



**YAŞLANABİLİR AA 7075 KALİTE AL
ALAŞIMININ AŞINMA VE KOROZYON
DAVRANIŞINA BORAKS İLAVESİNİN VE
HADDELEME İŞLEMİNİN ETKİSİ**

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

Muhammed ABDULMULİM

**Tez Danışmanı
Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA**

**YAŞLANABİLİR AA 7075 KALİTE AL ALAŞIMININ AŞINMA VE
KOROZYON DAVRANIŞINA BORAKS İLAVESİNİN VE HADDELEME
İŞLEMİNİN ETKİSİ**

Muhammed ABDULMULIM

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

T.C.

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Ağustos 2023

Muhammed ABDULMULIM tarafından hazırlanan “YAŞLANABİLİR AA 7075 KALİTE AL ALAŞIMININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞINA BORAKS İLAVESİNİN VE HADDELEME İŞLEMİNİN ETKİSİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

.....

Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 14/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Muhammed Hüseyin ÇETİN (KTUN)

.....

Üye : Prof. Dr. İsmail ESEN (KBÜ)

.....

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA (KBÜ)

.....

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

.....

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Muhammed ABDULMULIM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YAŞLANABİLİR AA 7075 KALİTE AL ALAŞIMININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞINA BORAKS İLAVESİNİN VE HADDELEME İŞLEMİNİN ETKİSİ

Muhammed ABDULMULIM

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA

Ağustos 2023, 160 sayfa

Bu çalışmada Al7075 alaşımına sıvı eriyik yöntemiyle ağırlıkça %15 ve %30 oranlarında boraks ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) ilave edilmesinin alaşımın mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Al7075 alaşımına boraks pota içinde ilave edilerek bor alüminyum bileşikleri elde edilmiştir. Elde edilen Al7075+%15 borakslı ve Al7075+%30 borakslı kompozitleri %50 ve %80 oranlarında soğuk haddeleme işlemine tabi tutulmuştur. Ayrıca bir kısım numunelere T6 ısıtma işlemi uygulanarak çöktürme sertleşmesiyle ve yaşlandırmayla T6 ısıtma işleminin etkileri incelenmiştir. Elde edilen numunelerin spektral analiz, mikro yapı, brinell sertlik, kuru aşınma ve potansiyodinamik korozyon davranışları incelenmiştir. Deneylerin ardından, numunelerin yüzeylerindeki faz durumlarını incelemek amacıyla EDX analizleri ve SEM görüntüleri alınmıştır. %15 borakslı, %30 borakslı ve boraks ilavesiz Al7075 numunelerden alınan mikroyapılarda yapılan ortalama tane boyutu ölçümü sonucunda

