıcaklığında bekleme süresi arttıkça aşınmaya karşı direncin arttığı görülmekte, aşınma sonrası elde edilen yüzeyin SEM görüntüsü de bunu desteklemektedir.

200°C'de yeniden çözeltilme sıcaklığı ve 60 dk bekleme süresi ve daha sonra yeniden yaşlandırılan alaşımın 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrasında aşınan yüzeylerin SEM görüntüsü incelendiğinde, yüzeyde meydana gelen kırılmaların daha da arttığı görülmektedir. Kırılmanın artması yüzeyin sert olduğunu ve aşınma sırasında malzeme yorularak yüzeyin hemen alt tabakasında bir çatlak meydana getirdiği ve daha sonra bu çatlağın ilerleyerek yüzeyden kopmalara neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, aşınan yüzeydeki aşınma yolunun genişliği plastik deformasyon miktarının fazla olması sonucu aşınma yüzeylerinde derin aşınma yolları görülmektedir.

220°C'de yeniden çözeltilme sıcaklığında 60 dk bekleme süresi ve daha sonra yeniden yaşlandırılan 50 N yük altında aşınan alaşımın aşınma yüzeyinin SEM görüntüsü incelendiğinde, kayma yollarının çok ince olduğu ve aşınma yüzeyinde çok küçük kırılmaların meydana geldiği anlaşılmaktadır. Aşınma yüzeyinde ince kırıkların meydana gelmesi malzemenin aşınan parçaların sertliğinin yüksek olduğunu gösterdiği düşünülmektedir. Aşınan yüzeydeki ince kırılma ve yapışmalar aşınma esnasında alaşımın aşınmaya karşı direncin yüksek olduğunun bir göstergesi olduğu düşünülmektedir.

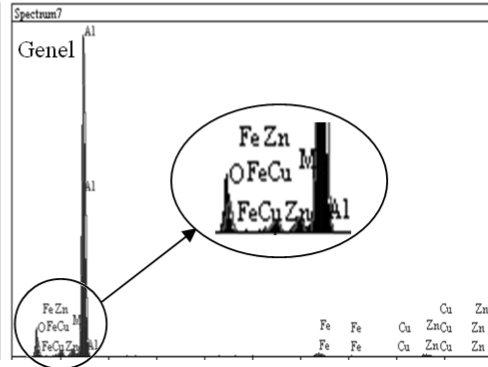
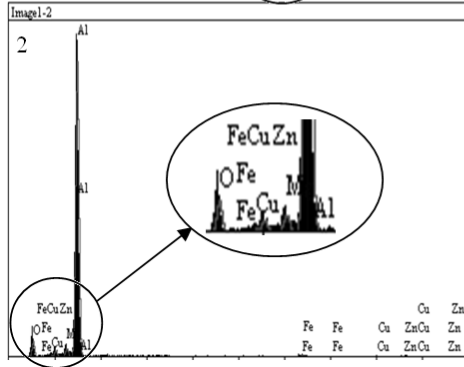
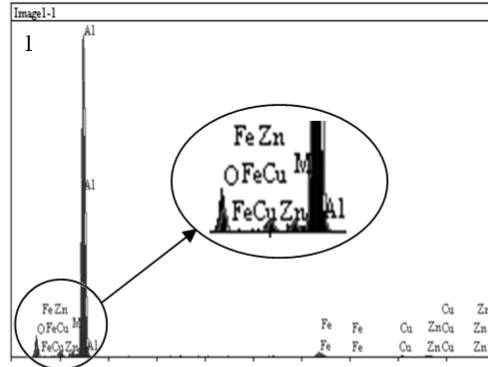
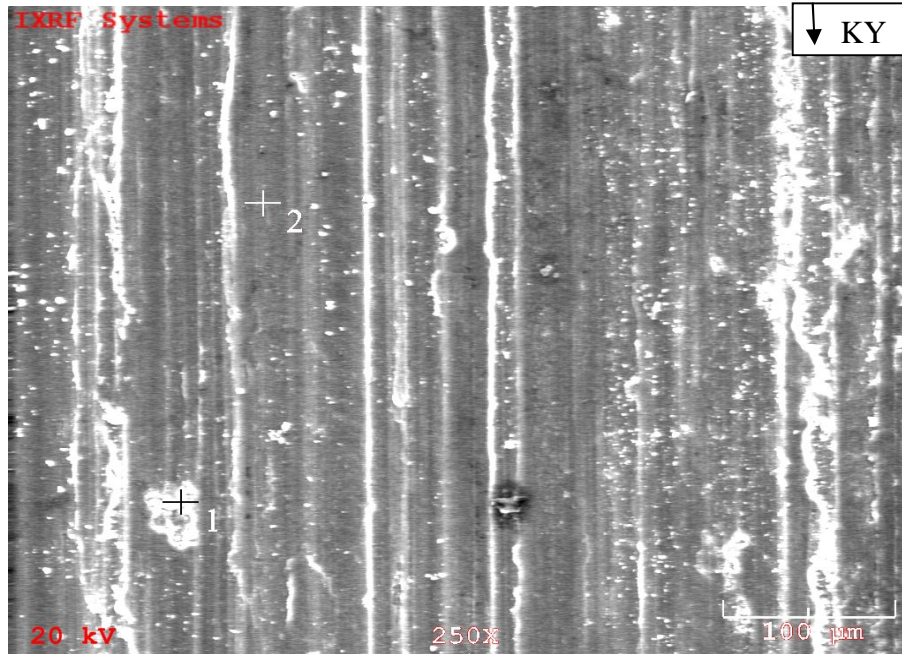
240°C'de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 60 dk bekleme süresi ve yeniden yaşlandırma yapılan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşınma deneylerinde oluşan aşınma yüzeyleri SEM görüntüsü incelendiğinde yüzeyde kırıkların olduğu ve derin aşınma yollarının meydana geldiği görülmektedir. Yüzeydeki derin aşınma yolları malzemenin yoğun bir plastik deformasyona maruz kalarak aşındığının göstergesidir.

260°C'de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 60dk bekleme süresi ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sonrasındaki yüzeyin SEM görüntüsü incelendiğinde, yüzeyde kırılmaların daha az olduğu derin aşınma yolları meydana geldiği görülmektedir. Kırılmaların az olması malzemenin sertliğinin düşük olması nedeniyle devamlı plastik deformasyona maruz kalarak aşınmanın sürdüğü anlaşılmaktadır. Genel olarak SEM görüntüleri incelendiğinde malzemenin aşınma kaybı, sertlik ve aşınma oranı sonuçları ile uyumlu olduğu anlaşılmaktadır.



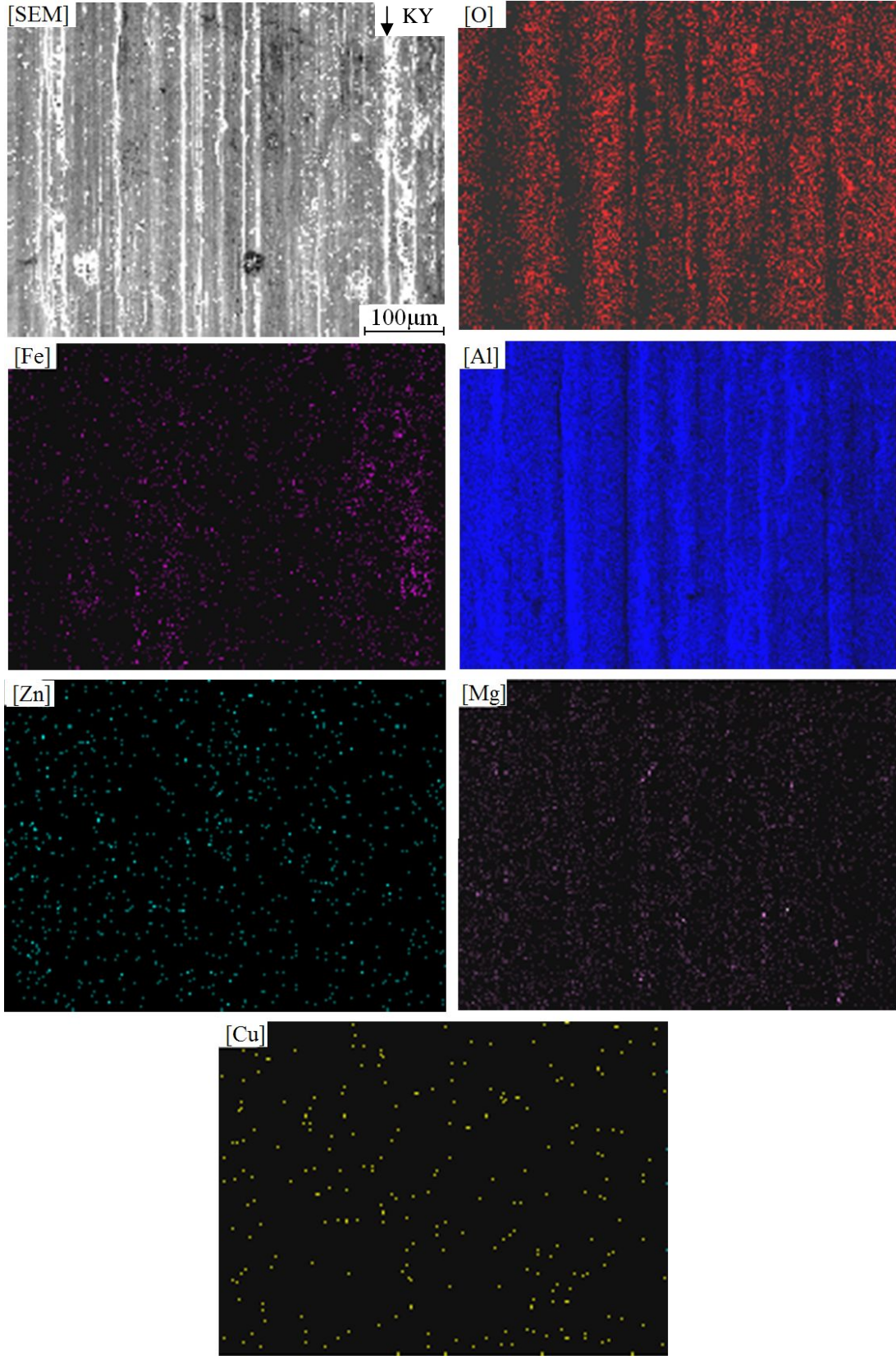
Şekil 6.12. a) 180°C, b) 200°C, c) 220°C, d) 240°C ve e) 260°C sıcaklıklarda ve 60 dk sürede yeniden çözeltilmiş ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımlarının 50 N yük altında uygulanan aşınma deneyi sonrasında aşınma yüzeyinden alınan SEM görüntüleri

220°C'de yeniden çözültüye alma sıcaklığında ve 60 dk bekleme süresinden sonra yaşlandırılan numunelerin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrasında aşınan yüzeylerin SEM/EDS incelemeleri Şekil 6.13'de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, yüzeyde oksijen ve demir oranları dikkat çekmektedir. Aşınma sonrasında bir numaralı nokta incelendiğinde aşınma yüzeyinde kırılma bölgesinden olduğu ve diğer noktalara göre oksijen oranının düşük olduğu görülmektedir. Aşınma sırasında malzeme yorularak çatlak oluşmakta ve devamında bölgesel olarak kopmalar oluşmaktadır. Bu bölgede ısınmadığı veya bölgenin sıcaklığının belirli bir seviyeye çıkmadığından dolayı herhangi bir oksitlenme olayı gerçekleşmez ve dolayısıyla SEM/EDS analizleri esnasında alınan O değerleri düşük olur. Yüzeyde demir oranının fazla olması aşınma esnasında aşınan parçanın sertlik değerlerinin yüksek olması sonucu demir esaslı aşındırıcı diskten kopan parçacıkların yapışması sonucu oluştuğu düşünülmektedir. Genel ve iki numaralı noktanın analizinde oksit oranının yükseldiği görülmektedir. Bu durumda malzemenin yüzeyinin oksit bir film tabakası oluştuğunun bir göstergesidir. Aşınma yüzeyindeki element dağılımını görmek amacı ile SEM/haritalama yapılarak Şekil 6.14'de verilmiştir.



Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%	Fe%	O%
1	73,819	4,185	1,354	1,572	3,302	15,770
2	72,485	2,206	2,099	0,911	2,111	20,187
Genel	70,844	4,044	2,047	0,683	2,844	19,539

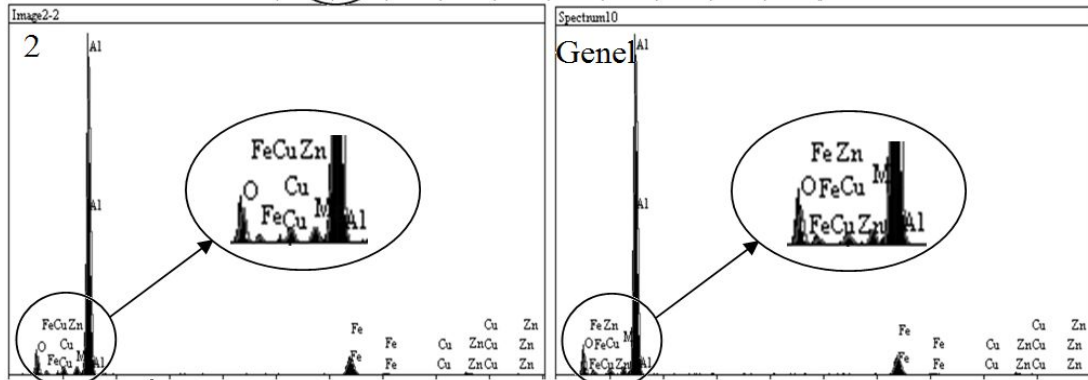
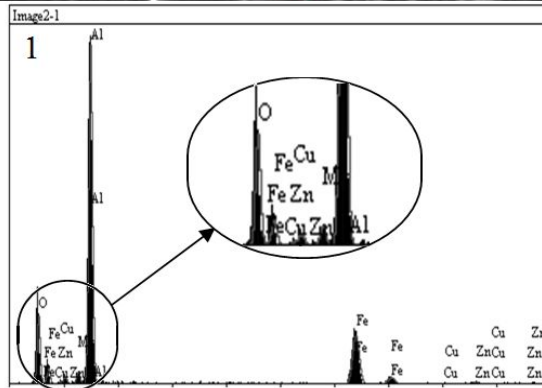
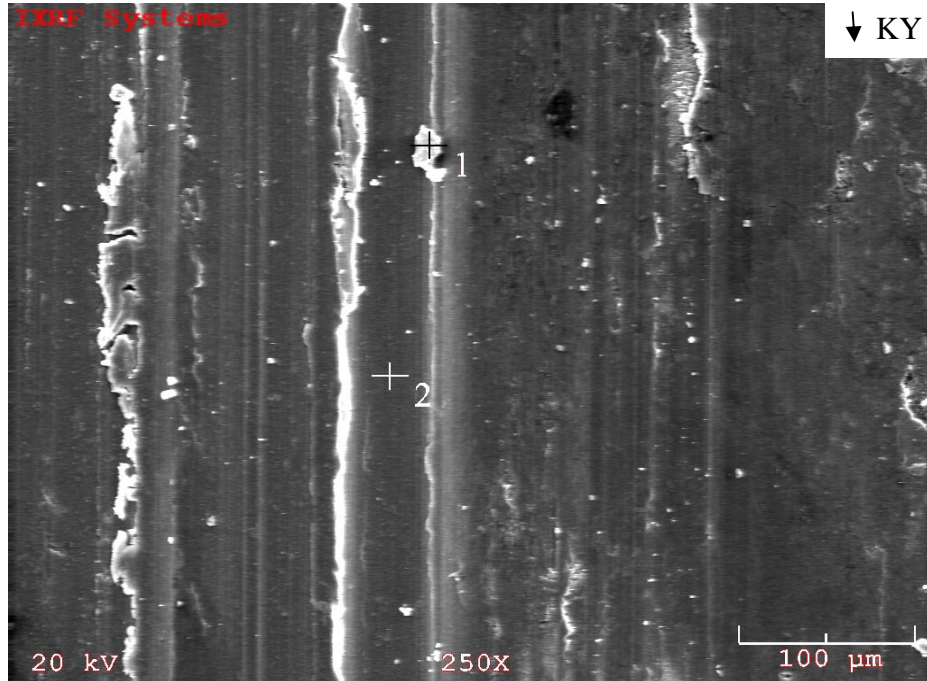
Şekil 6.13. 220°C 60 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan EDS analizleri



Şekil 6.14. 220°C 60 dk yeniden çözeltiye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan SEM/haritalama analiz görüntüsü

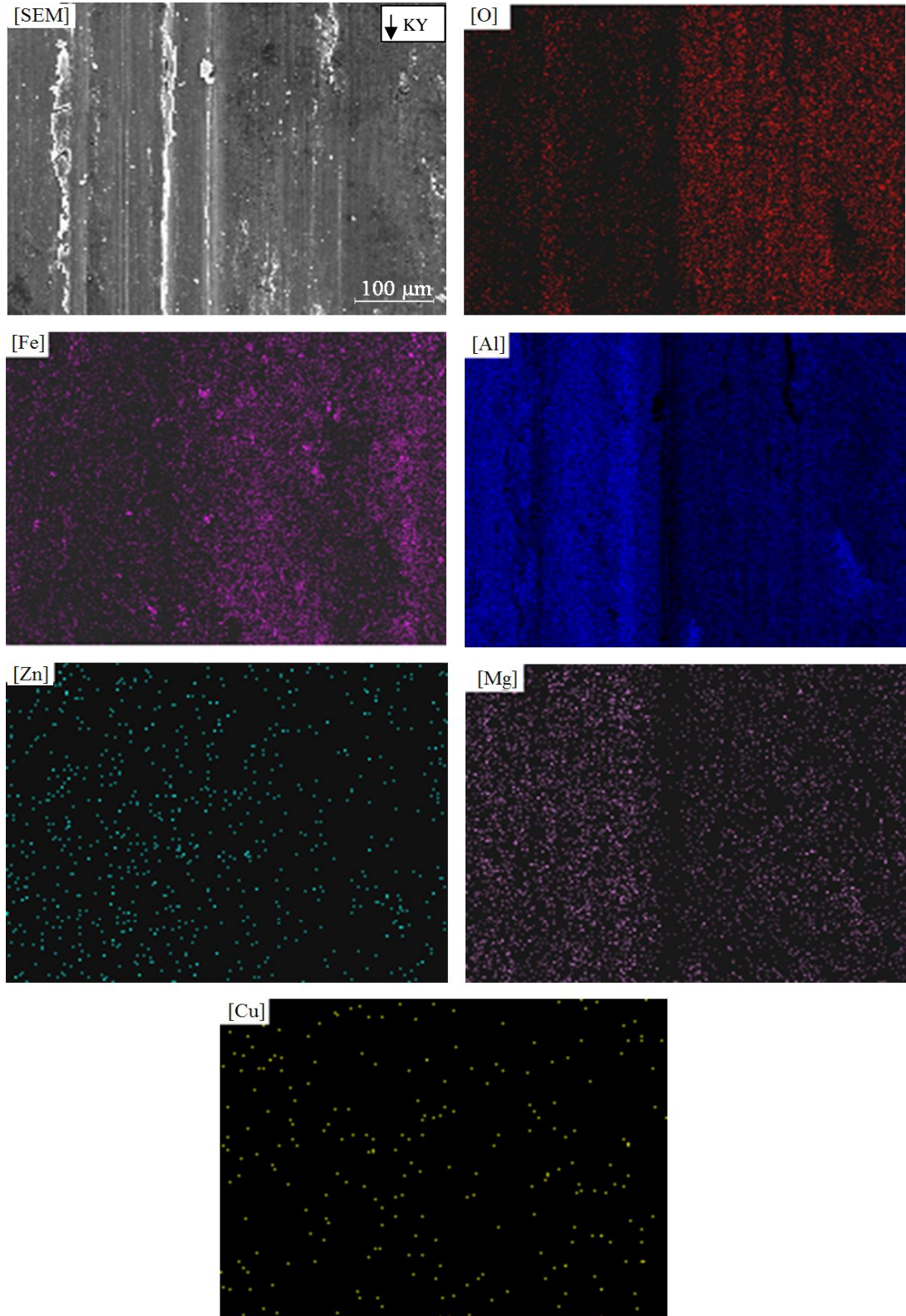
Yeniden çözeltiliye alma sıcaklık ve süreleri incelendiğinde aşınma direnci en yüksek numunelerin 220°C yeniden çözeltiliye alma sıcaklığında 60dk bekleme süresinden sonra yeniden yaşlandırılan numunelerin olduğu belirlenmiştir. En düşük aşınma direncinin ise 260°C’de yeniden çözeltiliye alma ve 75 dk bekleme süresinden sonra yeniden yaşlandırılan numunelerde olduğu belirlenmiştir. En düşük aşınma dayanımına sahip numunelerin aşınma yüzeyinde meydana gelen element dağılımını belirlemek amacı ile SEM/EDS ve SEM/haritalama incelemeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’da verilmektedir. Şekil 6.15 incelendiğinde bir numaralı noktanın O ve Fe değerleri dikkat çekmektedir. Bunun nedeninin aşındırıcı disk yüzeyinden kopan bir parçacıkların tekrar yüzeye yapışması sonucu olduğu düşünülmektedir. Genel ve iki numaralı bölgeden alınan sonuçlar incelendiğinde Fe ve O oranında yine artış olduğu gözlenmektedir. Yüzeyde yoğun bir şekilde Fe ve O ile kaplandığının göstergesidir. 220°C yeniden çözeltiliye alma sıcaklığı 60 dk bekleme süresinde ısıl işlem uygulanan numunenin SEM/EDS görüntüsü ile kıyaslandığında Fe ve O oranlarının yüksek olması malzemenin yüzeyinin sertliğinin düşük olması nedeniyle yüzeye yapışmaların daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum aşınma kaybı, aşınma oranı ve sertlik değerleri ile uyum içerisindedir. Şekil 6.16 incelendiğinde yüzeydeki O oranının fazlalığı dikkat çekmektedir. Kayma yolu meydana gelen bölgede O oranı azalırken kayma yollarının az olduğu sağ tarafında O oranının yüksek olduğu görülmektedir. Görüntünün sağ tarafının yoğun bir şekilde oksit bir tabaka ile kaplandığı düşünülmektedir. Oksijen dağılımına benzer bir şekilde Fe’nin dağılımı görülmektedir. Aşınma sırasında yüzeyin sol tarafında O ve Fe oranının düşüklüğüne karşın Al, Zn ve Mg oranlarının yüksek olduğu görülmektedir. Karşılaşılan bu durum o bölgenin yoğun bir şekilde plastik deformasyona maruz kalarak yüzeyden ayrılan parçacık oranının fazla olması ile Al, Zn ve Mg değerlerinin yüksek olmasına neden olduğu düşünülmektedir. Aynı şekilde 220°C yeniden çözeltiliye alma sıcaklığında 60dk bekleme süresinde yeniden çözeltiliye alınan ve yaşlandırılan alaşımın SEM/Haritalama görüntüleri incelendiğinde aşınan yüzeylerde O ve Fe değerlerinin yüksek olması sertlik, aşınma kaybı ve aşınma oranı ile uyum içerisindedir. Aşınma oranı, aşınma kaybı, sertlik, SEM/EDS ve SEM/haritalama incelemeleri ile birlikte sürtünme katsayısı değerleri de incelenmiştir.





Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%	Fe%	O%
1	45,750	1,807	1,742	0,510	19,205	30,985
2	65,334	2,285	1,946	0,544	11,165	18,726
Genel	65,431	2,003	1,830	0,880	11,301	18,556

Şekil 6.15. 260°C 75 dk yeniden çözeltilmeye alma işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan EDS analizleri



Şekil 6.16. 260°C 75 dk yeniden çözeltilme işlemi ve daha sonra yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan numunenin 50 N yük altındaki aşınma deneyi sonrası aşınan yüzeyden alınan SEM/haritalama görüntüleri

Aşınma deneyi sonrasında elde edilen sürtünme katsayısı değerleri Şekil 6.17' de verilmektedir. Şekil incelendiğinde 2000 metre kayma mesafesinde 15 N yük altında aşınma deneyleri esnasında sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde 260°C yeniden çözeltilme sıcaklığında ısıl işlem uygulanan alaşımın tüm bekleme sürelerinde sürtünme katsayısının en yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. Sürtünme katsayısı değerlerinin yeniden çözeltilme süreleri arttırıldığında sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir. Bu durumun ısıl işlem uygulanan alaşımın sahip olduğu sertlik değerleri ile çelişkili olduğu görülmektedir. Yeniden çözeltilme süresi arttıkça sertliğin düştüğü, buna bağlı olarak da sürtünme katsayısının arttığı düşünülmektedir. Bu durumun nedeninin alaşımın sahip olduğu sertliğin düşüşüne paralel olarak numune yüzeyinden kopan parçaların tekrar yüzeye sıvanması ve sürtünme sırasında numune ve aşındırıcı disk yüzeyinde oluşan ısı etkisi ile yüzeyde oksit bir film tabakası meydana gelmesi ile katı yağlayıcı etkisi gösterdiği için sürtünme katsayısını azalttığı düşünülmektedir.

Aynı durumun 240°C yeniden çözeltilme almada sıcaklığında meydana geldiği görülmektedir. 240°C'de yeniden çözeltilme alınan numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin 260°C yeniden çözeltilme alınan numunelerden düşük olmasının nedeni sertliğinin daha yüksek olması ve aşınmaya karşı gösterdiği direncin fazla olmasından kaynaklanmaktadır.

180°C yeniden çözeltilme alınan numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde bekleme süresindeki artışla azaldığı görülmektedir. Bunun nedeninin bekleme sürelerinden artması ile yapıda oluşan çökelti miktarının artması ve yaşlandırma işlemi sonrasında sertliğin artmasıdır. Numunelerin belirlenen süreler içerisinde aşırı yaşlanma periyoduna girmediği ve buna bağlı olarak da sürtünme katsayılarının, bekleme süreleri arttırıldığında azaldığı görülmektedir.

200°C yeniden çözeltilme alınan numunelerin 45 dk bekleme süresine kadar sürtünme katsayısının azaldığı 45 dk'dan sonra ise arttığı görülmektedir. Yeniden çözeltilme alma işleminde 45 dk, yeni oluşan çökelti miktarının ve boyutunun arttığını göstermektedir. Daha sonraki bekleme sürelerinde de yapı içerisindeki mevcut

çökeltilerin boyutunun arttığı ve buna bağlı olarak da numunenin aşırı yaşlanma periyoduna girdiği bunun sonucunda girerek sürtünme katsayısını arttırdığı düşünülmektedir. Sürtünme katsayısının artması alaşımın sertliğinin azalması sonucunda aşınmaya karşı direncin azaldığını ve buna bağlı olarak aşınma miktarının arttığını göstermektedir.

220°C yeniden çözeltilmeye alınan numunelerin, en düşük sürtünme katsayısı değerlerine sahip olduğu görülmektedir. 220°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 60 dk bekletildikten sonra yeniden yaşlandırılan numunelerin sürtünme katsayısının azaldığı 75 dk da ise malzemenin aşırı yaşlanma periyoduna girerek sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir.

30 N yük uygulanan alaşımların sürtünme katsayısı incelendiğinde 260°C’de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 30 dk bekletildikten sonra yeniden yaşlandırılan numunelerin sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. Ancak 45 dk ise sürtünme katsayısının artmasının nedeni, numunenin sertliğinin düşmesi ancak yüzeyden kopan parçaların yüzeye yapışması oksit film tabakası oluşmasıdır. Ancak uygulanan yükün artması nedeniyle oluşan oksit tabakasının kırılarak yüzeyden ayrılması da sürtünme katsayısının artmasına neden olmaktadır.

240°C yeniden çözeltilmeye alınan ve farklı sürelerde bekletildikten sonra yaşlandırılan ve 30 N yük altında test edilen numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde 260°C’de meydana gelen mekanizmanın olduğu görülmektedir. Şekil 6.6’de verilen sertlik değerlerinden anlaşıldığı gibi, sertliğin 260°C göre daha fazla olması sürtünme katsayısının da daha düşük olmasına neden olmaktadır.

180°C yeniden çözeltilmeye alındıktan sonra farklı sürelerde bekletildikten sonra yeniden yaşlandırılan numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, sürtünme katsayısının bekleme süresi ile azaldığı görülmektedir. Bekleme süresi arttıkça sertliğin artması buna bağlı olarak dayanımın yükselerek aşınmaya karşı direnci arttırmaktadır.

200°C'de farklı bekleme sürelerinde yeniden çözeltilen ve sonra yeniden yaşlandırılan numuneler incelendiğinde 45 dk ya kadar sürtünme katsayısında düşüş olduğu ve daha sonraki bekleme sürelerinde ise sürtünme katsayısının yükseldiği görülmektedir. 45dk bekleme süresinden sonraki bekleme sürelerinde malzemede aşırı yaşlanma meydana gelmekte ve buna bağlı olarak da sürtünme katsayısının, (plastik deformasyon miktarı artarak aşınmaya karşı direnci azaltır) artmasına neden olduğu düşünülmektedir.

220°C'da yeniden çözeltilen ve farklı sürelerde bekletilen numuneler incelendiğinde 30 N yük altında test edilen numunelerin en düşük sürtünme katsayısına sahip olduğu anlaşılmaktadır. 60 dk ya kadar bekletilen numunelerin sürtünme katsayısının azaldığı, 60 dk'dan sonra ise aşırı yaşlanmaya bağlı olarak dayanımın düşmesi sonucu sürtünme katsayısının arttığı düşünülmektedir. Ayrıca 30N yük altında test edilen tüm yeniden çözeltilen alma sıcaklıklarında, numunelerin sürtünme katsayısı değerlerinin 15 N'a göre daha az olduğu görülmektedir. Karşılaşılan bu durum numune yüzeyine uygulanan basıncın artmasına bağlı olarak oluşan oksit film tabakasının artması, ağırlık kaybı artmasına rağmen sürtünme katsayısının düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.

50 N yük altındaki aşınma deneylerinde elde edilen sürtünme katsayısı değerleri incelendiğinde 260°C'de yeniden çözeltilen numunelerin sürtünme katsayılarının bekleme süresine paralel olarak arttıkça arttığı görülmektedir. Sertliğin bekleme süresindeki artışla azaldığı ve buna bağlı olarak sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir. 15 N ve 30 N yük altındaki aşınma deneylerinde karşılaşılan durumun olmadığı görülmektedir. Uygulanan yükün artması ile numunelerin aşınmaya karşı gösterdiği direnç azalmakta yüzeyde oluşan oksit film tabakalarının da kırılarak sürtünme katsayısını ve aşınma miktarını arttırdığı düşünülmektedir.

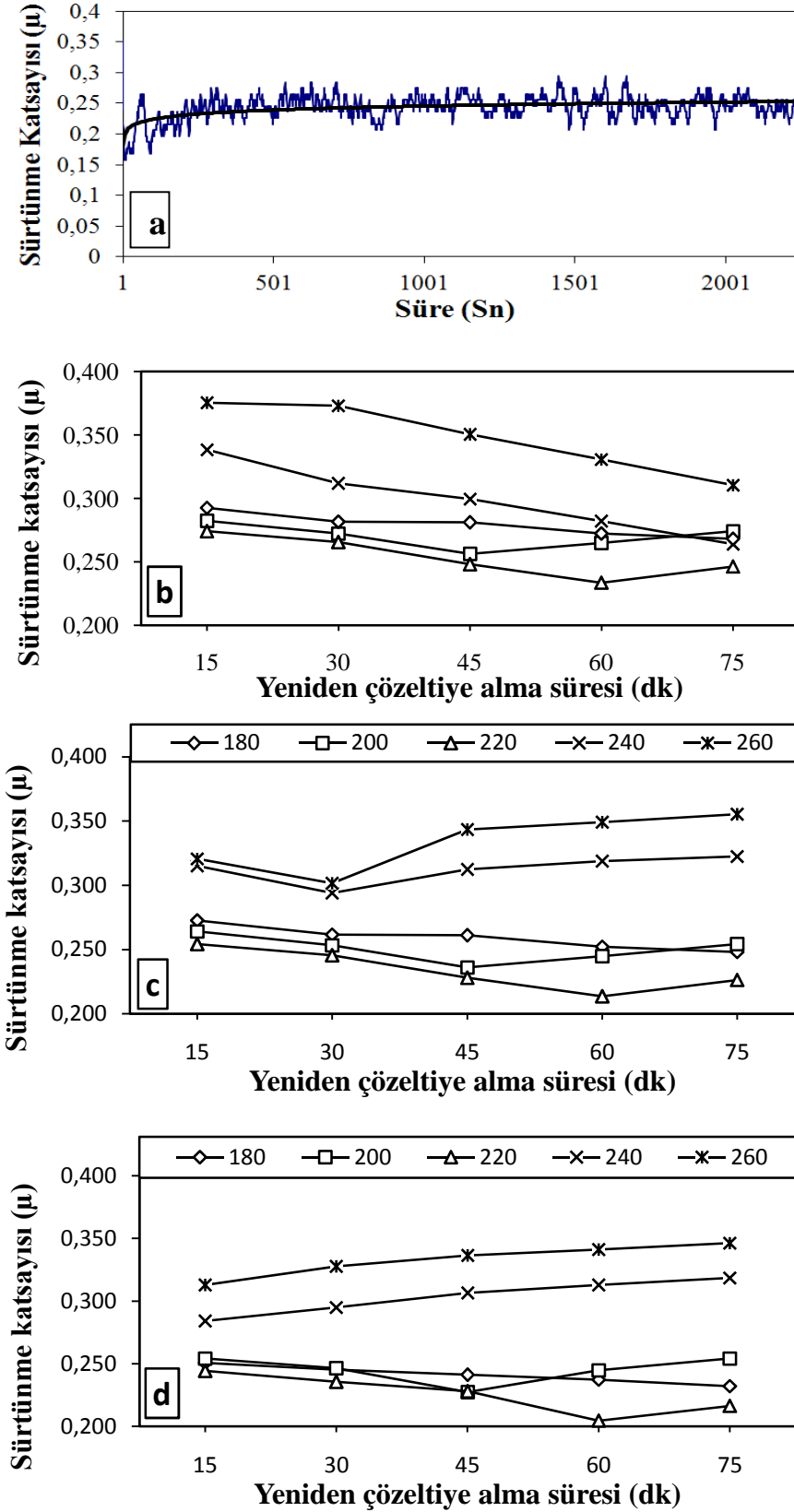
240°C'de farklı sürelerde yeniden çözeltilen numunelerin sürtünme katsayıları 260°C'de işlem gören numunelerin sürtünme katsayıları karşılaştırıldığında daha düşük olduğu, bekleme süresinin artması ile sürtünme katsayısının arttığı

görülmektedir. 180°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı incelendiğinde 50 N yük altındaki sürtünme katsayısının bekleme süresi arttıkça diğer yüklerdeki gibi azaldığı görülmektedir.

200°C'de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 50 N yük altındaki sürtünme katsayıları incelendiğinde diğer yükler altında karşılaşılan aşınma mekanizmalarının aynıysın meydana gelerek bekleme süresi 45dk'ya kadar olan numunelerin sürtünme katsayısının azaldığı, bekleme süresindeki artışla beraber sürtünme katsayısının da arttığı görülmektedir.

220°C'de yeniden çözeltilmeye alınan ve farklı sürelerde bekletildikten sonra yeniden yaşlandırılan numunelerin 50 N yük altındaki sürtünme katsayıları incelendiğinde sürtünme katsayısı değerlerinin sertliğin artmasına paralel olarak sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. 60 dk ya kadar olan bekleme süresinde sertliğin artmasına paralel olarak sürtünme katsayısının azaldığı 75 dk bekleme süresinde ise arttığı görülmekte 50 N yük altında yüzeyden kopmalar meydana gelerek aşınma katsayısının artmasına neden olmuştur.

Bu çalışmada yapılan aşınma deneylerinde 0,2-0,4 arasında sürtünme katsayısı değerleri bulunmuştur. Bu deney sonuçları literatürde elde edilen değerlerle uyumlu olduğu görülmüştür [68]. 7075 alüminyum alaşımlarına yaşlandırma işleminden sonra aşınma deneyi uygulanmıştır. Yaşlandırılan numunenin içerisinde  $\eta'$  faz miktarı arttığından malzemenin sertlik değerleri artmakta ve aşınma deneylerinde daha düşük sürtünme katsayısı değerleri elde edilmektedir. Yüksek sıcaklıklarda yapılan yeniden çözeltilmeye alma işlemlerinde malzemenin aşırı yaşlanma sonucu iri taneli  $\eta$  kararlı fazı oranının artarak sertlik değerlerini düşürmektedir. Aşınma deneyi esnasında aşınma çifti temas yüzeyinde arasında artan sıcaklığa bağlı olarak oksit tabakası oluşmaktadır. Oluşan oksit filmi aşınma çifti arasında katı yağlayıcı etkisi yaparak uygulanan yük miktarının artışına bağlı olarak sürtünme katsayısı değerlerini azaltmaktadır [12, 69, 70]. Bu çalışmada yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma sonucunda sertlik değerleri arttığından ve içerisinde sert ve aşırı yaşlanmış fazla bir arada olduğundan aşınma esnasında mekanizmalar farklılaşmıştır.



Şekil 6.17. 180-260°C sıcaklıklarda ve 15-75 bekleme sürelerinde yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının (a) 220°C 60 dk'da 15N'daki zamana bağlı aşınma grafiği ,(b) 15N, (c) 30N ve (d) 50N yükler altında aşındırılan numunelerin sürtünme katsayısı değerleri.

#### 6.1.4 Çekme deneyleri

Yeniden çözeltiye alma sıcaklıkları ve bekleme süreleri incelendiğinde en optimum çekme dayanımı değeri 220°C yeniden çözeltiye alma sıcaklıklarında sahip olduğu görülmektedir. 220°C’de yeniden çözeltiye alma ve 60dk bekleme süresi sonrasında yeniden yaşlandırılan alaşımını çekme dayanımı eğrisi Şekil 6.18’de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve sürelerde gerçekleştirilen yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma işlemleri sonucunda uygulanan çekme deneylerinde alaşımların sahip olduğu çekme dayanımları ve % kopma uzamaları Şekil 6.19’de verilmiştir.

Çekme dayanımını gösteren grafik incelendiğinde 180°C’de yeniden çözeltiye alma sıcaklığında bekleme süresi artırıldığında malzemenin çekme dayanımı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin sertlik değerleri ile paralellik göstermektedir. Bu yeniden çözeltiye alma sıcaklığında bütün bekleme süreleri içerisinde aşırı yaşlanma periyoduna girmiş ve alaşımın dayanımı sürekli artış göstermiştir. Kopma uzaması da bekleme süresinin artışına bağlı olarak sürekli azaldığı görülmektedir. Alaşımın dayanım değerleri arttıkça % kopma uzaması değerleri azalmaktadır. Ancak grafik dikkatle incelendiğinde çekme dayanımının yüksek olmasına karşılık kopma uzamasının da yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum mevcut çökelek oranının yüksek ve boyutlarının düşük olması aşırı yaşlanma olmamasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca tane sınırlarında oluşan çökeltilerin zamanla aralıklı olması ve genişlemesinde alaşımın % kopma uzamasına katkı sağladığı düşünülmektedir.

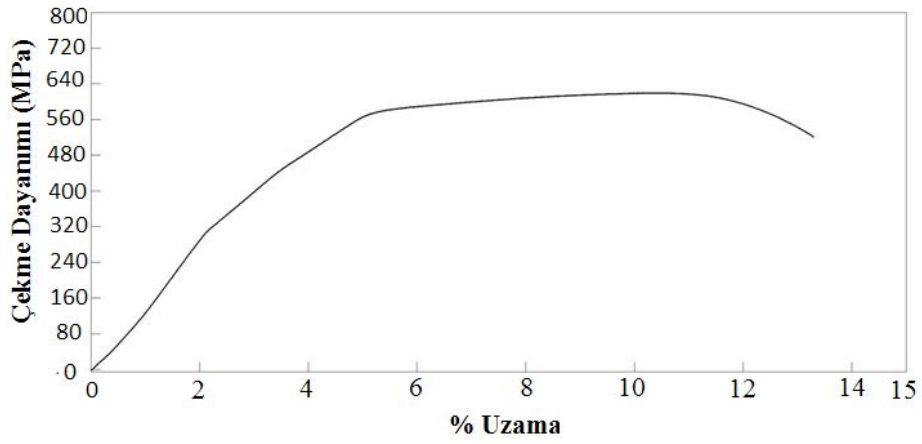
200°C’de yeniden çözeltiye alma sıcaklığı uygulanan alaşımın çekme dayanımı incelendiğinde çekme dayanımının 45 dk kadar bekleme sürelerinde arttığı görülmektedir. Bu bekleme süresinden sonraki bekleme sürelerinde ise malzemenin aşırı yaşlanma periyoduna girerek dayanım değerlerinin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir. Buna karşılık kopma uzaması ters orantılı olarak 45 dk’ya kadar sürekli azalmakta, sonraki bekleme sürelerinde ise numunelerin dayanımın düşmesine paralel olarak kopma uzaması değerleri artmaktadır.



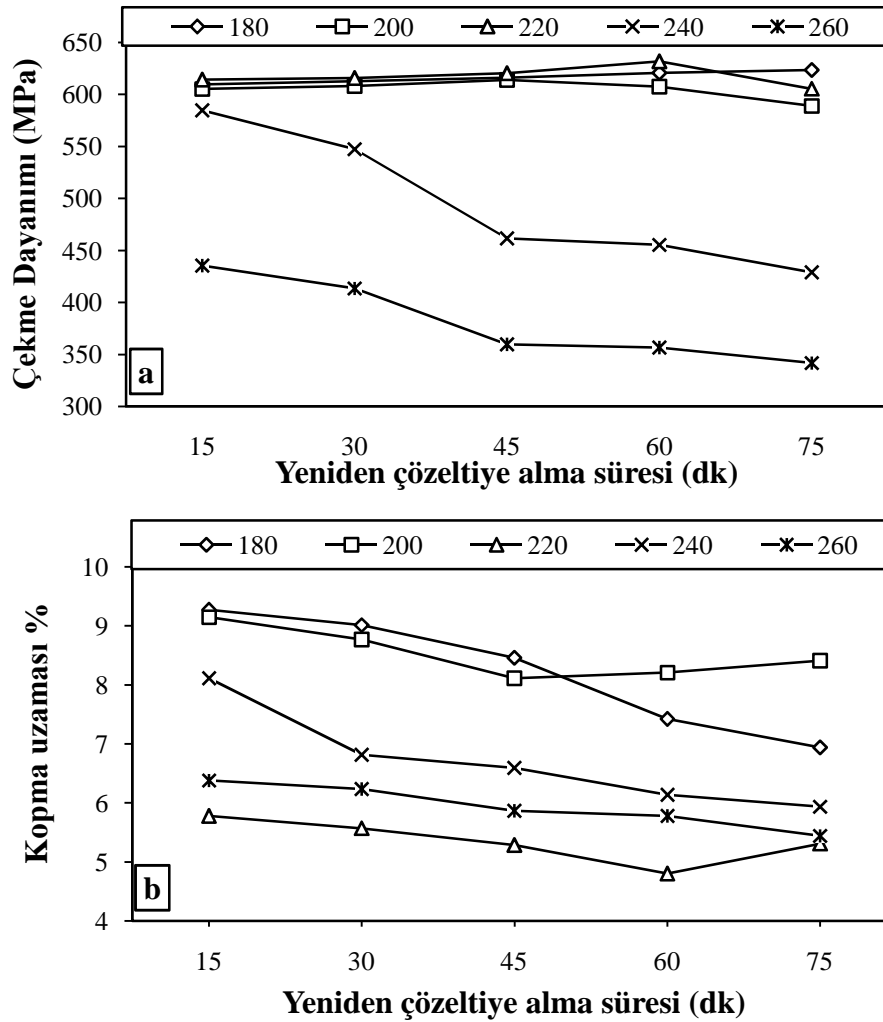
220°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı incelendiğinde 60 dk'ya kadar bekletilen numunelerin çekme dayanımında artış görülmektedir. Optimum çekme dayanımı ise 220°C'da 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan alaşımların olduğu, daha sonraki bekleme sürelerinde çekme dayanımı değerlerinin azaldığı gözlenmektedir. Kopma uzaması incelendiğinde 60dk yeniden çözeltilmeye alma süresine kadar azalmakta daha fazla bekleme süresinde ise artmaktadır. Çekme dayanımlarında en yüksek değeri veren 220°C yeniden çözeltilmeye alınan alaşımın kopma uzamasında da en düşük değerleri vermektedir.