boraks ilavesi arttıkça ortalama tane boyutunun boraks ilavesiz Al7075 numunesine (111 μm) göre büyüdüğü gözlemlenmiştir. Boraks ilaveli numunelere T6 ısıtma işlemi uygulandığında, ortalama tane boyutunun küçüldüğü (%15 borakslı %18.8, %30 borakslı %5.5 azalır) gözlemlenmiştir. %50 ve %80 soğuk haddeme işlemlerinden sonra T6 ısıtma işlemi uygulandığında, tane boyutunun Al7075 malzemesinin tane boyutundan daha küçük tane boyutu elde edildiği gözlemlenmiştir. Yapılan sertlik ölçümü sonucunda en yüksek sertlik değeri %80 oranında haddelenmiş %15 borakslı numunede (84.11 BH) bulunurken, en düşük sertlik değeri %50 oranında haddelenmiş %30 borakslı numunede (65.54 BH) gözlemlenmiştir. T6 ısıtma işlemi uygulandığında ise en yüksek sertlik değeri %80 oranında haddelenmiş %30 borakslı numunede (74.83 BH) bulunurken en düşük sertlik değeri %30 borakslı numunede (65 BH) bulunmuştur. Aşınma sonuçlarına bakıldığında boraks ilavesi 0.0223 g toplam ağırlık kaybına sahip olan Al7075 malzemeye göre ağırlık kaybını arttırmıştır ancak boraks ilavesinin artırılmasıyla toplam ağırlık kaybında düşüş (%15 borakslı numunede 0.0336 gram iken %30 borakslı numunede 0.031 grama düşmüştür) dolayısıyla aşınma direncinde artış görülmüştür. Bu iki numuneye T6 ısıtma işlemi uygulandığında %30 borakslı numunenin ağırlık kaybı %7.74 oranında düşerken %15 borakslı numunede %42.56 oranında artmıştır. Haddeme işlemi, tek başına numunelerin aşınma direncini haddelenmeden önceki durumlarına göre iyileştirmiştir. T6 ısıtma işlemi görmüş numunelerin verilen ağırlık kayıplarının toplamaları T6 ısıtma işlemi görmemiş numunelerle karşılaştırıldığında %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numune hariç bütün numunelerin ağırlık kayıplarının T6 ısıtma işlemiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon korozyon deneyi sonuçlarına göre, %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesi hariç bütün numunelerin korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) değerlerinin, $6.29\text{E}-06$ A değerine sahip ana matris Al7075 malzemesinin numunesinden daha düşük olduğu görülmüştür. T6 ısıtma işleminden sonra %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesinin I_{corr} değeri $9.173\text{E}-06$ A'den $3.76\text{E}-06$ A'ya kadar düştüğünden bütün malzemelerin ana malzemeye göre korozyon direncinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : Al7075 alaşımı, Boraks, Soğuk Haddeleme, T6 Isıl İşlem, Spektral Analiz, Mikro Yapı, Brinell Sertliği, Kuru Aşınma, EDX Analizi, SEM Görüntüleri, Tane Boyutu.

Bilim Kodu : 91417



ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF BORAX ADDITION AND ROLLING PROCESS ON WEAR AND CORROSION BEHAVIOR OF AGE-HARDENABLE AA 7075 ALLOY

Muhammed ABDULMULIM

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Mechanical Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Cevat ÖZARPA

August 2023, 160 pages

In this study, the effect of adding borax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) to the Al7075 alloy at weight percentages of %15 and %30 via the liquid melt method (stir casting) on the mechanical properties of the alloy was investigated. Boron aluminum compounds were obtained by adding borax to Al7075 alloy in a crucible. The obtained Al7075+%15 borax and Al7075+%30 borax composites were subjected to cold rolling at percentages of %50 and %80. Additionally, some samples were subjected to T6 heat treatment to investigate the effects of precipitation hardening and aging of T6 heat treatment. The spectral analysis, microstructure, Brinell hardness, dry wear, and potentiodynamic corrosion behaviors of the obtained samples were analyzed. After the experiments, EDX analyses and SEM images were taken to examine the phase states on the surfaces of the samples. As a result of the average grain size measurement made on the microstructures taken from Al7075 samples with 15% borax, 30% borax and no borax addition, it was observed that the average grain size increased as the borax

addition increased compared to the Al7075 sample (111 μm) without borax addition. When T6 heat treatment was applied to the borax added samples, it was observed that the average grain size decreased (18.8% with 15% borax, 5.5% with 30% borax). When T6 heat treatment is applied after 50% and 80% cold rolling processes, a smaller grain size than that of the Al7075 (111 μm) was obtained. As a result of the hardness measurement, the highest hardness value was observed in the %80 cold-rolled and %15 borax added sample (84.11 BH), while the lowest hardness value was observed in the %30 borax added sample that was cold-rolled at %50 (65.54 BH). After T6 heat treatment, the highest hardness value was observed in the %80 cold-rolled and 30% borax added sample (74.83 BH), while the lowest hardness value was observed in the 30% borax added sample (65 BH). The addition of borax increased the weight loss compared to the Al7075 material with a total weight loss of 0.0223 g however with the increase in borax addition, a decrease in total weight loss was observed in the dry wear results (while it was 0.0336 grams in the 15% borax sample, it decreased to 0.031 grams in the 30% borax sample), resulting in an increase in wear resistance. When these two samples were subjected to T6 heat treatment, the weight loss of the 30% borax added sample decreased by 7.74%, while the weight loss of the 15% borax added sample increased by 42.56%. Cold rolling alone improved the wear resistance of the samples compared to their pre-rolled state. When the total weight losses of the T6 heat-treated samples were compared to those of the samples that were not heat-treated, it was observed that the weight losses of all samples, except for the %50 cold-rolled with %30 borax addition Al7075 sample, increased by the implementing of T6 heat treatment. According to the results of the potentiodynamic polarization corrosion test, it has been observed that the corrosion current density (I_{corr}) values of all samples except for the %50 cold-rolled with %30 borax addition sample have lower values than the main matrix Al7075 material with a value of $6.29\text{E-}06$ A. After the T6 heat treatment, the I_{corr} value of the %30 borax added %50 cold-rolled sample decreased from $9.173\text{E-}06$ A to $3.76\text{E-}06$ A, indicating an increase in corrosion resistance for all materials compared to the main material.