240°C yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında çekme dayanım değerlerinin sürekli olarak azaldığı görülmektedir. Bu sıcaklıkta uygulanan bekleme sürelerinde malzeme aşırı yaşlanmaya devam ettiğinden dayanımın azaldığı görülmektedir. Ancak kopma uzaması incelendiğinde ters orantı olarak bekleme süresine bağlı olarak azaldığı görülmektedir. Bu durum aşırı yaşlanma periyoduna girdiğinde atomik kafes sistemi içerisinde bulunan çökeltilerin boyutunun artması ile bağımsız olarak ikinci bir faz oluşturmakta ve çekme deneyi, sırasında süneklik azalarak kopma uzaması değerleri düşmektedir. Bekleme süresini artırdığımızda malzemenin çekme dayanımında düşüş görülmektedir.

260°C yeniden çözeltilmeye alınan alaşımın çekme dayanımı sıcaklığını incelendiğinde yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında bekleme süresi artışına bağlı olarak çekme dayanımının azaldığı görülmektedir. Bu sertlik ölçümlerinde alınan sonuçlar ile çekme dayanımı değerleri uyum içerisinde. 240°C sıcaklığında yeniden çözeltilmeye alınan çekme deneylerinde benzer durum ile karşılaşmakta ve aynı nedenlerden kaynaklanmaktadır.

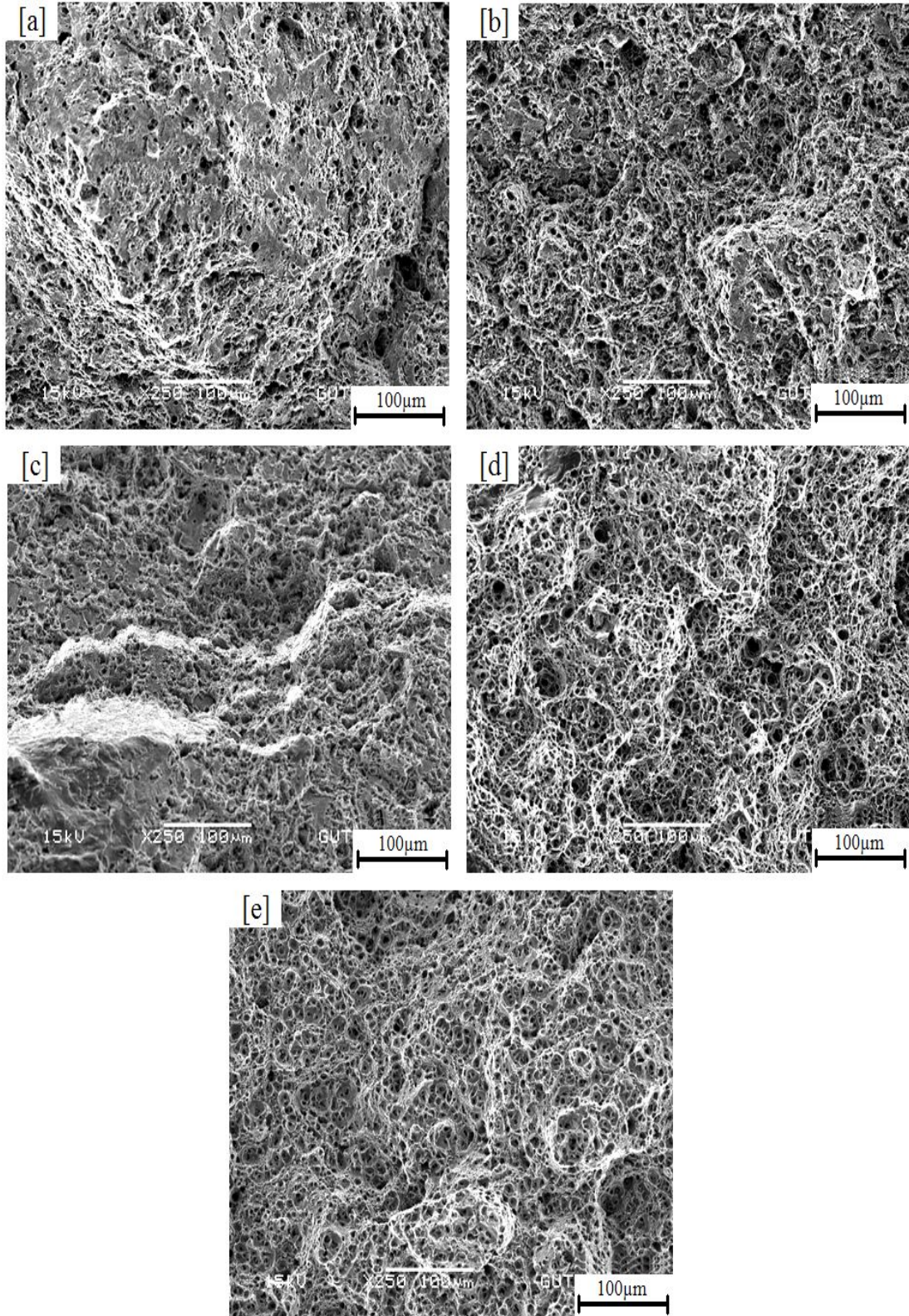


Şekil 6.18. 220°C sıcaklıkta 60 dk bekleme süresinde yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının çekme dayanımı eğrisi



Şekil 6.19. 180-260°C sıcaklıklarda ve 15-75 dk bekleme sürelerinde yeniden çözeltiye alma ve yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) çekme dayanımı, b) kopma uzaması değerleri

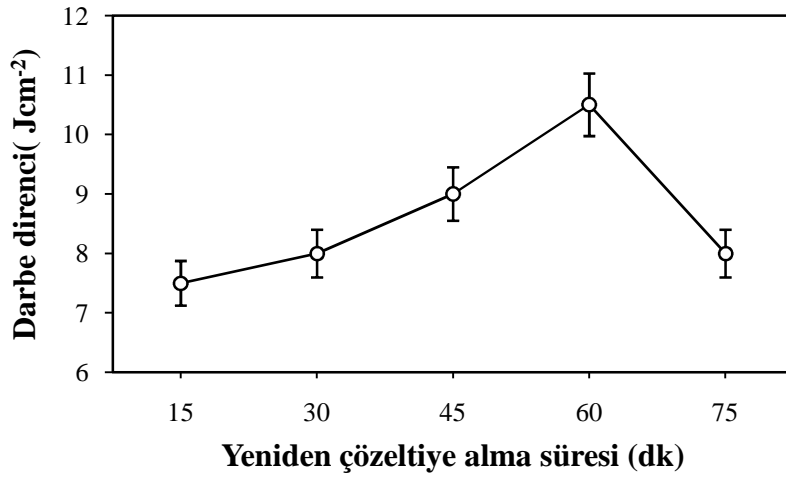
Yeniden çözeltiliye alma ve yeniden yaşlandırma işlemi yapılan numunelerin çekme testleri oluşan kırık yüzey SEM görüntüleri Şekil 6.20'de verilmiştir. 180°C sıcaklıkta yeniden çözeltiliye alınan numunelerinin çekme sonrası kırılma yüzeyi incelendiğinde yüzeyde gevrek kırılma ve sünek kırılmanın beraberce meydana geldiği görülmektedir. Dayanımı çekme grafiğinde de dayanımın yüksek olmasına paralel bir görüntü meydana geldiği düşünülmektedir. 200°C sıcaklığında yeniden çözeltiliye alınan alaşımın yüzeyde sünek bir kırılma meydana geldiği görülmektedir. 220°C sıcaklığında yeniden çözeltiliye alınan alaşımın gevrek ve sünek kırılmaların meydana geldiği ancak gevrek kırılmanın daha yoğun olduğu görülmektedir. Bu durum dayanımın değerlerinin yüksek olmasının bir göstergesidir. 240°C ve 260°C sıcaklıklarında yeniden çözeltiliye alınan alaşımların kırılma yüzeyi görüntülerinde sünek kırılmaların meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.20. a) 180°C, b) 200°C, c) 220°C, d) 240°C ve e) 260°C sıcaklıklarında ve 60 dk bekleme süresinde yeniden çözeltilmeye alınan ve yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının çekme numunelerinin SEM görüntüleri

### 6.1.5. Çentik darbe deneyleri

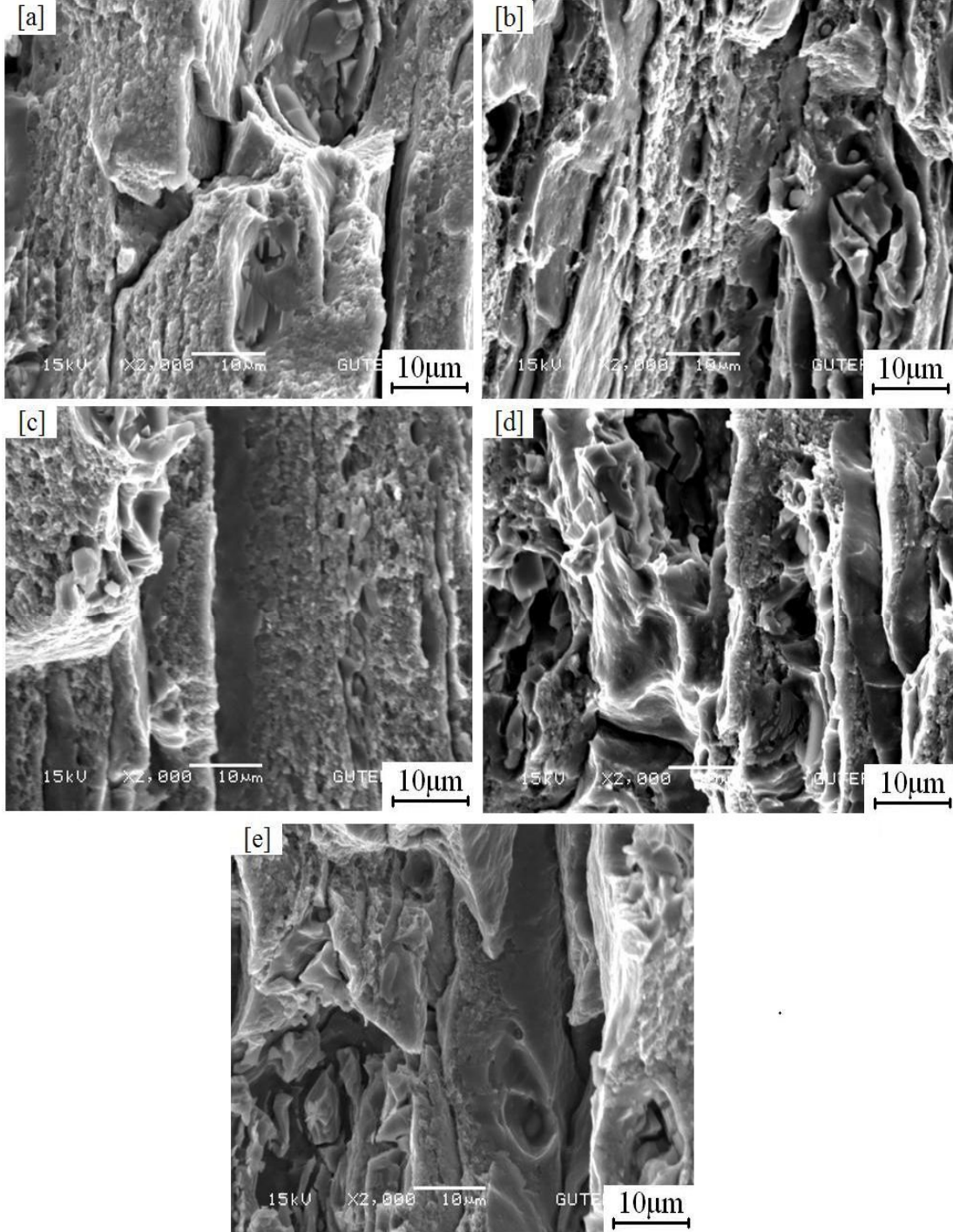
Çentik darbe deneylerinde 220°C’de sıcaklığında 15, 30, 45, 60,75 dk bekleme sürelerinde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma 7075 alüminyum alaşımlarına uygulanmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.21’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde darbe enerjisinin bekleme süresinin artışına bağlı olarak arttığı ve 60 dk bekleme süresinden daha fazla yeniden çözeltilmeye alınan numunelerde direncin azaldığı görülmüştür. Darbe direncindeki düşüşün, bu yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı ve bekleme süresinde aşırı yaşlanma periyoduna girmesinden kaynaklanmaktadır. Oluşan çökeltiler büyüyerek bağımsız bir faz oluşturma eğiliminde olduğu ve böylece darbe deneyi esnasında kompozit gibi davranarak darbe direncinin düşmesine neden olduğu düşünülmektedir.



Şekil 6.21. 220°C’de farklı sürelerde yeniden çözeltilmeye alınan numunelerin darbe direnci değişimi

Darbe deneyleri esnasında alaşımlarda oluşan kırık yüzeylerinin SEM görüntüleri Şekil 6.22’de verilmektedir. Darbe deneyi esnasında oluşan kırılma yüzeylerinin çekme deneyi sonrasında oluşan kırılma yüzeylerine benzediği görülmektedir. Bu deney esnasında alaşım dinamik yüklere maruz kaldığında daha gevrek kırılma görülmektedir. Çatlaklar daha büyük ve geniş alanı kapsamaktadır. Şekildeki görüntüler incelendiğinde 220°C’de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığında 15 dk ve 60 dk bekleme sürelerinde ısıl işleme tabi tutulan numunelerin benzer kırılma yüzeyi göstermektedir. Her iki numunede daha geniş gevrek kırılma yüzeyleri

gözlenmektedir. Bu iki numunenin benzer darbe enerjisi değerleri elde edilmiştir. Elde edilen darbe deneyi sonuçları ile kırılma yüzey mikroyapıları birbiri ile uyuşmaktadır. Bekleme süresindeki artışa paralel olarak kırılma yüzeyi mikroyapıları daha sünek kırılmayı onaylamaktadır.



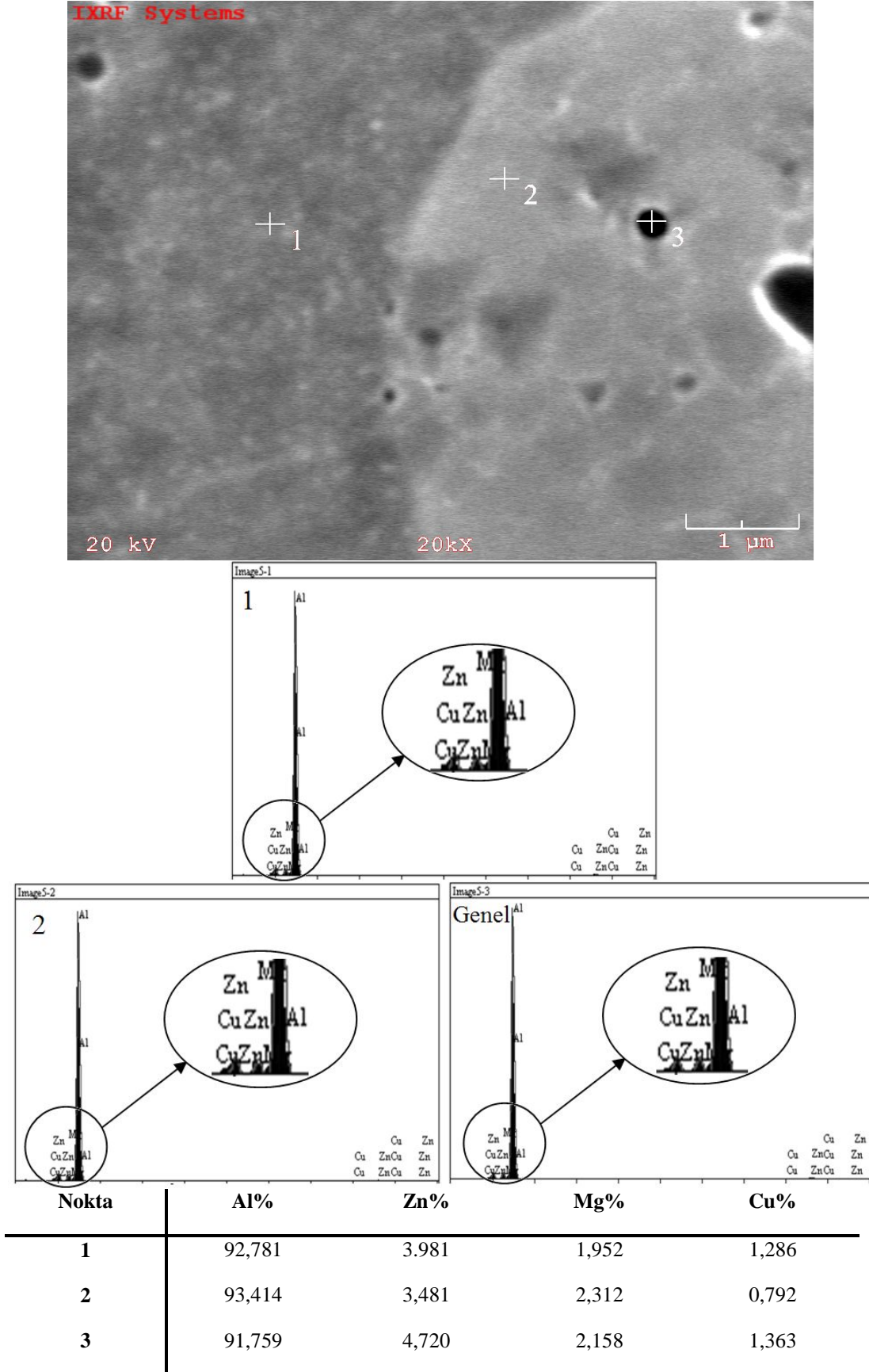
Şekil 6.22. 220°C yeniden çözeltiye alma sıcaklığında a) 15, b) 30, c) 45, d) 60, e) 75 dk sürelerinde yeniden çözeltiye alma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımına uygulanan çentik darbe deneyi sonucundaki kırık yüzeylerinin SEM görüntüsü

## **6.2 Yeniden Yaşlandırma Sıcaklıklarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi**

Farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözeltilmeye alma işlemi sonrasında 7075 alüminyum alaşımına uygulanan sertlik, aşınma, çekme ve darbe deneyleri gibi mekanik özelliklerinin sonrasında optimum yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı 220°C ve 60 dk bekleme süresinin olduğu belirlenmiştir. Yeniden çözeltilmeye alma sıcaklıkları belirlendikten sonra optimum yeniden yaşlandırma sıcaklığının belirlenmesi amacıyla 100, 110, 120, 130 ve 140°C gibi farklı sıcaklıklarda 24 saat sürede yeniden yaşlandırma ısıl işlemi yapılmıştır. Bir önceki bölümde yapılan mikroyapı ve mekanik özelliklerinin incelenmesine aynen devam etmiştir.

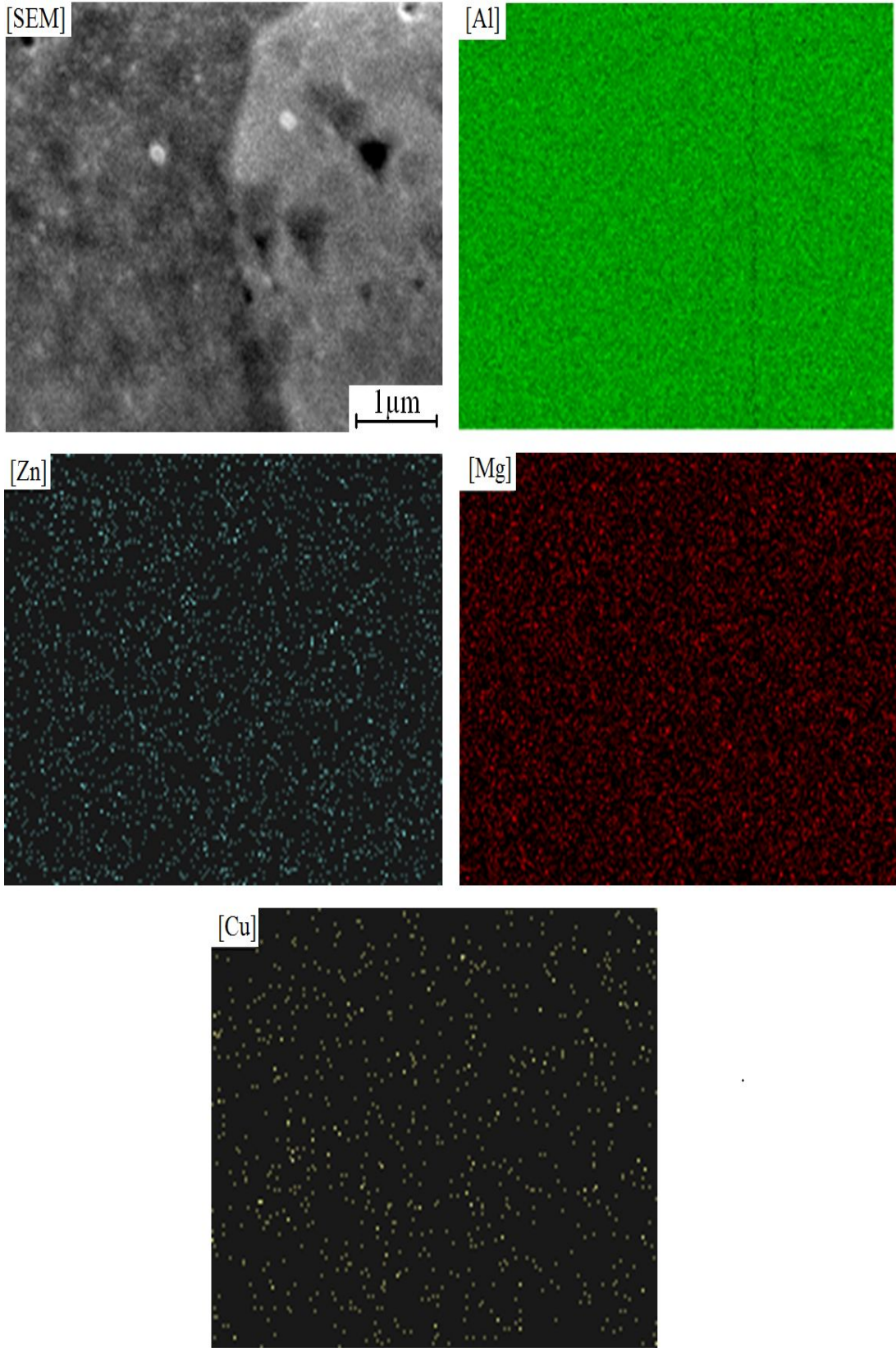
### **6.2.1 Mikroyapı incelemeleri**

220°C'de yeniden çözeltilmeye alma ve daha sonra yeniden yaşlandırma ısıl işlemine tabi tutulan sonucu alüminyum 7075 alüminyum alaşımlarının mikroyapıdaki element yoğunluğu belirlemek amacı ile SEM/EDS incelemeleri yapılmıştır. 120°C'da 24 saat yaşlandırılan numunelerin SEM/EDS ve SEM/haritalama incelemeleri Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'de verilmiştir. 140°C sıcaklığında yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS incelemeleri Şekil 6.23'de ve verilmiştir. 220°C'da 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve daha sonra 140°C'da 24 saat yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/EDS analizi incelendiğinde, bir ve iki numaralı noktaların analizlerinin birbirlerine yakın olduğu anlaşılmaktadır. Üç numaralı nokta incelendiğinde Zn oranının yüksek olduğu ve bu bölgenin Zn'ce yoğun ikinci faz partikül olduğu düşünülmektedir. Mikroyapı içerisindeki element yoğunluğu dağılımının daha iyi belirlenmesi amacı ile SEM/haritalama incelemeleri Şekil 6.24 verilmiştir.



Şekil 6.23. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS analizi

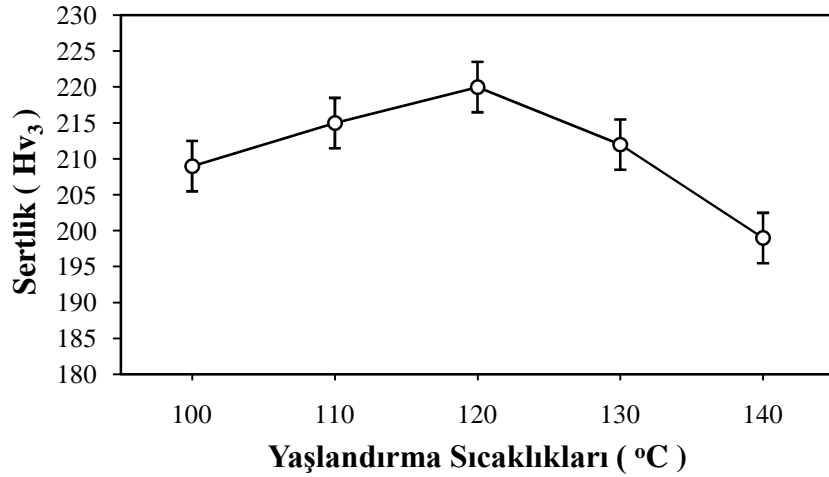




Şekil 6.24. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının SEM/haritalama analizi

### 6.2.2. Sertlik ölçümleri

220°C sıcaklıkta 60 dk sürede yeniden çözeltilmeye alınan ve daha sonra farklı sıcaklıklarda 24 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının sertlik dağılımı Şekil 6.25’de verilmektedir. 100°C yeniden yaşlandırılan numunenin sertlik değeri incelendiğinde yaşlandırma sıcaklığının düşük olması nedeniyle 24 saat sürede yaşlanmanın tam olarak gerçekleşmediğinden elde edilen sertlik değerinin düşük olduğu anlaşılmaktadır. 110°C sıcaklığında yeniden yaşlandırma sonrasında sertliğinin 100°C’a göre daha yüksek olduğu ve sıcaklığın yükselmesi ile yaşlanma oranının arttığı buna bağlı olarak sertlik değerinin de arttığı görülmektedir. 120°C sıcaklığında yeniden yaşlandırma sonrasında sertlik değerinin maksimuma ulaştığı görülmektedir. Yeniden yaşlandırma sıcaklıkları arasında en optimum sıcaklığın 120°C’de olduğu anlaşılmaktadır. 130°C sıcaklığında yeniden yaşlandırma işlemi uygulanan alaşımın sertliği incelendiğinde belirlenen sıcaklıkta aşırı yaşlanma periyoduna girerek mikroyapı ve tane sınırı içerisindeki ve tane içerisindeki çökeleklerin boyutunun artarak kafes sistemine uyumluluğun bozularak bağdaşık ikinci faz partikül oluştuğu ve böylece buna bağlı olarak sertlik değerinin düştüğü düşünülmektedir. 140°C sıcaklığında yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının sertlik değeri en düşük sertlik değerini sahiptir. Yaşlandırma sıcaklığının aşırı yaşlanma hızını artırarak dayanımın daha da düşmesine neden olmuştur. Yeniden yaşlandırma işleminde sertlik değerleri genel olarak incelendiğinde en yüksek değeri 120°C’de yaşlandırılan alaşımların sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 6.25. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alma ve 100-140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının sertlik değişimleri

### 6.2.3. Aşınma deneyleri

220°C'de 60dk yeniden çözeltiye alma işleminden sonra 7075 alüminyum alaşımına 100, 110, 120, 130 ve 140°C da yeniden yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Bu numunelere aşınma deneyi uygulanmış, elde edilen ağırlık kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değerleri Şekil 6.26'de verilmektedir. Aşınma deneylerinde ağırlık kayıpları ve buna bağlı olarak aşınma oranı değerleri uygulanan yüke paralel olarak artmaktadır. En yüksek ağırlık kaybı miktarı ve aşınma oranı 50 N yük uygulanarak aşındırılan numunelerde elde edilmiştir.

120°C'de yeniden yaşlandırılan numune en düşük ağırlık kaybı ve aşınma oranına sahiptir. 120°C'den daha yüksek sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan alaşımlarda ağırlık kaybı ve aşınma oranı değerleri sıcaklık artışına paralel olarak artmaktadır.

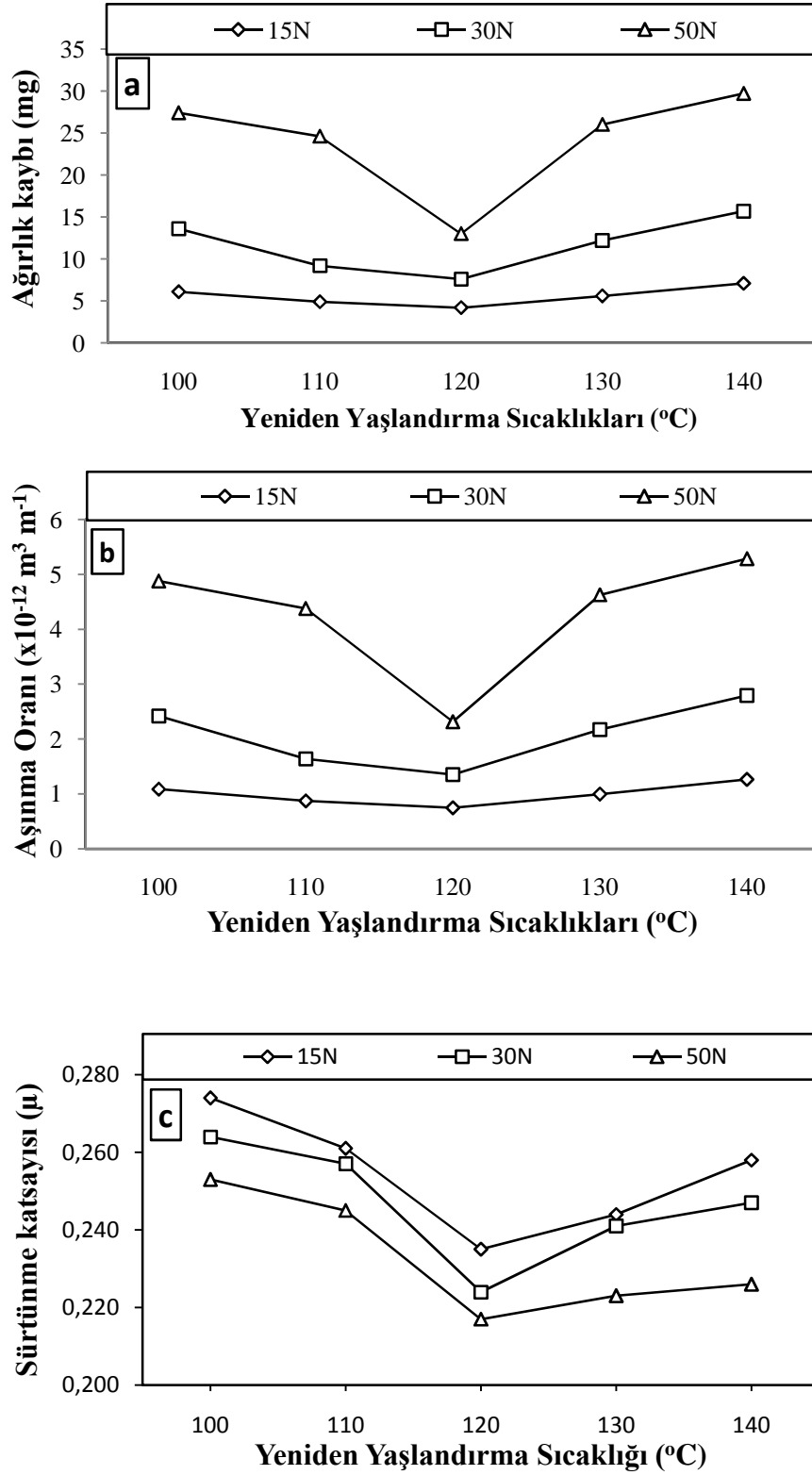
Bu 120°C yeniden yaşlandırma sıcaklığına kadar tane içerisinde numunenin sertliğini artıran yarı uyumlu ve yarı kararlı  $\eta'$  fazlarının oluşumuna bekleme süresi yetmediğinden bu sıcaklıktan daha düşük sıcaklıklarda mikroyapı içerisinde GP zonları oluşmaktadır. Yada oluşan  $\eta'$  fazının hacimce oranı düşük olduğundan alaşımın hem sertlik hemde alınma davranışlarını olumsuz etkileyerek aşınma deneyi

esnasında ağırlık kaybı miktarının fazla olmasına neden olmaktadır. 120°C’da yeniden yaşlandırılan alaşımın tane içerisinde oluşan yarı uyumlu ve yarı kararlı  $\eta'$  fazı miktarının artışı numunenin aşınma direncini arttırmaktadır. 120°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan alaşımlarda hem tane içerisinde hemde tane sınırları boyunca oluşan çökeleklerin boyutlarının artması ile aşırı yaşlanma periyoduna girmektedir.

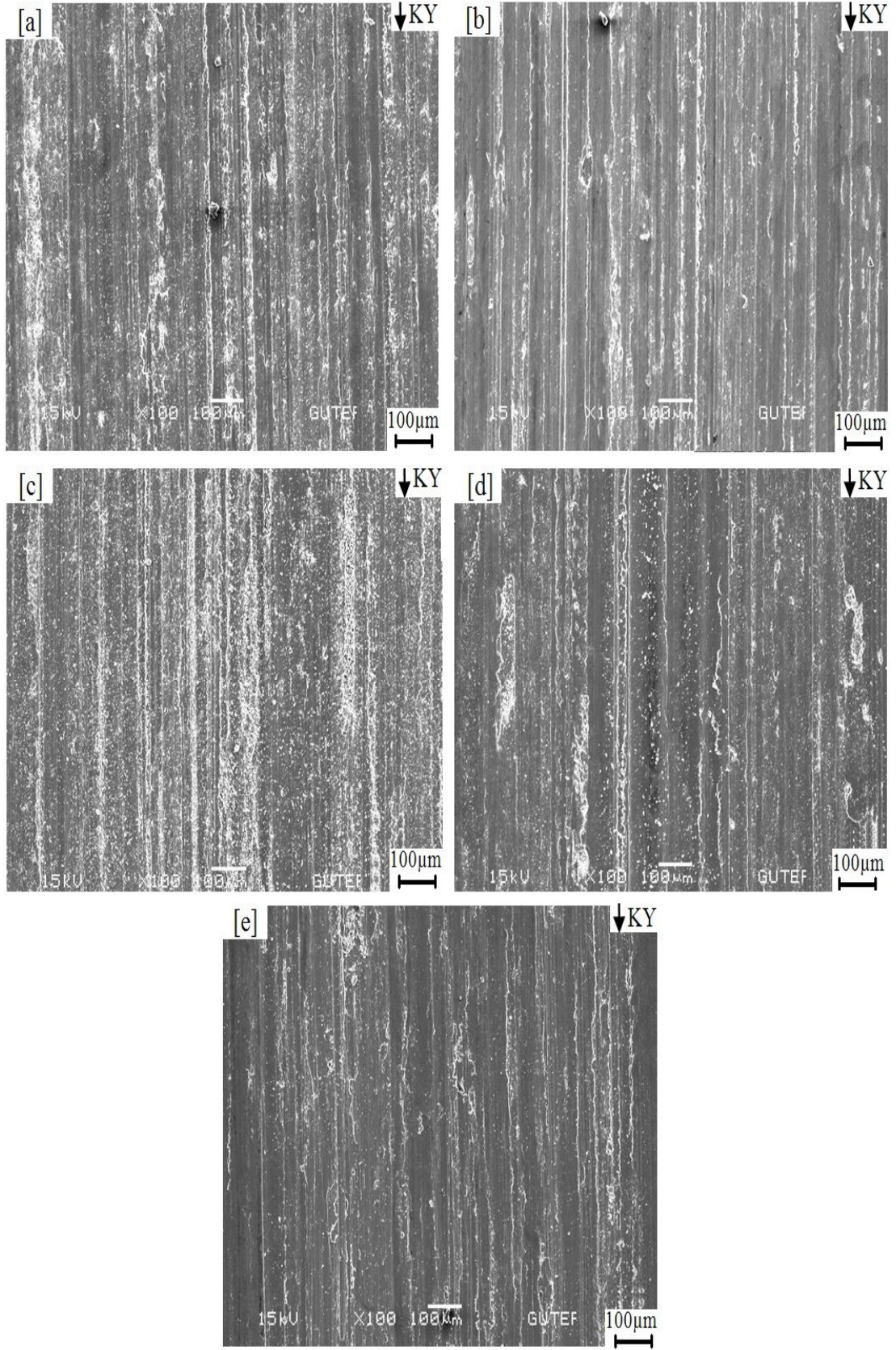
Tane sınırı içerisinde oluşan yarı uyumlu ve yarı kararlı  $\eta'$  fazları kabalaşarak kararlı faz olan  $\eta$  fazına dönüşmekte yada  $\eta$  fazının hacimce oranı artarak alaşımın hem sertliğini hem de aşınma direncinin düşmesine neden olmaktadır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar daha önceki çalışmalardaki sonuçlar ve açıklamalar ile uyumludur [11, 19]

Aşınma esnasında ısı etkisi ile sürtünme yüzeyinde oluşan oksit film tabakası sürtünme katsayılarını etkilemektedir. Sürtünme katsayıları değişimleri Şekil 6.26c’de verilmiştir. Aşınma deneyinde yük miktarı arttıkça sürtünme katsayısının azaldığı görülmektedir. Bu durum uygulanan yük miktarının artması ile yüzeyde oluşan oksit film tabakasının artması katı yağlayıcı etkisi yaparak sürtünme katsayısının azalmasına neden olmaktadır.

Yukarıda bahsedilen aşınma deneyi uygulanan alaşımların aşınmış yüzeyinin SEM görüntüleri Şekil 6,27’de verilmektedir. En fazla aşınma 50 N yük uygulanan numunelerde meydana geldiğinden, bu numunelerin aşınma yüzeyleri görüntülenmiştir. Aşınma yüzeylerinde kayma yolu boyunca ince kazıntı çizgilerin ve ince döküntülerin olduğu görülmektedir. 120°C sıcaklığına kadarki sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan numunelerin yüzeyine benzer aşınma yüzeyinin görüntüleri bulunmaktadır. Bu sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan numunelerin aşınma yüzeylerinde daha derin kayma yolları oluştuğu görülmektedir. Bu durum bu sıcaklıklarda yapılan yaşlandırma işleminde oluşan fazların aşırı yaşlanma periyoduna girdiğinden çökeleklerin daha iri ve sertliklerinin düşük olmasından dolayı aşınma direncinin düşmesi olarak açıklanabilir.



Şekil 6.26. 220°C'de 60 dk yeniden çözültüye alma ve 100-140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) ağırlık kaybı, b) aşınma oranı ve c) sürtünme katsayısı değişimleri

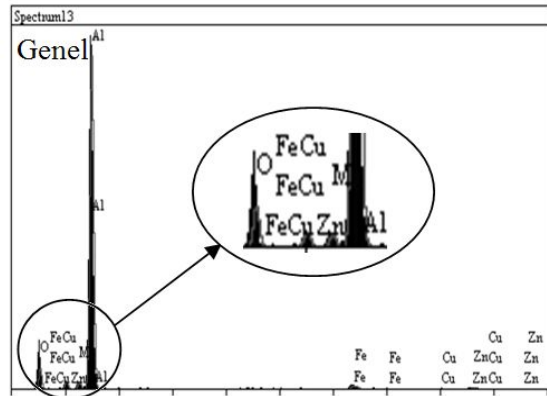
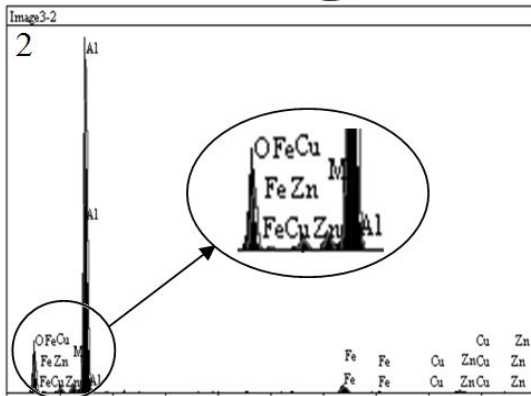
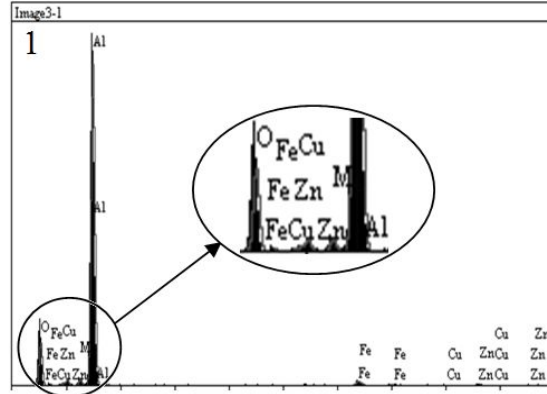
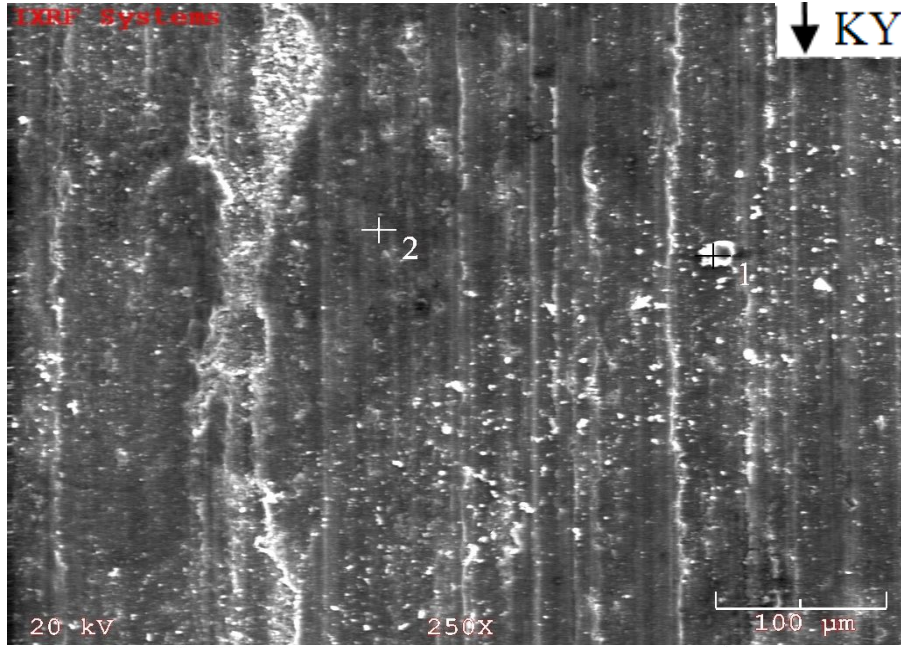


Şekil 6.27. a) 100, b) 110, c) 120, d) 130, e) 140°C sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 50N yük altında aşınma deneyleri uygulanan alaşımların SEM görüntüsü

Aşınma yüzeyi incelemelerin en yüksek dayanımını veren 120°C'de yeniden yaşlandırılan numunenin yüzeyindeki element incelemeleri daha önceki bölümde verilmiştir. Bu bölümde yeniden yaşlandırma sıcaklıklarında en düşük aşınma direncini veren 140°C'in yüzeyindeki bölgesel elementsel oranları belirlemek amacı ile SEM/EDS incelemeleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.28'de verilmektedir.