Key Word : Al7075 alloy, Borax, Cold rolling, T6 heat treatment, Spectral analysis, Microstructure, Brinell hardness, Dry wear, EDX analysis, SEM images, Grain size.

Science Code : 91417



TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması, araştırılması ve yürütülmesindeki başarılı sonuçların elde edilmesinde ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalanmamı sağlayan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Cevat ÖZARPA'ya, yapılan testlerde ve sonuçların değerlendirilmesindeki katkılarından dolayı Prof. Dr. İsmail ESEN'e, Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya içten teşekkürlerimi sunarım. Kendilerinin desteği ve yönlendirmesi sayesinde bu çalışma bilimsel temeller ışığında şekillendirilerek başarıyla tamamlanmıştır. Laboratuvar ve atölye çalışmaları boyunca yapmış olduğum testlerde benimle birlikte çalışarak ve yardımcı olarak her daim yanımda olan, isimlerini tek tek yazmakla bitiremeyeceğim tüm arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunmak istiyorum. Onların desteği ve katkısı, bu çalışmanın tamamlanmasında ve başarıya ulaşmasında çok büyük bir rol oynadı. Her birine ayrı ayrı minnettarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vii
TEŞEKKÜR.....	x
İÇİNDEKİLER	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xx
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xxi
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	10
LİTERATÜR.....	10
2.1. ALÜMİNYUM KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM ALAŞIM TÜRLERİ	11
2.1.1. Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri	11
2.1.2. Al7075.....	13
2.2. BOR VE BOR ALAŞIM TÜRLERİ	13
2.2.1. Bor Alaşımları ve Malzemelere Olan Katkıları	14
2.2.1.1. MgB ₂	14
2.2.1.2. B ₄ C	15
2.2.1.3. Al-B Alaşımları	15
2.3. BOR MİNERALLERİ.....	16
2.3.1. Boraks (Na ₂ [B ₄ O ₅ (OH) ₄]·8H ₂ O).	16
BÖLÜM 3	18
KARIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİ VE KOMPOZİT ÜRETİMİ.....	18
3.1. KARIŞTIRMALI DÖKÜM TEKNİĞİ	18

Sayfa

3.2. KARIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİNDE ÜRETİM AŞAMALARI	18
3.2.1. Döküm İçin Malzemenin Hazırlanması	19
3.2.2. Döküm Yapılması	21
3.3. HOMOJENLEŞTİRME ISIL İŞLEM	23
3.4. HADDELEME İŞLEMİ	25
3.5. T6 ISIL İŞLEM (YAPAY YAŞLANDIRMA)	28
 BÖLÜM 4	29
DENEYLER	29
4.1. SPEKTRAL ANALİZ	29
4.2. EDX ANALİZİ	30
4.3. MİKRO YAPI İNCELEMESİ	30
4.4. SEM ANALİZİ	31
4.5. SERTLİK ANALİZİ	32
4.6. AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ	34
4.7. KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ	35
 BÖLÜM 5	38
DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	38
5.1. SPEKTRAL ANALİZ	38
5.2. MİKRO YAPI İNCELEMESİ	39
5.3. SERTLİK ANALİZİ	63
5.4. SEM ANALİZİ	66
5.5. AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ	109
5.6. KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ	134
 BÖLÜM 6	144
SONUÇLAR	144
 KAYNAKLAR	152
 ÖZGEÇMİŞ	160

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Al7075 kütüğü.	19
Şekil 3.2. F9 Pota.	19
Şekil 3.3. Şerit testere.	20
Şekil 3.4. Boraks folyoları.	20
Şekil 3.5. Karıştırılmalı döküm yöntemi teknik çizimi.	21
Şekil 3.6. İndüksiyon fırını ve karıştırıcı.	22
Şekil 3.7. Döküm kalıbı ve dökülen metalden elde edilen parça.	23
Şekil 3.8. Homojenleştirme işleminde kullanılan fırın.	24
Şekil 3.9. Homojenleştirme işlemi için numunelerin fırına yerleştirilmesi.	25
Şekil 3.10. Şematik olarak haddeleme işlemi gösterimi.	26
Şekil 3.11. Elektronik kontrollü haddeleme cihazı.	26
Şekil 3.12. Al7075 + %15 boraks alaşımının %100 haddeleme oranına yaklaşıldığında numunede yaşanan çatlamlar.	28
Şekil 3.13. T6 ısıtım işlemi için hazırlanan numuneler.	28
Şekil 4.1. Spektral analiz yapılmış bazı numunelerin görüntüsü.	29
Şekil 4.2. Spektral analiz yapılmış bazı numunelerin görüntüsü.	31
Şekil 4.3. SEM görüntülerinin alındığı cihaz.	31
Şekil 4.4. Brinell sertlik ölçüm cihazı.	32
Şekil 4.5. Brinell sertlik ölçümünde kullanılan programın arayüzü ve bilyenin bıraktığı izin görünümü.	33
Şekil 4.6. Sertlik cihazının ölçüm için kullandığı formül Eşitlik 4.2 ile gösterilmiştir.	33
Şekil 4.7. Kuru aşınma düzeneği.	34
Şekil 4.8. Kuru aşınma cihazı test numunesi yerleştirilmiş olan bölge.	35
Şekil 4.9. Aşınma cihazına bağlanmış numune görüntüsü.	35
Şekil 4.10. Korozyon testi için kullanılan malzemeler (a) Doygun kalomel elektrot, (b) Behere sabitlenmiş karbon elektrot, (c) Test aşamasına hazır olan düzenek, (d) düzeneğin bağlandığı bilgisayar, (e) Test için hazırlanan numuneler.	37
Şekil 5.1. Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 1 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).	40

Şekil 5.2.	Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 1:30 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).....	40
Şekil 5.3.	Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 2 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).....	40
Şekil 5.4.	Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 2:45 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).....	41
Şekil 5.5.	Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 3:45 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).....	41
Şekil 5.6.	Haddelenmiş numunelerin yüzey isimlendirmesi.....	42
Şekil 5.7.	%50 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşımının üst, dik ve yan yüzeylerinden görüntüleri.....	42
Şekil 5.8.	%80 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşımının üst, dik ve yan yüzeylerinden görüntüleri.....	43
Şekil 5.9.	%100 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşımının üst, dik ve yan yüzeylerinden görüntüleri.....	44
Şekil 5.10.	Saf Al7075 homojenleştirilmeden önce 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	45
Şekil 5.11.	Saf Al7075 9 saat homojenleştirmeden sonra 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	45
Şekil 5.12.	Saf Al7075 ikinci 9 saat homojenleştirmeden sonra 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	46
Şekil 5.13.	Saf Al7075 3.5 saat ikinci kademe homojenleştirmeden sonra 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	46
Şekil 5.14.	Saf Al7075 3.5 saat ikinci kademe homojenleştirmeden sonra 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	47
Şekil 5.15.	%15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	47
Şekil 5.16.	%30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	48
Şekil 5.17.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %15 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.....	49
Şekil 5.18.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %15 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.....	49
Şekil 5.19.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %15 borakslı Al7075 10x büyütmede metalografik görünümü.....	50
Şekil 5.20.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %30 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.....	50
Şekil 5.21.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	51
Şekil 5.22.	72 saat T6 ısıtma işlemi görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	52