140°C'de yeniden yaşlandırılan alaşımın aşınma yüzeyinde 1 numaralı noktada oksijen oranının yüksek olduğu görülmektedir. Aşınma testi sırasında aşınma şiddetinden dolayı numune-disk temas yüzeyinde sıcaklık yükselmekte ve malzemenin oksitlenmesi daha hızlı olmaktadır. 2 numaralı noktada O elementi bulunmakla beraber bu noktada Fe ve Zn elementlerinin % oranlarının 1 numaralı bölgeye göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Esasında demir oksit film talaşının yumuşak yüzeye batması sonucunda daha mukavim bir yüzey elde edilir karşılaşılan bu durum aşınma direncini arttırmaktadır. Bu sıcaklıkta yeniden yaşlandırılan numunelerin mikroyapısında bulunan çökeleklerin kabalaşarak kararlı fazlara dönüşmesi ile sertlik değerlerini düşürmesi aşınma dirençlerinin düşmesine neden olmaktadır. Aşınma esnasında yumuşak matris daha kolay plastik şekil değiştirerek, büyük parçacıkların kopmasına neden olmaktadır. Böylece ağırlık kaybı miktarında da artış olmaktadır. Aşınma yüzeyinde Fe elementinin olması aşınmanın şiddetini ve aşındırıcı diskten numune yüzeyine malzeme geçişinin olduğunu göstermektedir.

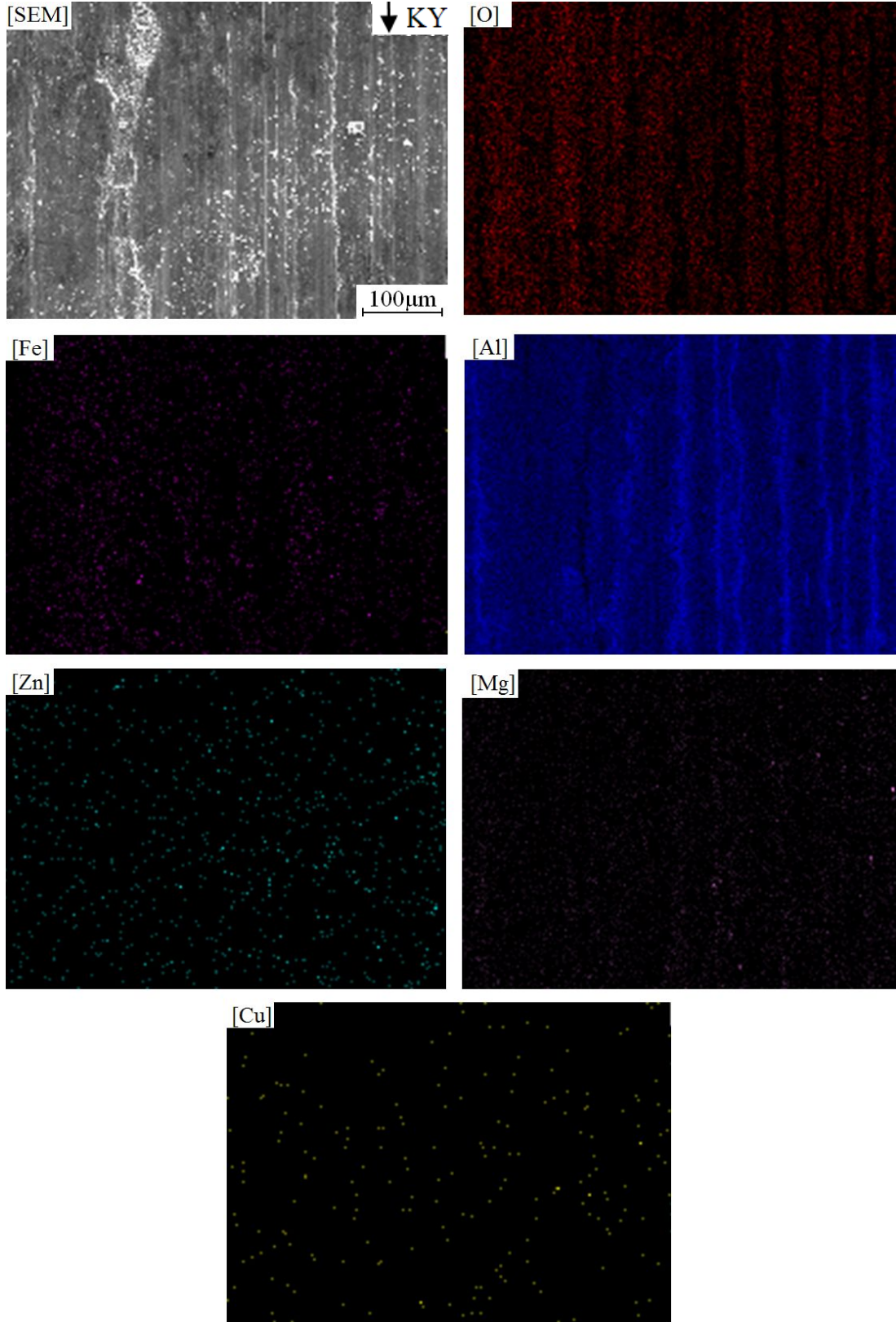
Aşınma yüzeyinde elementlerin dağılımının daha iyi anlaşılması amacı ile SEM/haritalama çalışması sonucu elde edilen görüntüler Şekil 6.29'da verilmiştir. Elde edilen görüntülerde elementlerin dağılımı aşınma yüzeyinde bölgesel farklılıklar göstermektedir. Fe elementi daha çok koyu renkli görünen bölgelerde yoğunlaşmaktadır. O bölgelerde oksijen miktarının da fazla olduğu belirlenmiştir.



Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%	Fe%	O%
1	58,563	1,191	1,240	1,034	2,964	34,287
2	61,935	3,756	1,733	0,483	4,450	27,642
Genel	68,928	3,171	1,404	1,181	2,852	22,464

Şekil 6.28. 220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözültüye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşındırılan alaşımın SEM/EDS analizi





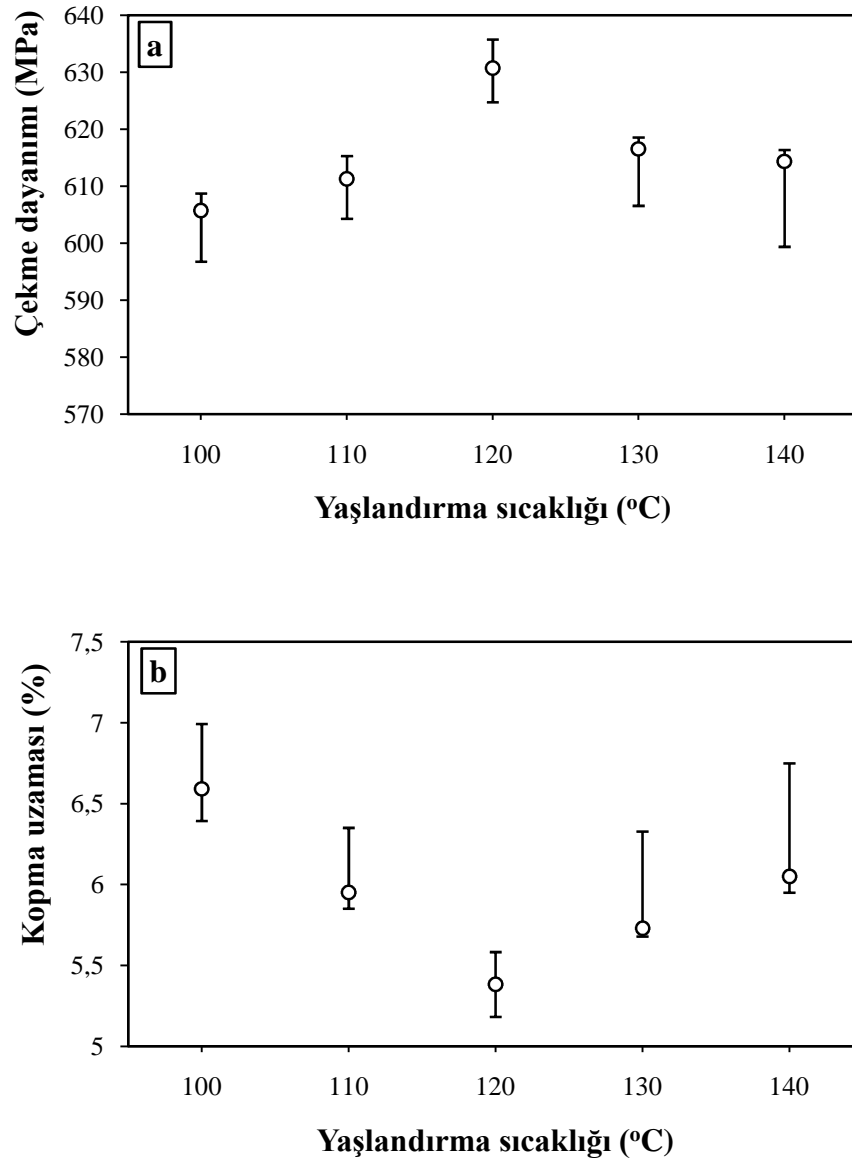
Şekil 6.29. 220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözeltilme ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altındaki aşındırılan alaşımın SEM/haritalama analizi

#### 6.2.4. Çekme deneyleri

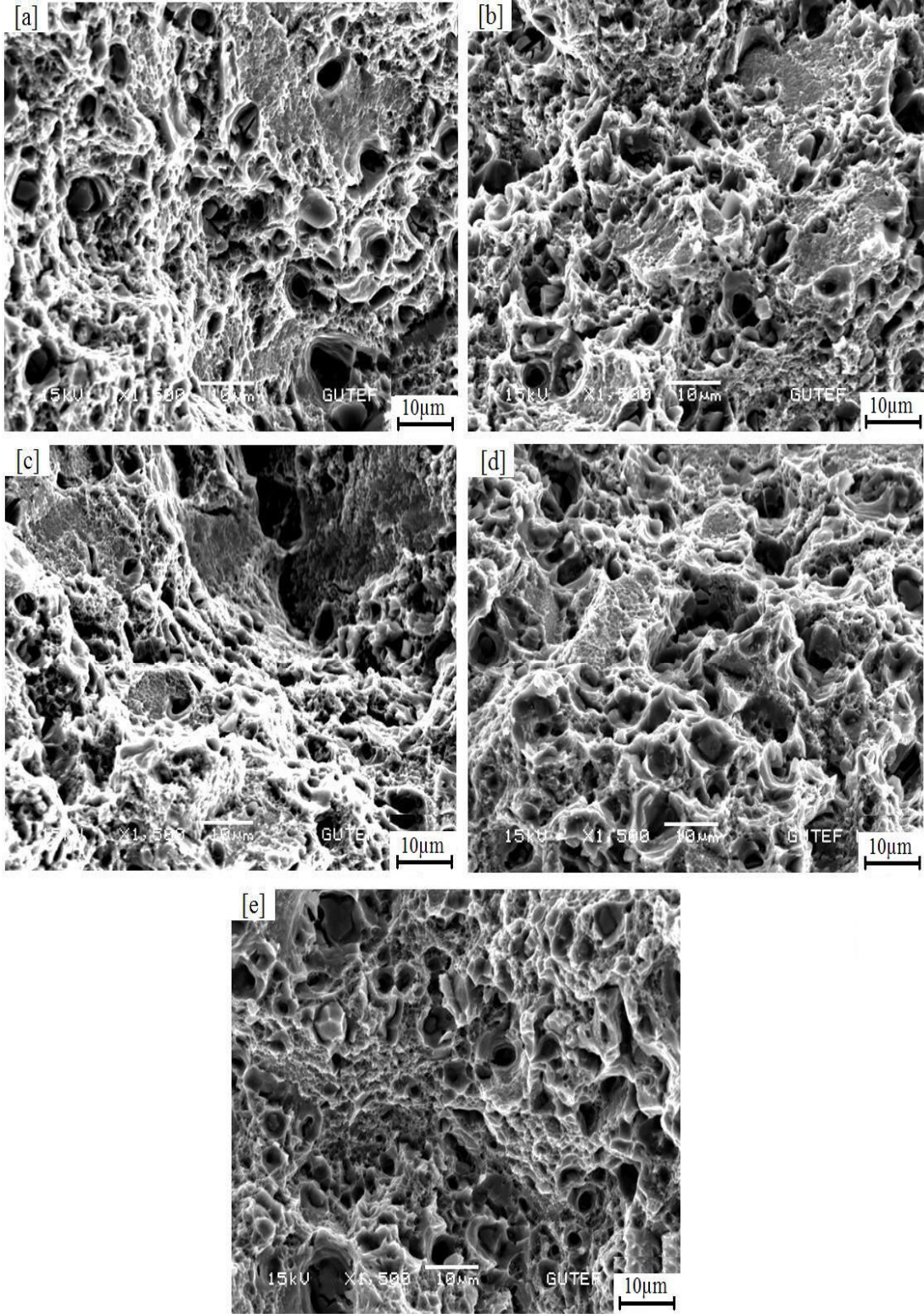
Yeniden çözeltiliye alma ve daha sonra farklı sıcaklıklarda yeniden yaşlandırma ısıl işlemi uygulanan 7075 alüminyum alaşımlarının çekme deneyleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.30 de verilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan numunelerin çekme dayanımı değerleri incelendiğinde 120°C yaşlandırma sıcaklığına kadar dayanımın sürekli arttığı, bu sıcaklıktan sonra malzemenin aşırı yaşlanma periyoduna girerek dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. % uzaması ise çekme dayanım değerlerine ters orantılı olarak çekme dayanımı arttıkça kopma uzaması değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Aşırı yaşlanma periyoduna giren numunelerin sertlik değerlerinin azalmasına karşın, büyük oranda % uzama göstermedikleri görülmektedir. Bu malzemenin aşırı yaşlanmasına bağlı olarak kafes içlerinde çökeltilerin boyutunun artması  $\eta$  kararlı fazının ikinci bir faz olarak yer almaları nedeniyle malzemenin daha düşük değerlerde kopmasına neden olmaktadır. Yapılan çekme dayanımı incelemelerinin sertlik ve aşınma dayanımları ile aynı paralelde gittiği görülmektedir.

Çekme deneyleri sonrasında elde edilen kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 6.31'de verilmiştir. Genel olarak yeniden yaşlandırılan numunelerin kırılma yüzeylerinde dimple görüntüleri olmaktadır. Bu malzemenin sünek kırıldığını göstermektedir. Bu delikli görüntülerin boyutu 2-3 $\mu$ m boyutlarında olduğu görülmektedir. 120°C'de yeniden yaşlandırılan numunelerde hem gevrek hem de sünek kırılma mekanizmalarının beraber gerçekleştiği görülmektedir. 130°C ve 140°C yeniden yaşlandırılan alaşımlarının çekme deneyi sonrasında kırılma yüzeylerinde oluşan dimple (çukurcuk) görüntülerinin bölgesel olarak irileştiği ve kırılma yüzeyinde sünek kırılma meydana geldiği görülmektedir.



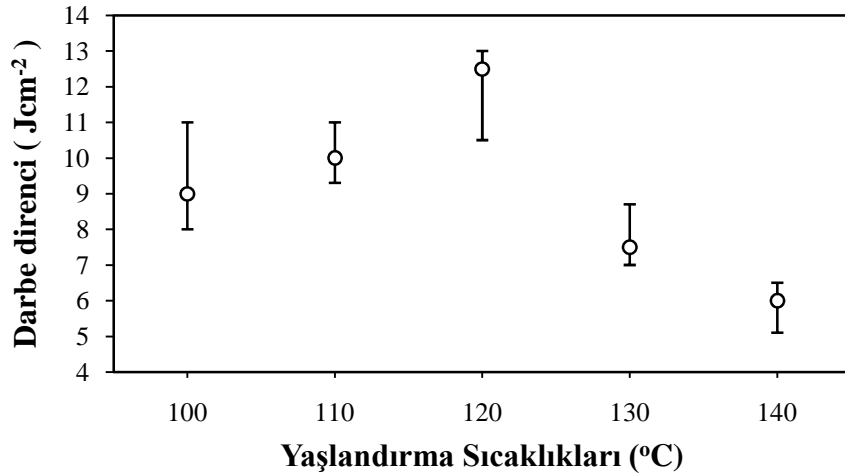
Şekil 6.30. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alma ve 140°C'de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının a) çekme dayanımı, b) kayma uzaması değişimi



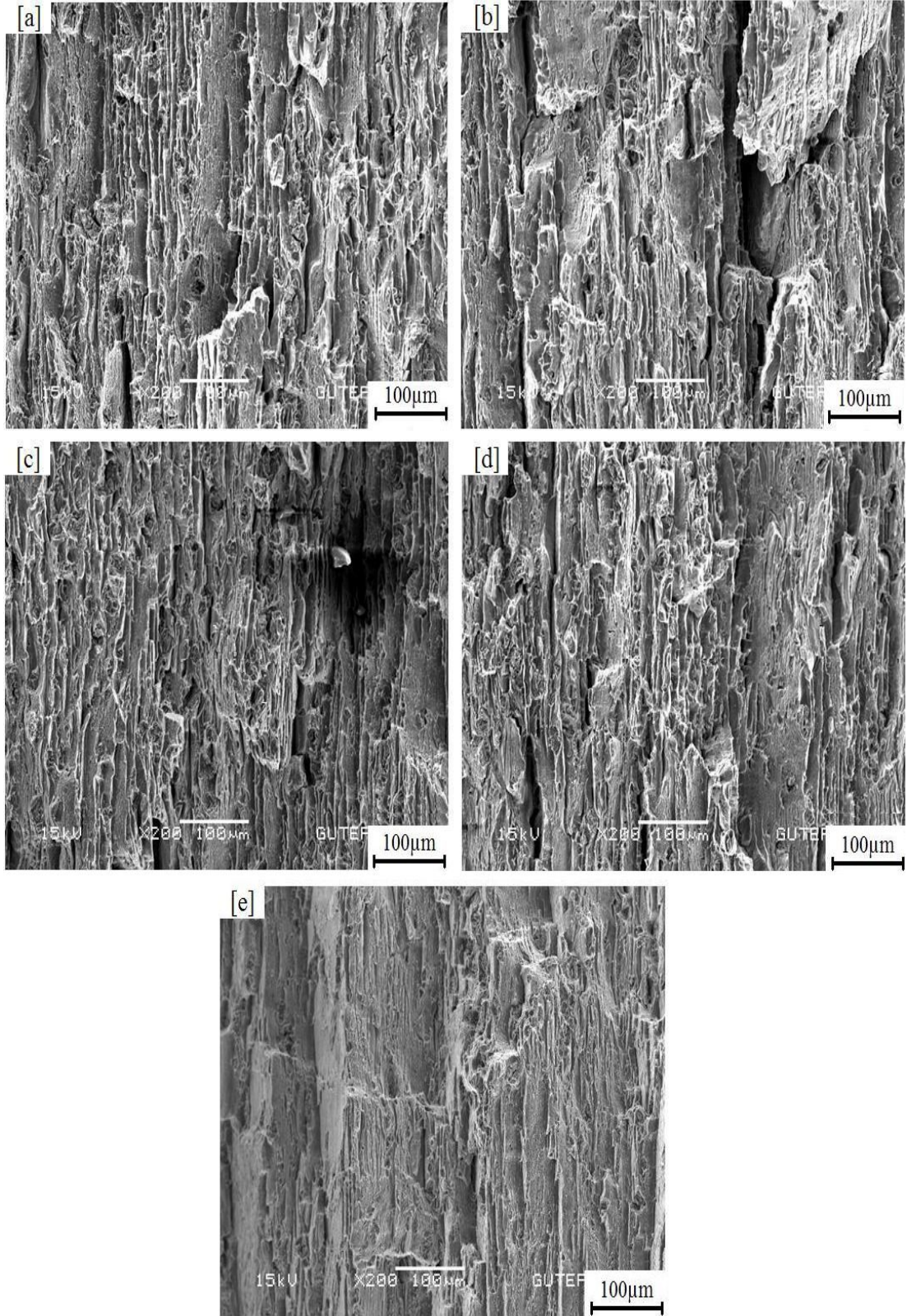
Şekil 6.31. 220°C sıcaklıkta 60 dk yeniden çözeltiye alma ve a) 100, b) 110, c) 120, d) 130 ve e) 140°C 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının çekme deneyi sonrasındaki kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri

### 6.2.5. Çentik darbe deneyleri

Yeniden çözeltilmeye alma işleminden sonra farklı sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan numunelerin çentik darbe deneyleri sonucunda elde edilen değerler Şekil 6.32’de verilmektedir. Farklı sıcaklıklarda yeniden yaşlandırılan numunelerin çentik darbe sonuçları incelendiğinde, yaşlandırma sıcaklığının artmasına bağlı olarak darbe direncinin arttığı, 120°C’de yeniden yaşlandırılan numuneler en yüksek darbe direncine sahip olduğu ve diğer yaşlandırma sıcaklıklarında numuneler aşırı yaşlanma periyoduna girerek darbe direnci değerlerinin düştüğü görülmektedir. Yeniden yaşlandırma işleminde darbe direnci en yüksek noktaya çıktıktan sonra aşırı yaşlanmanın başlamasıyla darbe etkisiyle kırılmanın bu bölgelerden olması sonucunda darbe direncinin düştüğü düşünülmektedir. Darbe deneyleri sonrasında kırılma yüzeyinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek amacı ile alınan SEM görüntüleri Şekil 6.33’de verilmektedir.