Şekil 5.23. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	52
Şekil 5.24. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	53
Şekil 5.25. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	53
Şekil 5.26. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	54
Şekil 5.27. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	54
Şekil 5.28. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	55
Şekil 5.29. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	55
Şekil 5.30. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	56
Şekil 5.31. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	56
Şekil 5.32. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	57
Şekil 5.33. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	57
Şekil 5.34. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	58
Şekil 5.35. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	58
Şekil 5.36. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.....	59
Şekil 5.37. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	59
Şekil 5.38. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.....	60
Şekil 5.39. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	60
Şekil 5.40. 72 saat T6 ısıt işleml görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.....	61
Şekil 5.41. %15 ve %30 borakslı T6 ısıt işleml görmüş ve görmemiş numunelerin tane boyutu grafiğı.....	61

Şekil 5.42. %15 ve %30 borakslı %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş ve ardından T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin tane boyutu grafiği.....	62
Şekil 5.43. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş %30 boraks ilaveli numunelerin yaşlandırma testi sonuç grafiği.	63
Şekil 5.44. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş %15 boraks ilaveli numunelerin yaşlandırma testi sonuç grafiği.	64
Şekil 5.45. Isıl işlem görmemiş haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik ölçümü sonuçları.....	65
Şekil 5.46. 72 saat T6 ısıtıl işlem görmüş haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik ölçümü sonuçları.	66
Şekil 5.47. Saf Al7075 SEM görüntüsü; (a) Saf Al7075 1 K X büyütme SEM görüntüsü. (b) Saf Al7075 3 K X büyütmeyle SEM görüntüsü. (c) Saf Al7075 5 K X büyütmeyle SEM görüntüsü. (d) Saf Al7075 5 K X büyütmeyle EDX analizi.....	68
Şekil 5.48. %15 boraks ilaveli Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.48.a'daki dikdörtgen bölgesinin 3 K X büyütme ile alınan görüntüsü; (c) Şekil 5.48.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüsü; (e) Si elementinin mapping görüntüsü; (f) Cr elementinin mapping görüntüsü; (g) Mn elementinin mapping görüntüsü; (h) Fe elementinin mapping görüntüsü; (i) Cu elementinin mapping görüntüsü; (j) Zn elementinin mapping görüntüsü; (k) B elementinin mapping görüntüsü; (l) bütün elementlerin gösterimi.	75
Şekil 5.49. %50 haddeli %15 borakslı Al7075 mapping görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.49.a'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.49.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) Cr elementinin mapping görüntüleri; (g) Mn elementinin mapping görüntüleri; (h) Fe elementinin mapping görüntüleri; (i) Cu elementinin mapping görüntüleri; (j) Zn elementinin mapping görüntüleri; (k) B elementinin mapping görüntüleri; (l) bütün elementlerin mapping görüntüleri.....	81
Şekil 5.50. %80 haddeli %15 borakslı Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.50.a'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.50.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) Cr elementinin mapping görüntüleri; (g) Mn elementinin mapping görüntüleri; (h) Fe elementinin mapping görüntüleri; (i) Cu elementinin mapping görüntüleri; (j) Zn elementinin mapping görüntüleri; (k) B elementinin mapping görüntüleri; (l) bütün elementlerin mapping görüntüleri.....	87

- Şekil 5.51. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 numunenin SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.51.a'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.51.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) 5 K X yakınlaştırma ile alınan görüntünün EDX analizi; (e) Şekil 5.51.d'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği (f) EDX XRF analizi..... 90
- Şekil 5.52. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile SEM görüntüsü; (b) Şekil 5.52.(a)'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.52.(b)'nin 5K X kadar büyütülmüş görüntü; (d) Şekil 5.52.(c) görüntünün 10 K X büyütmeyle görüntü; (e) Şekil 5.52.c'de 5 K X yakınlaştırma ile alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri. (g) Şekil 5.52.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği. 94
- Şekil 5.53. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.53.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.53.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.53.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.53.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği. 99
- Şekil 5.54. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.54.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.54.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.54.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.54.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği. 103
- Şekil 5.55. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) Şekil 5.55.a'da belirlenen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.55.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.55.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.55.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.55.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği. 108
- Şekil 5.56. Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği. 110
- Şekil 5.57. Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu..... 111

Şekil 5.58. Al7075 aşınan numunelerin SEM görüntüleri; (a) 54 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1 K X büyütme. (e) 1 K X'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.58.e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.	114
Şekil 5.59. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.	116
Şekil 5.60. Haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.	116
Şekil 5.61. %15 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.61 e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.	119
Şekil 5.62. %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.62.e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.	122
Şekil 5.63. Haddelenmemiş T6 ısıtılmış işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.	124
Şekil 5.64. Haddelenmemiş T6 ısıtılmış işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.	125
Şekil 5.65. T6 ısıtılmış işlem görmüş %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.	126
Şekil 5.66. Haddelenmemiş T6 ısıtılmış işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.	127
Şekil 5.67. T6 ısıtılmış işlem görmüş %15 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 51 X büyütme; (b) 200 X büyütme; (c) 500 X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.67 e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.	130
Şekil 5.68. T6 ısıtılmış işlem görmüş %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200 X büyütme; (c) 500 X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.68 e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.	133
Şekil 5.69. T6 ısıtılmış işlem görmemiş haddelenmemiş numunelerin korozyon deneyi sonuçları.....	135
Şekil 5.70. T6 ısıtılmış işlem görmemiş %50 haddelenmiş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.....	136
Şekil 5.71. T6 ısıtılmış işlem görmemiş %80 haddelenmiş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.....	136
Şekil 5.72. Haddelenmemiş T6 ısıtılmış işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.....	137

Şekil 5.73. %50 haddelenmiş T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.....	137
Şekil 5.74. %80 haddelenmiş T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.....	138
Şekil 5.75. T6 ısıtıl işlem görmemiş numunelerin I_{corr} (korozyon akım yoğunluğu) değerleri.	139
Şekil 5.76. T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin I_{corr} (korozyon akım yoğunluğu) değerleri.	139
Şekil 5.77. T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin E_{corr} (korozyon akım potansiyeli) değerleri.	141
Şekil 5.78. T6 ısıtıl işlem görmemiş numunelerin E_{corr} (korozyon akım potansiyeli) değerleri.	142

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Alüminyumun (saf alüminyum) kimyasal ve fiziksel özellikleri	10
Çizelge 2.2.	Boraksın bazı özellikleri	17
Çizelge 3.1.	Alaşımların döküm içerik oranları	20
Çizelge 3.2.	Haddeleme ornları ve haddeleme cihazına girilen merdane açıklığı...	27
Çizelge 5.1.	Numunelerin spektral analiz sonuçları.	38
Çizelge 5.2.	Üretilen malzamenin içindeki elementlerin oranları ile ana malzemenin içindeki element oranları arasındaki fark.	39
Çizelge 5.3.	Saf Al7075 için Şekil 5.47.(d) üzerinde dikdörtgenlerle belirtilen alanlardan alınan spektral analiz sonuçları.	69
Çizelge 5.4.	72 yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 için Şekil 5.51.d'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.	90
Çizelge 5.5.	72 yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 için Şekil 5.52.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.....	95
Çizelge 5.6.	72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.53.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.....	100
Çizelge 5.7.	72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.54.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.....	104
Çizelge 5.8.	72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.55.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.....	109
Çizelge 5.9.	Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.....	109
Çizelge 5.10.	Haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.....	115
Çizelge 5.11.	T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.	123
Çizelge 5.12.	T6 ısıt işlem görmüş haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.	126