Şekil 6.32. 220°C’de 60 dk yeniden çözeltilmeye alma ve 140°C’da 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının darbe direnci değişimi



Şekil 6.33. 220°C’de 60 dk yeniden çözültüye alma ve a) 100, b) 110, c) 120, d) 130 ve e) 140°C’de 24 saat yeniden yaşlandırma uygulanan 7075 alüminyum alaşımının kırılma yüzeyi SEM görüntüsü

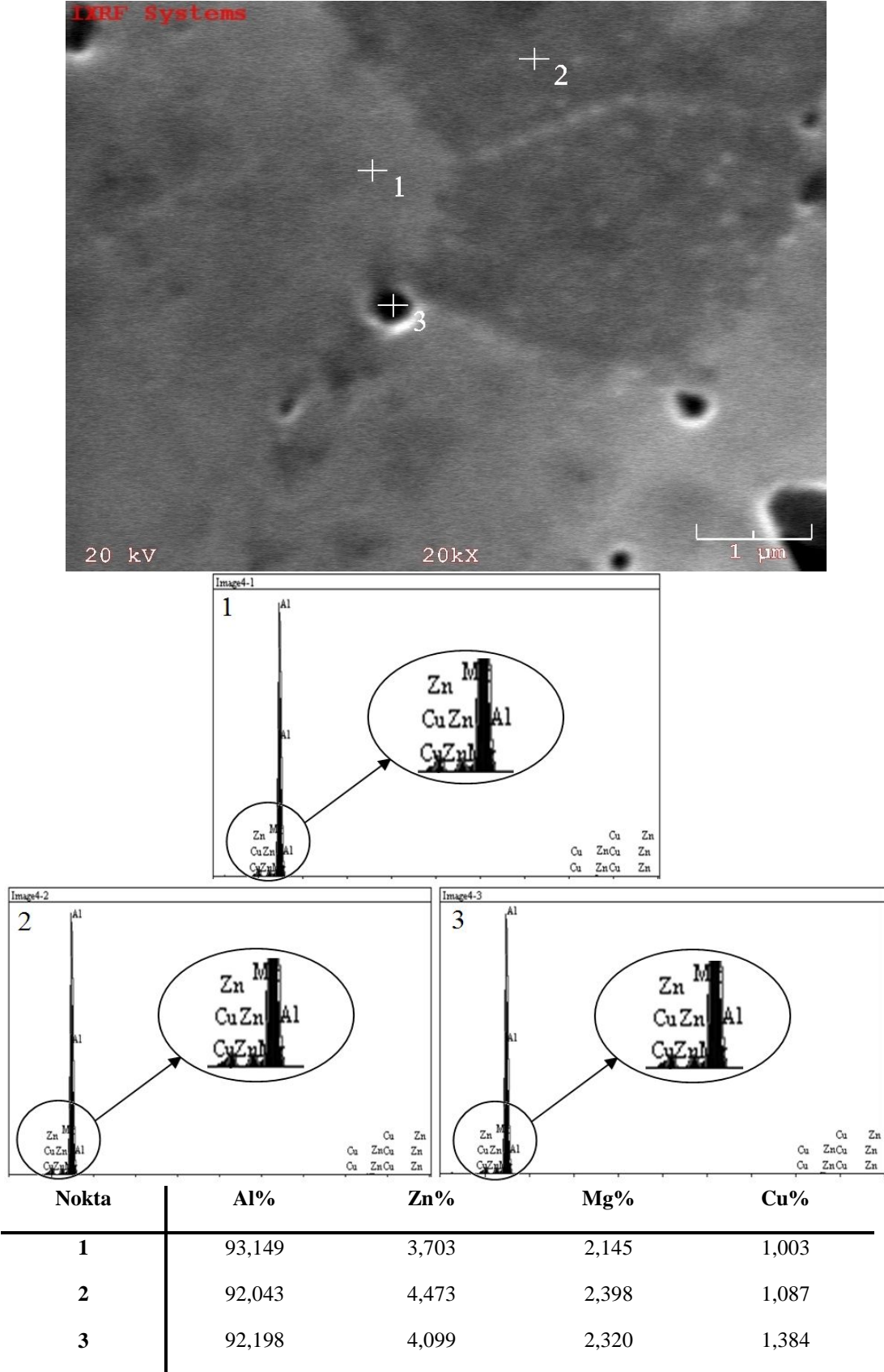
### **6.3. Yeniden Yaşlandırma Sürelerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi**

Bu bölümde ise 120°C sıcaklığında yapılan yeniden yaşlandırma sıcaklığının optimum sıcaklık olduğu belirlendikten sonra bu sıcaklıkta bekleme sürelerinin 7075 alüminyum alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisi sunulmuştur. Yeniden yaşlandırma işlemleri 120°C sıcaklığında 15, 20, 25, 30 ve 35 saat sürelerde gerçekleştirilmiştir.

#### **6.3.1. Mikroyapı İncelemeleri**

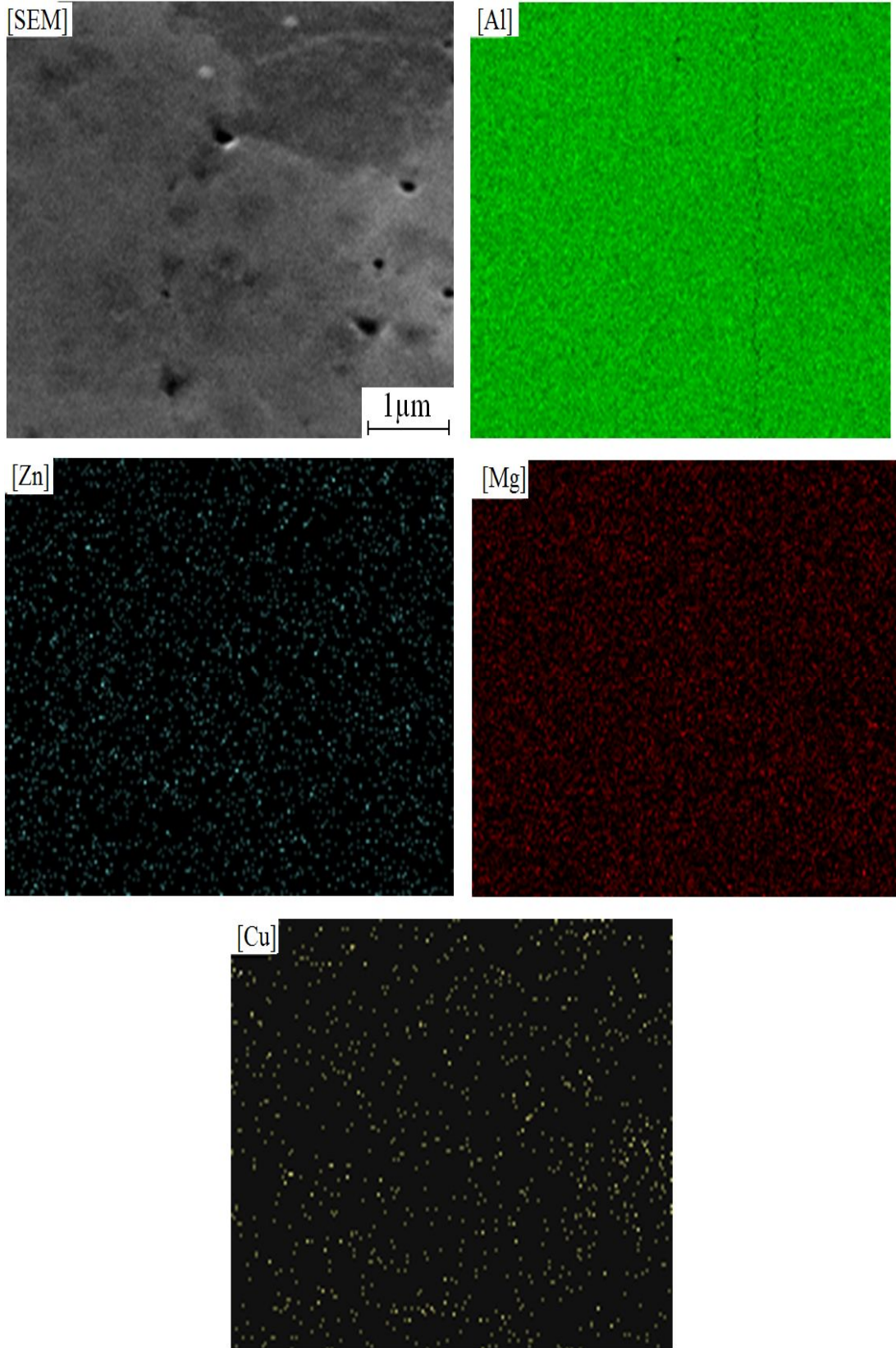
Mikroyapıdaki element dağılımını belirlemek amacı ile 120°C'de yeniden yaşlandırma işleminde en düşük dayanımı veren 35 saat yeniden yaşlandırılan numunenin SEM/EDS incelemeleri Şekil 6.34'de verilmektedir.

120°C yeniden yaşlandırma sıcaklığında 35 saat yaşlandırılan numunenin SEM/EDS analizi incelendiğinde bir ve iki numaralı noktalar arasında belirgin bir fark görülmemiştir. Ancak üç numaralı nokta incelendiğinde bakır oranının biraz daha fazla olduğu ve tane sınırında ikici bir faz oluşturduğu anlaşılmaktadır. Mikroyapıdaki element dağılımlarını belirlemek amacı ile yapılan SEM/Haritalama çalışmasıyla elde edilen sonuçlar Şekil 6.35'de verilmektedir. Element dağılımları incelendiğinde belirgin bir fark görülmemiş önceki çalışmalara benzer görüntüler elde edilmiştir.



Şekil 6.34. 220°C'de 60dk yeniden çözeltiye alınan ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının SEM/EDS analizi



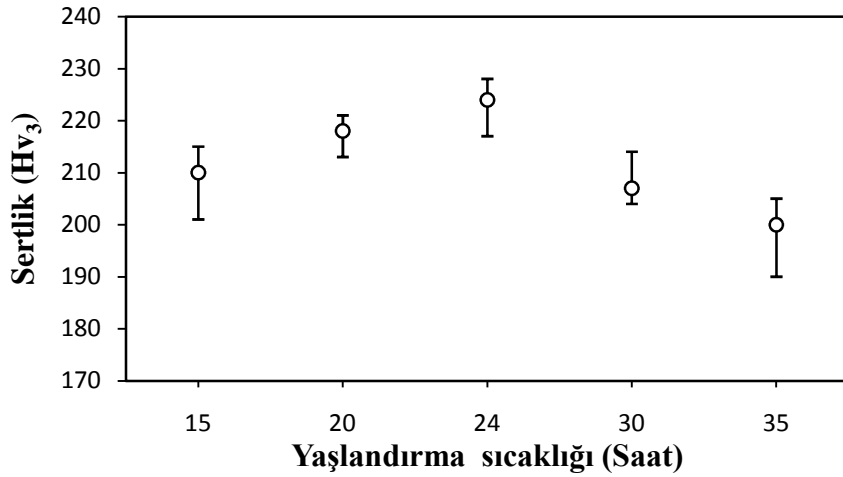


Şekil 6.35. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiye alınan ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının SEM/haritalama analizi

### 6.3.2. Sertlik ölçümleri

220°C sıcaklığında yeniden çözeltilmeye alınan ve 120°C sıcaklığında farklı sürelerde yeniden yaşlandırılan numunelerden alınan sertlik değerleri Şekil 6.36'da verilmektedir.

Sertlik değerleri bekleme süresine bağlı olarak 24 saat süreye kadar artış göstermekte daha yüksek bekleme sürelerinde azalmaktadır. Düşük sıcaklıklarda  $\eta'$  fazının oluşumunun tamamlanmaması veya mikroyapı içerisindeki oranın belirli bir büyüklüğe ulaşmaması nedeniyle düşük sertlik değerleri elde edilmektedir. Sıcaklık artışının tane içerisinde oluşan ikinci faz oranının artması, alaşımın sertlik değerlerinde artışa neden olmaktadır. Uzun yeniden yaşlandırma sürelerinde ise oluşan yarı uyumlu ve yarı kararlı  $\eta'$  fazının kabalaşarak kararlı  $\eta$  fazına dönüşmesi alaşımın sertlik değerlerinin azalmasına etkili olmaktadır.



Şekil 6.36. 220°C'de 60 dk sıcaklıkta yeniden çözeltilmeye alınan ve 120°C sıcaklıkta 15-35 saat sürelerde yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının sertlik değerleri değişimi

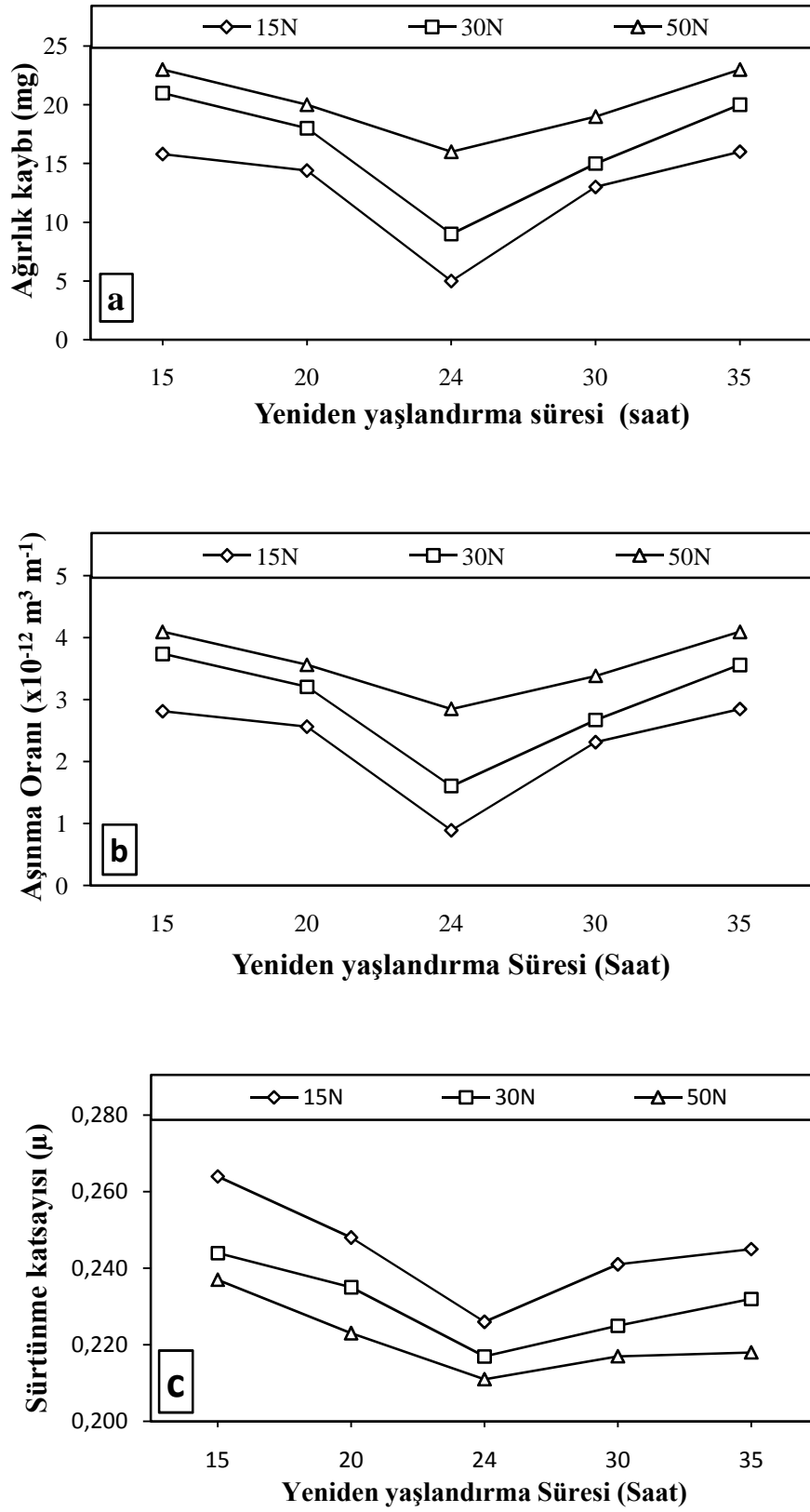
### 6.3.3. Aşınma deneyleri

Farklı sürelerde yeniden yaşlandırılan numuneler farklı yükler altında aşınma testlerine tabi tutulmuş ve elde edilen ağırlık kaybı, aşınma oranı ve sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 6.37’de verilmektedir. Uygulan yük miktarı arttıkça ağırlık kaybı ve aşınma oranının arttığı görülmektedir. Diğer taraftan yeniden yaşlandırma süresine bağlı olarak ağırlık kaybı 24 saat yeniden yaşlandırma süresine kadar düşmekte, daha uzun sürede yeniden yaşlandırılan numunelerde ise artmaktadır. Bu durum önceki açıklamalar ile izah edilebilir.

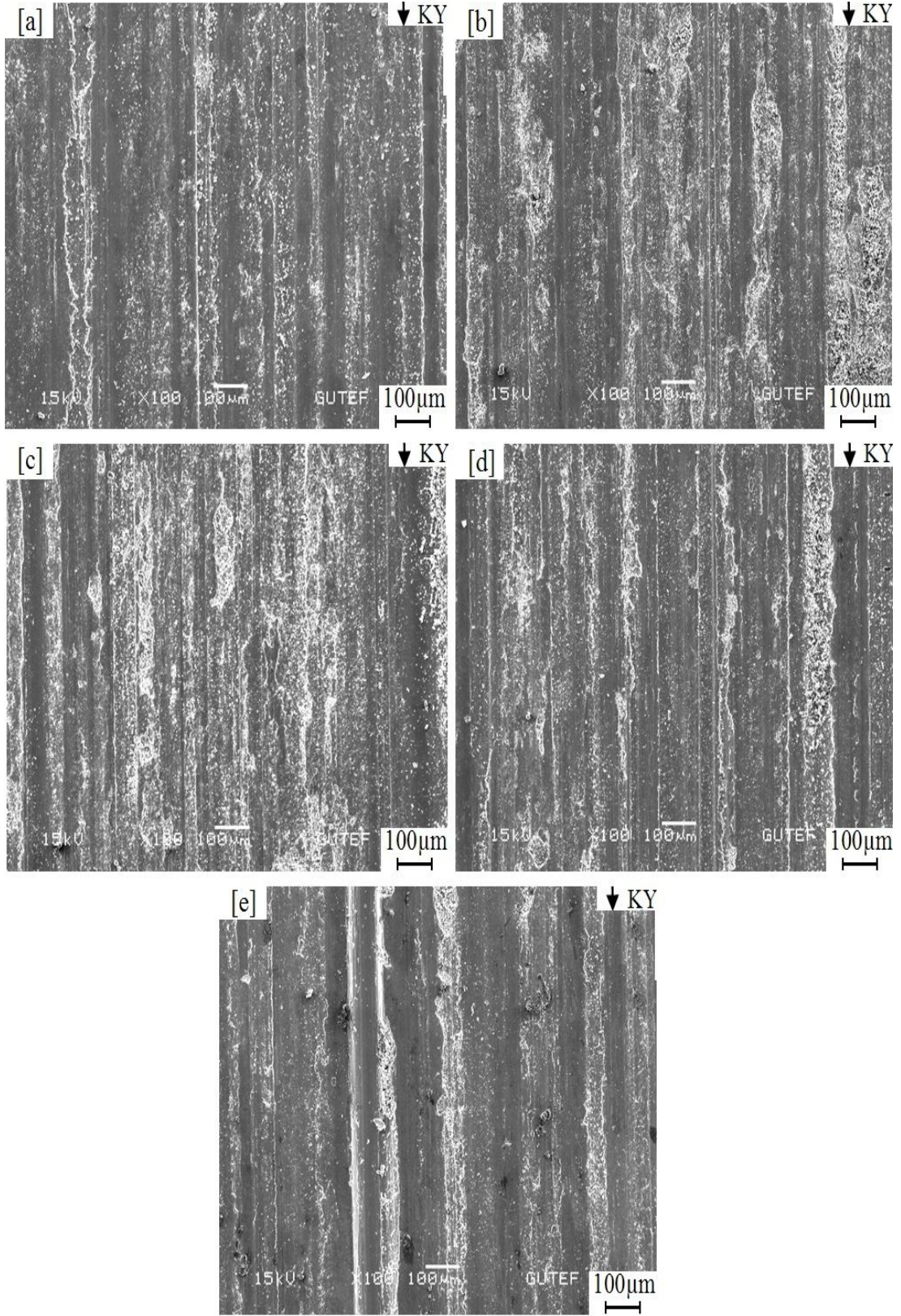
Aşınan malzemelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Şekil 6.38’da verilmiştir. Düşük sürelerde yeniden yaşlandırılan numunelerin sertliklerine bağlı olarak daha farklı aşınma mekanizması göstermiştir. Uzun yeniden yaşlandırılan sürelerindeki (30 ve 35 saat) numunelerde ise aşınma esnasında yüzeyde bölgesel döküntüler oluşmaktadır. Plastik deformasyona uğrayan yüzeyden küçük parçacıkların kırılarak ayrılması ağırlık kaybı ve aşınma oranı değerlerini arttırmaktadır.

Aşınma deneylerinde sonra aşınma yüzeydeki element dağılımı belirlemek amacı ile SEM/EDS incelemeleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Şekil 6.39’de verilmiştir.

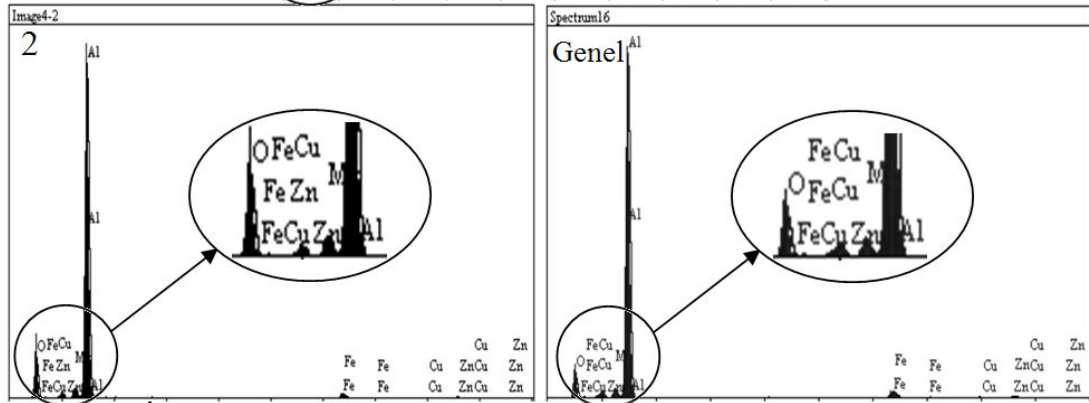
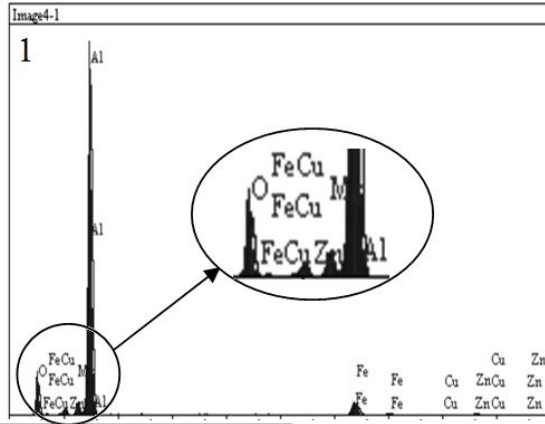
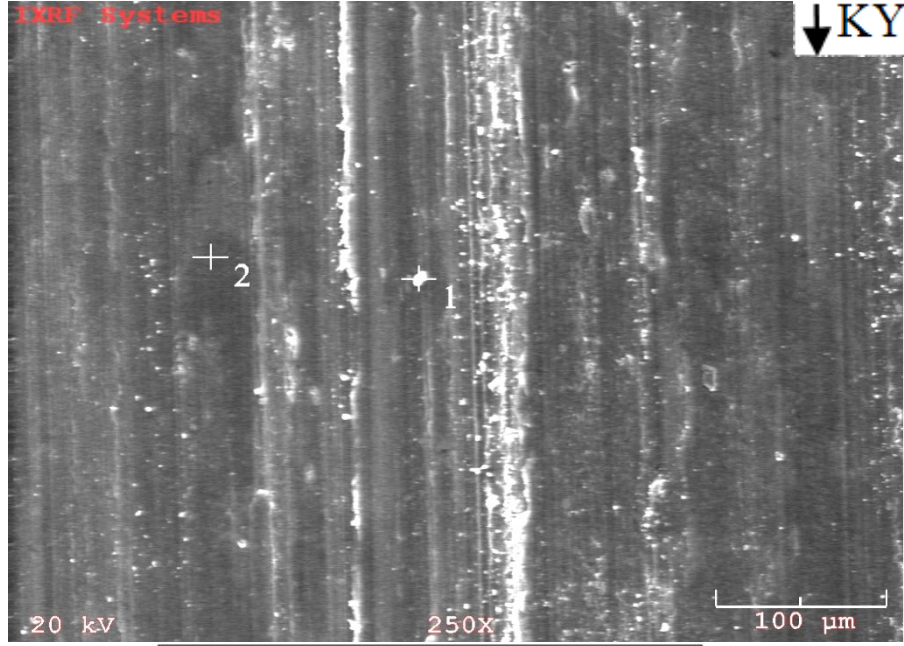
35 saat yeniden yaşlandırılan numenin aşınma yüzeyinden alınan SEM/EDS analizi incelendiğinde, yüzeyin büyük oranda oksit film tabakası ile kaplandığı görülmektedir. Malzemede aşırı yaşlanma meydana gelmekte ve buna bağlı olarak da dayanımı düşmektedir. Oluşan plastik deformasyon sırasında aşınma yüzeyinde yapışmalar meydana gelmesi ve ısı etkisi ile oksit film tabakası oluştuğu görülmektedir. Yüzeydeki element dağılımını daha iyi belirlemek amacı ile SEM/haritalama yapılarak Şekil 6.40’da verilmiştir



Şekil 6.37. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve 120°C sıcaklıkta 15-35 saat sürelerde yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının a) ağırlık kaybı, b) aşınma oranı ve c) sürtünme katsayısı değişimi

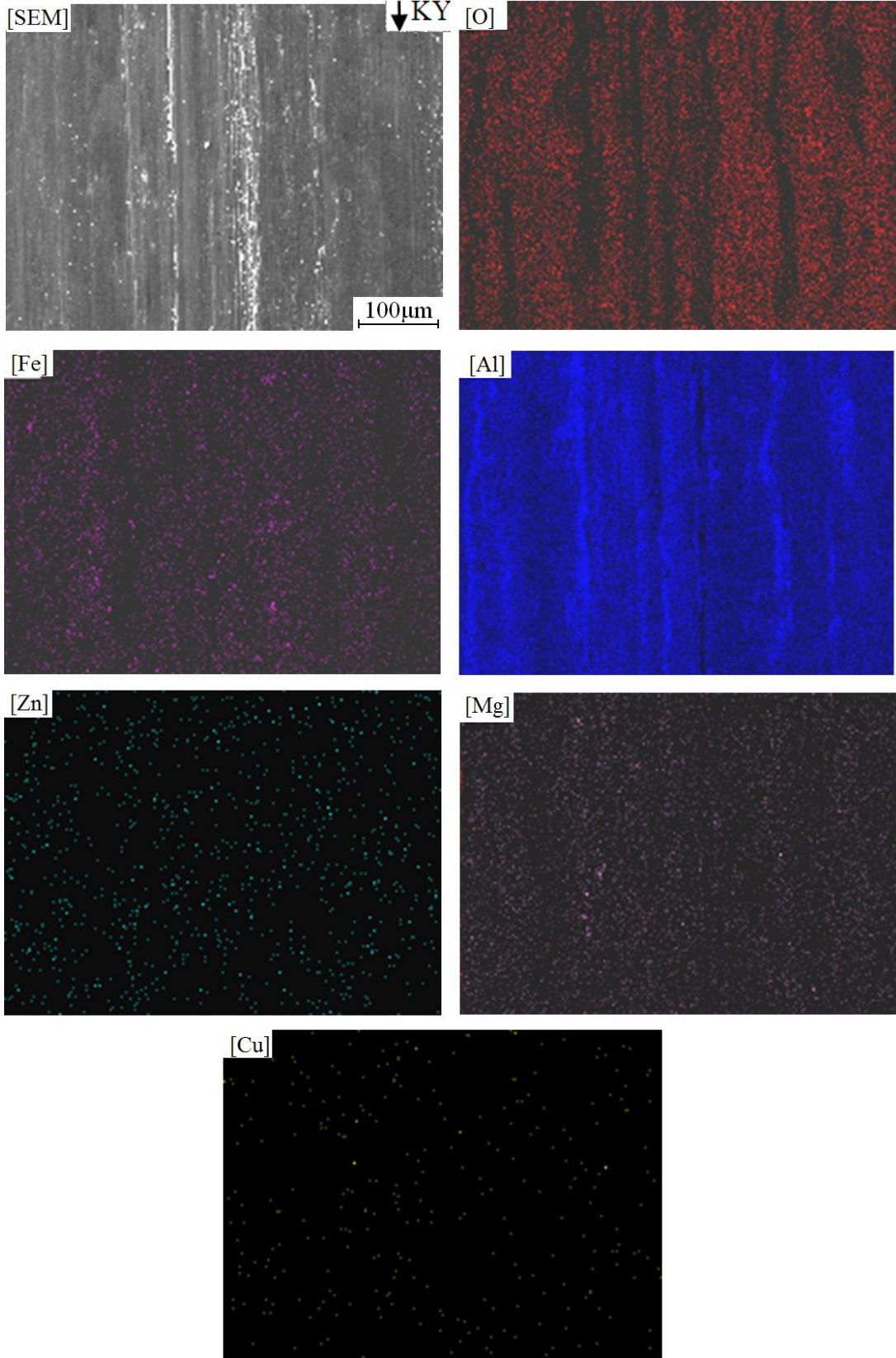


Şekil 6.38. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve 120°C sıcaklıkta a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının 50 N yük altında oluşan aşınma yüzeyleri SEM görüntüsü



Nokta	Al%	Zn%	Mg%	Cu%	Fe%	O%
1	61,665	2,299	2,372	1,107	7,429	25,128
2	61,716	1,837	2,068	1,307	2,575	30,498
Genel	68,576	3,017	1,816	1,646	4,306	20,640

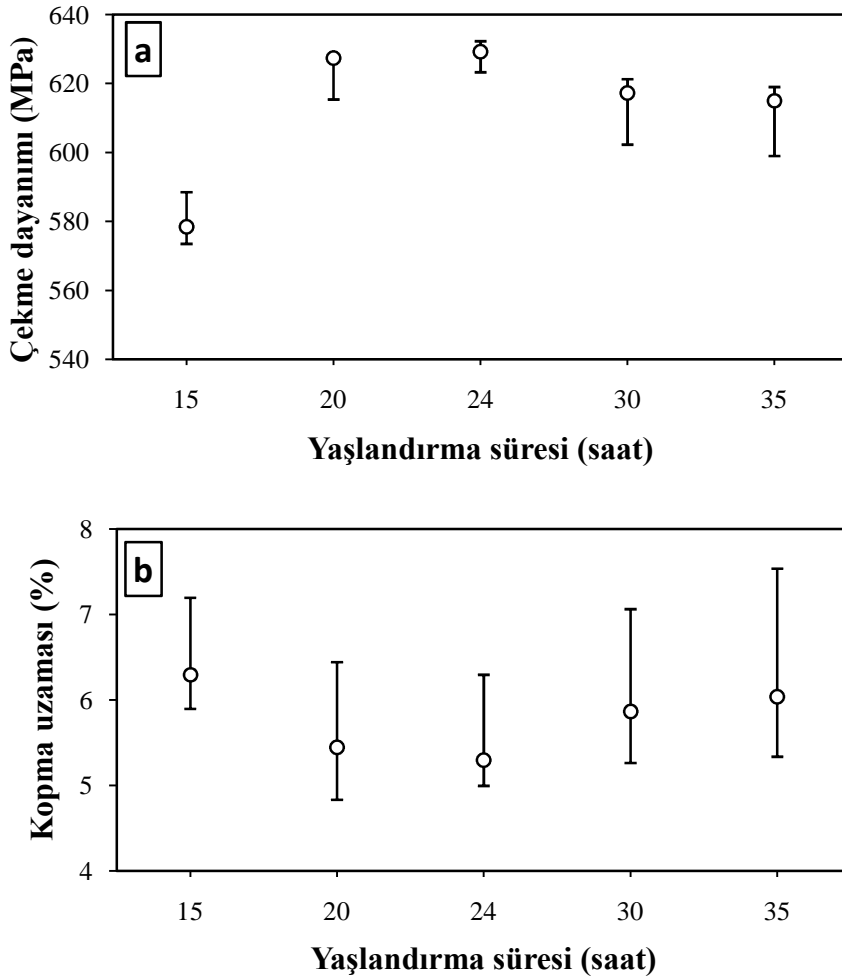
Şekil 6.39. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmeye alınan ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM/EDS analizi



Şekil 6.40. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta 35 saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının aşınma deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM/haritalama analizi

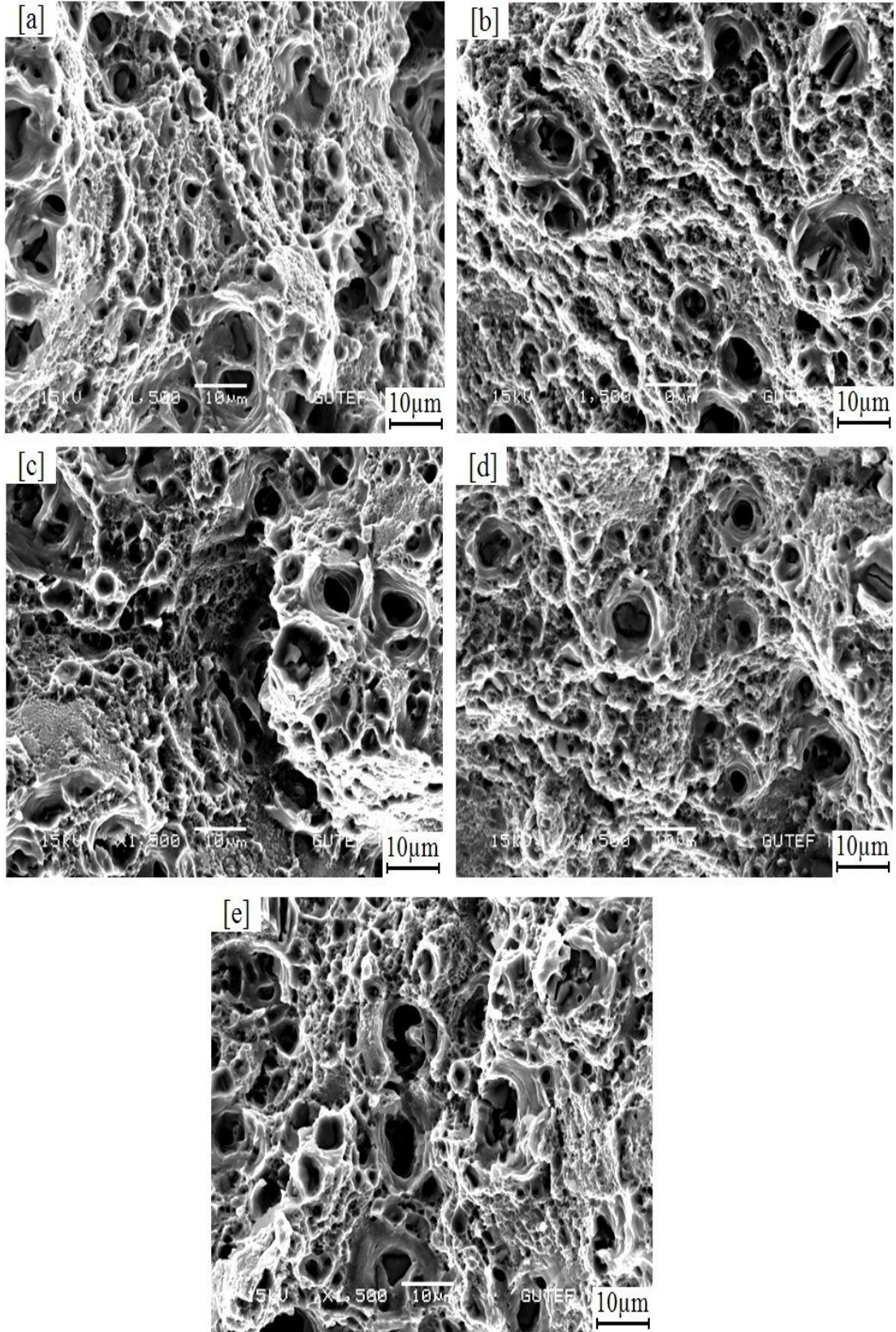
### 6.3.4. Çekme deneyleri

Farklı sürelerde yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımlarının çekme dayanımı ve kopma uzaması değerleri Şekil 6.41’de verilmektedir. 24 saat yeniden yaşlandırma süresine kadar dayanımın sürekli arttığı, dayanımın artışına bağlı olarak da kopma uzamasının azaldığı görülmektedir. 24 saat yaşlandırma süresi optimum süreyi verdiği daha uzun yeniden yaşlandırma sürelerinde aşırı yaşlanmaya bağlı olarak dayanımın değerlerinde çok az da olsa azalma olduğu görülmektedir. Bu numunelere ait kırılma yüzeyleri SEM görüntüleri Şekil 6.42’de verilmektedir.



Şekil 6.41. 220°C sıcaklıkta yeniden çözültüye alınan ve 120°C sıcaklıkta 15- 35 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin a) çekme dayanımları ve b) % kayma uzaması grafiği

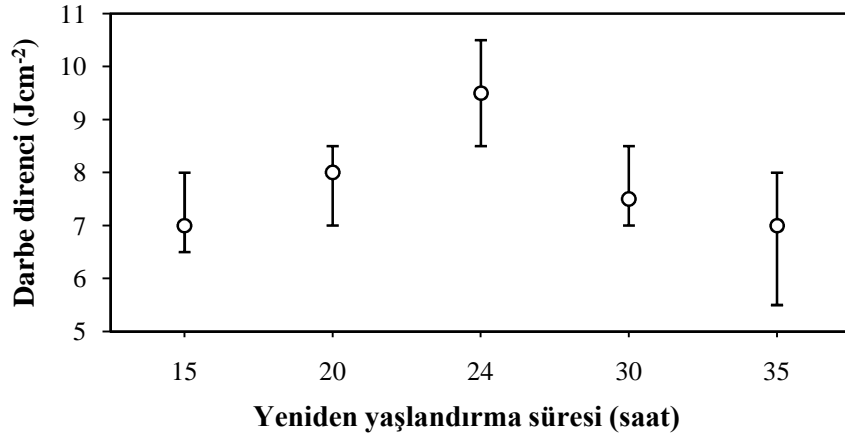




Şekil 6.42. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltilmiş ve 120°C sıcaklıkta a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının çekme deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

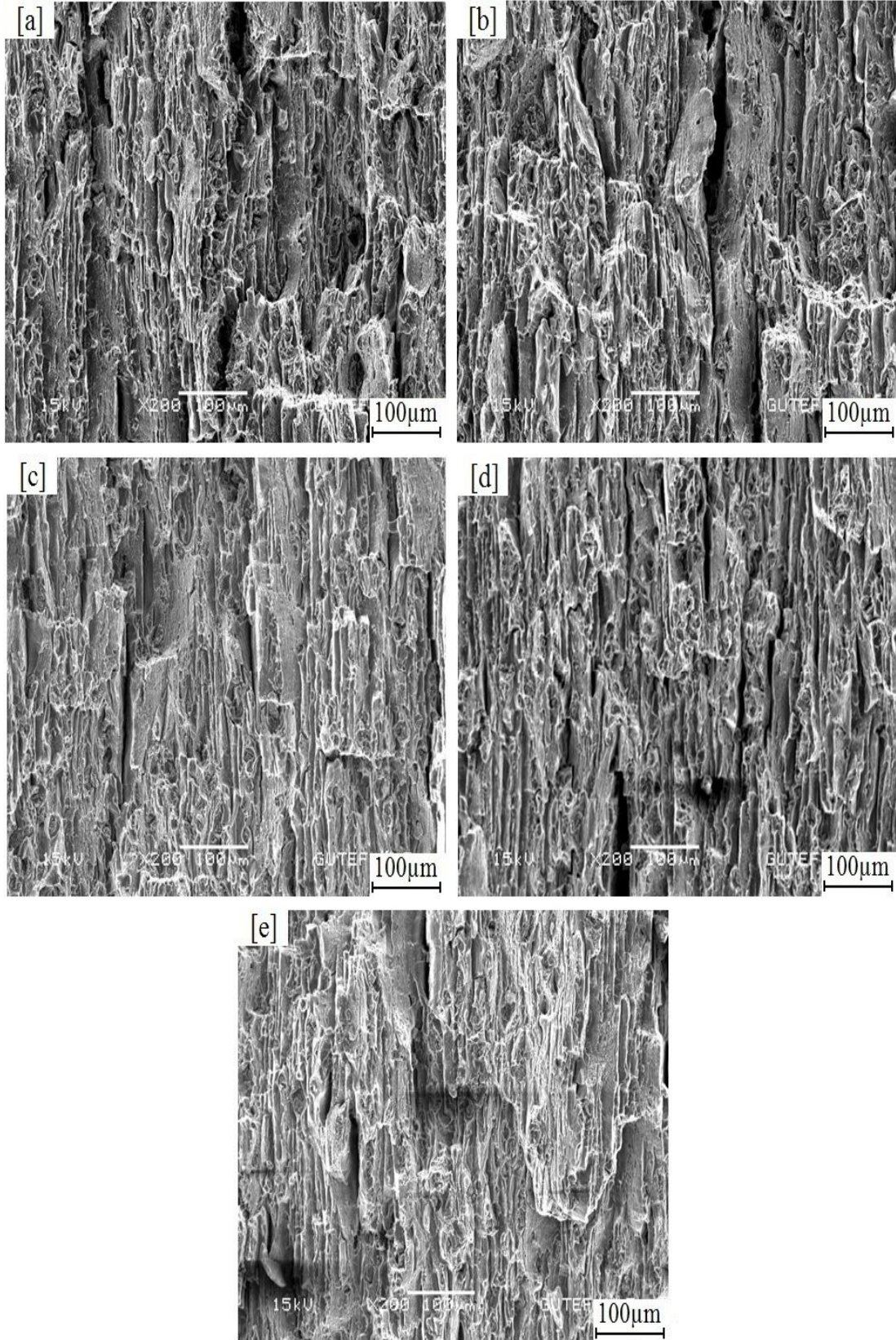
### 6.3.5 Çentik darbe deneyleri

120°C sıcaklığında ve farklı sürelerde yeniden yaşlandırılan numunelerin çentik darbe deney sonuçları Şekil 6.43'de verilmektedir. En yüksek darbe direnci 24 saat sürede yaşlandırılan alaşıma sahiptir. En düşük ise 35 saat yaşlandırılan alaşımın sahip olduğu görülmektedir. Bu durum önceki benzer sonuçlarla açıklanabilmektedir.



Şekil 6.43. 220°C'de 60 dk yeniden çözeltiyeye alınan ve 120°C'de 15, 20, 24, 30 ve 35 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin darbe deneyi değerleri değişimi

Darbe deneyleri sonrasında elde edilen kırılma yüzey görüntüleri Şekil 6.44'de verilmiştir. Kırılma yüzey görüntüleri arasında önemli bir fark görülmemektedir. Dinamik yüklerde malzemede meydana gelen kırılmalar anı ve hızlı olduğunda alaşım sahip olduğu mikroyapılar birbirine benzer olduğundan aynı kırılma yüzey görüntüleri elde edilmektedir.



Şekil 6.44 220°C’de 60 dk yeniden çözültüye alınan ve 120°C sıcaklığında a) 15, b) 20, c) 24, d) 30, e) 35saat yeniden yaşlandırılan 7075 alüminyum alaşımının darbe deneyi sonrasında oluşan aşınma yüzeyi SEM görüntüsü

## BÖLÜM 7. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

### 7.1 Sonuçlar

Bu çalışmada 7075 alüminyum alaşımlarına farklı sıcaklık ve sürelerde yeniden çözeltilmeye alma ve yeniden yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmıştır. Optimum mekanik değerleri veren sıcaklık ve sürelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada seçilen ısıl işlem parametrelerinin 7075 alüminyum alaşımının mikroyapı ve bazı mekanik özelliklere etkileri araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalardan aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

- 1) Yeniden çözeltilmeye alma sıcaklığı arttıkça sertlik değerleri artmakta, 220°C sıcaklıkta yeniden çözeltilmeye alınan alaşım en yüksek sertlik değerlerine sahiptir. 220°C 'den daha yüksek sıcaklıklarda yeniden çözeltilmeye alma işlemi sonrasında alaşımların sahip olduğu sertlik değerlerinde azalma olduğu görülmektedir.
- 2) Alaşımların sertlik değerleri yeniden çözeltilmeye alma sıcaklıklarında (180-220°C) bekleme sürelerine bağlı olarak belirli bir süreye kadar artmakta daha sonra düşüş göstermektedir. 240 ve 260°C'de yeniden çözeltilmeye alma sıcaklıklarında süredeki artışa paralel olarak sertlik değerlerinde düşüş görülmektedir. En yüksek sertlik değeri 220°C'de 60 dk sürede yeniden çözeltilmeye alma işleminden sonra elde edilmiştir.
- 3) Aşınma deneylerinde aşınma kaybı ve aşınma oranları, uygulanan yüke ve mesafeye bağlı olarak artmaktadır. En yüksek aşınma kaybı ve aşınma oranı 260°C'de yeniden çözeltilmeye alınan numuneler sahip olurken en düşük aşınma kaybı ve oranı ise 220°C'de yeniden çözeltilmeye alınan numunelerde elde edilmiştir.

- 4) Yeniden çözeltiye alma sürelerindeki değişim ağırlık kaybı ve oranını etkilemektedir. 240°C ve 260°C yeniden çözeltiye alma sıcaklıklarında bekleme süresine bağlı olarak ağırlık kaybı ve aşınma oranı artmaktadır. Aşınma deneyi sonrasında en yüksek sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında sürtünme katsayısı değerleri 0,2-0,4 arasında değişmektedir.
- 5) Yeniden çözeltiye alma sıcaklığı ve süreleri çekme dayanımı ve % uzama değerlerine etki etmektedir. En yüksek çekme dayanımı 630MPa ile 220°C sıcaklıkta ve 60dk sürede yeniden çözeltiye alınan numunelerde elde edilmiştir. Çekme dayanım değerleri (180-220°C), süreye bağlı olarak artış gösterirken (240 ve 260°C) yeniden çözeltiye alma sıcaklıklarında süreye bağlı olarak düşüş göstermektedir. En düşük çekme dayanım değerleri 260°C sıcaklık ve 75 dk sürede yeniden çözeltiye alınan numuneden elde edilmiştir. En düşük % uzama değeri ise % 6 ile 220°C sıcaklık ve 60 dk sürede yeniden çözeltiye alınan numunelerde elde edilmiştir.
- 6) Farklı sürelerde 220°C yeniden çözeltiye alınan numunelerde uygulanan çentik darbe deneylerinde en yüksek değer 10,4 J.cm<sup>-2</sup> ile 60dk sürede yeniden çözeltiye alınan numunelerde elde edilmiştir. En düşük değer ise 15 dk sürede yeniden çözeltiye alınan numunede elde edilmiştir.
- 7) Yeniden çözeltiye alınan numunelerin optik ve SEM/EDS çalışmaları yapılmıştır. Optik ve SEM mikroyapı çalışmalarında yeterli büyültme sağlanamadığından dolayı herhangi bir fark gözlenmemiştir. SEM/EDS ve SEM/haritalama çalışmalarında bazı farklar gözlenmiştir.
- 8) 220°C sıcaklık ve 60 dk sürede yeniden çözeltiye alınan numunelere 100-140°C sıcaklıklar arasında 24 saat süre ile yeniden yaşlandırılmıştır. Bu numunelere aşınma deneyleri yapılmıştır. Aşınma değerlerinde en düşük aşınma kaybı ve oranları 120°C sıcaklıkta yeniden yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir. 100 ve 140°C'lerde yeniden yaşlandırılan numunelerin aşınma dirençlerinin düşük

olduğu gözlenmiştir. Aşınma deneyleri esnasında uygulanan yüke ve mesafeye paralel olarak ağırlık kaybı miktarı ve oranı artmaktadır. Diğer taraftan sürtünme katsayısı değerleri 0,2-0,3 arasında değişmektedir.

- 9) Yeniden yaşlandırılan numunelere uygulanan çekme deneylerinde en yüksek çekme dayanımını 120°C sıcaklıkta yeniden yaşlandırılan numunelerde gerçekleştirirken, bu numunelerin en düşük % uzama değerlerine sahip olduğu gözlenmiştir.
- 10) Yeniden yaşlandırılan numunelere yapılan çentik darbe deneylerinde en yüksek tokluk değerini 120°C sıcaklıkta yeniden yaşlandırılan numunelerde elde edilirken en düşük değerler 140°C'de yeniden yaşlandırılan numunelerde elde edilmiştir.
- 11) Yeniden yaşlandırılan numunelerde optimum yaşlandırma süresinin belirlenmesi için farklı sürelerde yeniden yaşlandırılmıştır. Seçilen sürelerde en yüksek sertlik değerleri 24 saat yeniden yaşlandırılan numunede, en düşük sertlik değerine ise 35 saat yeniden yaşlandırılan numuneden elde edildiği görülmüştür.
- 12) Yeniden yaşlandırma süresinin çekme dayanımına etkisi 20 saatten sonra az olduğu gözlenmiştir. En yüksek çekme dayanımı ve en düşük % uzama 24 saat yeniden yaşlandırılan numunelerin sahip olduğu gözlenmiştir.
- 13) Bazı seçilen yeniden yaşlandırılan numunelerin aşınma, çentik darbe ve çekme deneyleri sonrasında oluşan yüzeylerde SEM/EDS ve SEM/haritalama incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

## 7.2 Öneriler

7075 alüminyum alaşımları ve bu alaşımların yaşlandırma işlemleri konularında araştırmalar yapacaklara aşağıdaki öneriler sayılabilir;

- RRA ısıtma işlemi yapılan 7075 alüminyum alaşımına korozyon deneyleri uygulanarak yeniden çözüme alma sıcaklığı ve süresi ile yeniden yaşlandırma sıcaklığı ve süresinin korozyon direncine etkisi araştırılabilir.
- TEM (geçirgen elektron mikroskobu) çalışmaları yapılarak bir önceki maddede bahsedilen parametrelerin oluşan faz ve boyutları belirlenerek bunların malzemenin çekme dayanımı, sertlik, tokluk değerleri ile aşınma ve korozyon direncine etkileri araştırılabilir.
- Bu malzemeler uygulama alanları buldukları sektörlerde yorulma ömürleri önemlidir. Bu nedenlerle çalışmada kullanılan ısıtma işlem parametrelerinin yorulma davranışlarına etkileri araştırılabilir.

## KAYNAKLAR

- [1] MONDOLFO L.F., “Aluminum alloys: structure and properties”, Boston 7 Butterworths; 1976.
- [2] MILLER W.S., ZHUANG L., BOTTEMA J., WITTEBROOD A.J., SMET P. De, HARSLER A., VIEREGGE A., “Recent Development in Aluminium Alloys for the Automotive Industry”, Materials Science and Engineering A280, 37–49, 2000
- [3] SMITH W.E., Mühendislik Alaşımalarının Yapı ve Özellikleri, Demir Dışı Alaşımalar, Cilt 2, çeviri M. Erdoğan, Nobel Dağıtım, 2001.
- [4] SACKESEN I., “Yüksek Mukavemetli 7075 Alüminyum Alaşımının Yorulma ve Korozyon Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, F.B.E., Yüksek lisans Tezi, 2007.
- [5] KAYA I., “Al 7075 Alaşımının Şekillendirme Ve Isıl İşlem İle Özelliklerinin İyileştirilmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi F.B.E. Yüksek Lisans Tezi, 2005
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] ASM Handbook, “Heat Treating, ASM international Materials Park, Ohio” vol. 4, 1990.
- [9] CINA, B.M., “Reducing the susceptibility of alloys, particularly aluminium alloys to stress corrosion cracking”, U.S. Patent, No: 3,856,584 dated Dec. 24, 1974.



- [10] AY N., “7075 Alüminyum Alaşımında RRA Isıl İşleminin Mikroyapıya Etkisi ve Kinetik Analiz”, İstanbul Teknik Üniversitesi, F.B.E., Doktora tezi 1989.
- [11] BAYDOGAN M., “Retrograsyon ve Yeniden Yaşlandırma Uygulanmış 2014 ve 7075 Kalite Alüminyum Alaşımlarının Mekanik ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi” İstanbul Teknik Üniversitesi F.B.E., Doktora tezi 2003.
- [12] CINA B.M., RANISH B., “New technique for Reducing Susceptibility to Stress Corrosion of High Strength Aluminium Alloys”, Pittsburgh, 1974.
- [13] Kibar E., Yılmaz R., Özyürek D., “Wear Properties of 7075 Aluminium Alloys Produced By Powder Metalurgy”, 5. Uluslararası Toz Metalurjisi Konferansı, Ankara, 69-76, 08–12 Ekim 2008.
- [14] DEUIS R.L., SUBRAMANIAN C., YELLUP J.M., “Dry Sliding Wear of Aluminium Composites- A Review”, Composites Science and Technology. 57, 415-435, 1997.
- [15] VENCL A., BOBIC I., MIKOVIC Z., “Effect of Thixocasting and Heat Treatment on the Tribological Properties of Hypoeutectic Al–Si alloy”, Wear, 264, 616–623, 2008.
- [16] CHEN R., IWABUCHI A., SHIMUZU T., “The Effect of a T6 Heat Treatment on the Fretting Wear of a SiC Particle-Reinforced A356 Aluminum Alloy Matrix Composite”, Wear 238, 110–119, 2000.
- [17] SUDARSHAN, SURAPPA M.K., “Dry Sliding Wear of Fly Ash Particle Reinforced A356 Al Composites”, Wear, 205, 249-360, 2008.
- [18] HOW H.C., BAKER T.N., “Dry sliding wear behaviour of Saffil-reinforced AA6061 composites”, Wear 210, 263–272, 1997.
- [19] BAYDOGAN M., CIMENOGLU H., KAYALI E.S., “A Study on Sliding Wear of a 7075 Aluminum alloy”, Wear, 257, 852–861, 2004.
- [20] CESCHINI L., BOSI C., CASAGRANDE A., GARAGNANI G.L., “Effect of Thermal Treatment and Recycling on the Tribological Behaviour of an AlSiMg-SiC<sub>p</sub> Composite”, Wear, 251, 1377–1388, 2001.
- [21] MINDIVAN H., KAYALI E. S., CIMENOGLU H., “Tribological Behavior of Squeeze Cast Aluminum Matrix Composites”, Wear, 265, 645–654, 2008.

- [22] KAUFMAN, J.G., “Introduction to Aluminum Alloys and Tempers”, ASM International, Materials Park, Ohio, 2000.
- [23] ASM Handbook, “Alloy Phase Diagrams”, Vol. 3, ASM International, Materials Park, OH, 1992.
- [24] ASKELAND, D.R. “Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri”, Nobel Yayın Dağıtım Ankara, 1998.
- [25] POLMEAR, I.J., “Light Alloys Metallurgy of the Light Metals”, Edward Arnold, Great Britain. 1989.
- [26] KİBAR E., “ Alüminyum 6063 Alaşımına Uygulanan T5 ve T6 Isıl İşlemlerinin Aşınma Davranışının İncelenmesi”, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi T.E.F Lisans Tezi Karabük, 2007.
- [27] TARHAN K., GEZICI R., “Demir Olmayan Metallerin Isıl İşlemi”, 1984.
- [28] SAVAŞKAN, T., “Malzeme Bilgisi ve Muayenesi”, Derya Kitapevi, Trabzon, 1999.
- [29] DAŞCILAR B., “Farklı Ekstrüzyon Hızlarında Ekstrüze Edilmiş AA6063 Alüminyum Alaşımının Yüzey ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Gebze yüksek teknoloji enstitüsü, Yüksek lisans tezi, 2006.
- [30] ELAGIN, V.I. and ZAKHAROV, V.V., 1994. Progress in the strengthening of aluminum alloys by heat treatment, Materials Science Heat Treatment, 36,11-12, 597-603.
- [31] GAZDA, A., WARMUZEK, M. and WIERZCHOWSKI, W., DTA investigation of the retrogression and re-ageing in some AlZnMgCu alloys, Thermochemica Acta, 303, 2,197-202, 1997.
- [32] VIANA F., PINTO A.M.P., SANTOS H.M.C., LOPES A.B., “Retrogression and Re-ageing of 7075 Aluminium Alloys Microstructure Characterization”, Journal of Material. Properties. Technology. 54-59, 1999.
- [33] KANNO, M., ARAKI, I. and CUI, Q., “Precipitation behaviour of 7000 alloys during retrogression and reaging treatment”, Material Science. Technology, 10, 7, 599-603, 1994.

- [34] 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.
- [35] LI X.Z., HANSEN V., GJONNES J. and WAUENBERG I.R., “HREM study and structure modeling of the  $\eta'$  phase, the hardening precipitates in commercial Al-Zn-Mg alloys, *Acta Materialia*, 47, 9,2651-2659., 1999
- [36] LOFFLER H., KOVACS I. and LENDVAI J., “Review Decomposition processes in Al-Zn-Mg alloys”, *Journal Of Materials Science* , 18, 8, 2215-2240.OGA, 1983.
- [37] 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.
- [39] 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
- [40] ZHIHUI L., BAIQING X., YOGAN Z., BAPHONG Z., FENG W. and HONGWEI L., “Aging Behavior of an Al-Zn-Mg-Cu Alloy pre-stretched thick plate”, *Journal of University of Science and Technology Beijing*, 14, 3-246, 2007.
- [41] LI Z. Jin-feng, PENG Zhuo-wei, LI Chao-xing, JIAZhi-qiang, CHEN Wen-jing, ZHENG Zi-qiao, “Mechanical Properties, Corrosion Behaviors and Microstructures of 7075 Aluminium Alloy with Varions Aging Treatments”, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 755-762, 2008.
- [42] ZIELINSKI A., CHRZANOWSKI J. WARMUZEK M., GAZDA A., JEZIERSKA E., “Influence of retrogression and re-aging on microstructure, mechanical properties and susceptibility to stress corrosion cracking of an Al-Zn-Mg alloy”, *Materials and Corrosion*, 55(2): 77-87, 2004
- [42] LIN J C, LIAO H L, JEHNG W D, CHANG C H, LEE S L., “Effect of heat treatments on the tensile strength and SCC resistance of AA7050 in an alkaline saline solution”, *Corrosion Science*, 48(10): 3139-3156., 2006,
- [43] XIE G S, ZENG Y, DING H., “DSC and TEM study of high strength aluminium alloy”, *Acta Metallurgic Sinica*, 17(4): 554-559, 2004.

- [44] PARK, J.K. and ARDELL, A.J., "Microstructures of the commercial-7075 Al-Alloy in the T651-temper and T7 temper", *Materials Transactions*, 14, 10, 1957-1965., 1983.
- [45] RAJAN J.K., WALLACE W., BEDDOES J.C., "Microstructural Study Of A High-Strength Stress-Corrosion Resistant 7075 Aluminum-Alloy" *Journal Of Materials Science* 17, 10, 2817-2824, 1982.
- [46] WANG D., Ni D.R., MA Z.Y., "Effect of pre-strain and two-step aging on microstructure and stress corrosion cracking of 7050 alloy", *Materials Science and Engineering A* 494 129-366, 2008.
- [47] PUIGGALI M., ZIELINSKI A., OLIVE J.M., RENAULD E., DESJARDINS D., Cid M., "Effect of microstructure on stress corrosion cracking of an Al-Zn-Mg-Cu alloy" *Corrosion Science*, 40, 805-819, 1998.
- [48] DUMONT D., DESCHAMPS A., BRECHET Y., "On the relationship between microstructure, strength and toughness in AA7050 aluminum alloy" *Materials Science and Engineering A-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 356, 326-336, 2003.
- [49] OLIVEIRA A.F., BARROS M.C., CARDOSO K.R., TRAVESSA D.N., "The effect of RRA on the strength and SCC resistance on AA7050 and AA7150 aluminium alloys", *Materials Science and Engineering A* 379, 321-326, 2004.
- [50] MENG C., LONG H., ZHENG Y., "A study of the mechanism of hardness change of Al-Zn-Mg alloy during retrogression reaging treatments by small angle X-ray scattering (SAXS)", *Materials Transactions*, 28-2067, 1997.
- [51] DAHN, N.C., RAJAN, K. and WALLACE W., "A TEM study of microstructural changes during retrogression and reaging in 7075 aluminum", *Materials Transactions. A*, 14, 9, 1843-1850., 1983.
- [52] FENG Chun, LIU Zhi-yi, NING Ai-lin, LIU Yan-bin, ZENG Su-min, "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.
- [53] 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

- [54] AKKURT M , “Makine Elemanları Cilt 2” , İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 1992
- [55] YILMAZ, F., "Sürtünme ve Aşınma", 9. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi", 229-247, İstanbul, 1997.
- [56] ASHBY, M., JONES, R.H.D., "Friction and Wear Engineering Materials", Cambridge University, England, 1996.
- [57] HAIL, M.B. and MARTIN, J.W., “The effect of retrogression temperature on the properties of an RRA (Retrogressed and re-aged) 7150 aluminium alloy”, Zeitschrift Fur Metallkunde, 85, 2, 134-139., 1994.
- [58] HOLT R.T., RAIZENNE M.D., WALLACE W., “RRA Heat Treatment of Large Al 7075-T6 Components”, Structures, Materials and Propulsion Laboratory, Institute for Aerospace Research, National Research Council, Ottawa, ON, Canada
- [59] İSLAM, M.U., WALLACE, W., “Retrogression and reaging response of 7475 aluminium alloy”, Metals Technology, 386-392, 1983.
- [60] HALL, M.B. and MARTIN, J.W., “The effect of retrogression temperature on the properties of an RRA (Retrogressed and re-aged) 7150 aluminium alloy”, Zeitschrift Fur Metallkunde, 85, 2, 134-139., 1994.
- [61] DESCHAMPS A., BRECHET, Y., “Influence of quench and heating rates on the ageing response of an Al-Zn-Mg-(Zr) alloy”, *Mater. Sci. Eng. A*, 251,1-2, 200-207., 1998
- [62] NAKAZATO R.Z., CODARO E.N., HOROVISTIZ A.L. and HEIN L.R.O., “Metallurgical study of aluminium alloys used as aircraft components”, *Prakt. Metallogr.*, 38, 2, 74-87, 2001.
- [63] FERRAGUT R., SOMOZA A. and TORRIANI I., “Pre-precipitation study in the 7012 Al-Zn-Mg-Cu alloy by electrical resistivity”, *Materials Science And Engineering A*, 334, 1-2,1-5., 2002
- [64] ISLAM M.U. and WALLACE W., “Stress corrosion-crack growth behaviour of 7475 T6 retrogressed and reaged aluminium alloy”, *Metals Technology*, 11,320-322., 1984
- [65] ARAN A., “Optimization of the strength and intergranular corrosion properties of the 7075-A1 Alloy by retrogression and reaging”, *Zeitschrift*

Fur Metallkunde, 80, 3,170-172., 1989

- [66] VENKATARAMAN, B., SUNDARARAJAN, G. , “Correlation between the characteristics of the mechanically mixed layer and wear behaviour of aluminium, Al-7075 alloy and Al-MMCs”, *Wear*, 245 22–38, 2000.
- [67] WANG, J., DANNINGER, H., "Dry Sliding Behaviour of Molybdenum Alloyed Sintered Steels", *Wear* 222, 49-56, 1998.
- [68] ÖZGÜN Ö., “Toz Metalurjisi ile Üretilen Alaşımli Çeliklerin Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri”, Sakarya Üniversitesi F.B.E. Yüksek LisansTezi Sakarya, 2007.

## ÖZGEÇMİŞ

Erkan KİBAR 1983 yılı Sakarya doğumlu olup ilkokul öğrenimini Sakarya'da Mehmet Akif Ersoy İlkokulu'nda (1990-1994, ortaokul öğrenimini Mehmet Akif Ersoy İlköğretim Okulu'nda (1994-1997) ve lise öğrenimini Sakarya Anadolu Teknik, Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi'nde Elektrik Bölümünü (1998-2000) başarıyla tamamladı. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitim Bölümü, Döküm Öğretmenliği Programında Lisans Eğitimini başarıyla tamamladı(2003-2007). Halen Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metal Eğitimi bölümünde Yüksek Lisans Eğitimini sürdürmektedir.

Erkan KİBAR