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Ar	: Argon
Cu	: Bakır
B	: Bor
H ₂	: Hidrojen
Mg	: Magnezyum
Mn	: Manganez
Ni	: Nikel
Ti	: Titanyum
Zn	: Çinko
P	: Fosfor
Si	: Silisyum
S	: Kükürt
Ni	: Nikel
Fe	: Demir
F	: Kuvvet
g	: Gram
cm ³	: Santimetre küp
K	: Kelvin
F	: Fahrenheit
kj	: Kilo joule
kmol	: Kilo mol
°C	: Santigrad derece
mm	: Milimetre
m	: Metre
s	: Saniye

E_{corr} : Korozyon gerilimi

I_{corr} : Korozyon akımı

KISALTMALAR

AMK	: Alüminyum metal matrisli kompozitler
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
SEM	: Scanning Elektronical Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)
EDS	: Energy-dispersive X-ray spectroscopy (Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi)
XRF	: X-ray fluorescence (X ışını floresansı)
$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	: Kolemanit
$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	: Tinkal/ Boraks dekahidrat
$\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	: Üleksit
B_4C	: Bor Karbür
B_2O_3	: Bor Oksit
KBF_4	: Florür Tuzu
TiC	: Titanyum Karbür
TiB_2	: Titanyum Borür
MgB_2	: Magnezyum Borür
AlB_2	: Alüminyum Borür
AlB_{12}	: Alüminyum dedakoborid
SCE	: The Saturated Calomel Electrode (Doygun Kalomel Referans Elektrot)
HNO_3	: Nitrik Asit
HCl	: Hidro Klorik Asit
HB	: Hardness of Brinell (brinell Sertliği)
GPa	: Giga Pascal (Giga Paskal)
NaCl	: Sodyum Klorür
H_2O	: Saf Su
HF	: Hidro Florik Asit
mV	: Milivolt

mA : Miliamper
 μm : Mikro metre



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüzde kullanılan metal malzemelerden istenilen optimum yorulma mukavemeti, sertlik ve aşınma değerlerini karşılaması amacıyla metal matrisli kompozitler üretilmektedir [1]. Bunu yapmak için metal matrisli kompozit üretiminde Magnezyum (Mg), Alüminyum (Al), Titanyum (Ti) ve Nikel (Ni) gibi malzemeler matris olarak kullanılmaktadır [2]. Bunun yanında sahip oldukları dayanıklılıkları ve yüksek ısı iletiminden dolayı otomotivde, soğutma sistemlerinde, havacılıkta, uzay araçlarında ve pek çok alanda kullanılmaktadır. Kompozitlerin geliştirilmiş çekme mukavemeti ve darbe mukavemetinin yanı sıra geliştirilmiş kimyasal direnç, yorulma ve elektriksel özellikleri nedeniyle, kompozitler havacılıktan otomobillere, makinelerden uzay araştırmalarına kadar birçok alanda yaygın olarak kullanılmakta ve giderek daha popüler hale gelmektedir. Gelişmiş özelliklere sahip bu kompozit malzemelere ilave edilen takviye malzemelerle birlikte daha da geliştirilerek ve uygulamaya da bağlı olarak daha işlevsel ve ileri teknolojilere uygulanması amaçlanmaktadır. Teknolojik çalışmalardaki konvensiyonel malzemeler yerine yüksek mukavemet, düşük aşınma ve ideal olarak düşük korozyon değerlerine sahip malzemeler kaliteli iş yapılmasına olanak sağlar [1,3]. Alüminyum, titanyum, magnezyum ve bakır metalleri, metal matrisli kompozitlerin üretiminde çoğunlukla tercih edilen matrislerdir [4]. Bu malzemelerin arasında alüminyum metalinin en fazla tercih edilmesinin ana sebeplerinden biri düşük yoğunluğa sahip olmasıdır [5]. Bundan dolayı hafif aletlerin imalatında tercih edilirler [6,7]. Böylece alüminyum, daha az yakıt tüketen ve çevreye daha az zarar veren hafif araçlar üretmeyi sağlayan otomotiv ve havacılık sektörlerinin ihtiyaçlarını karşılamaktadır [8]. Alüminyum metal matrisli kompozitler (AMK) mükemmel özgül mukavemetleri, sertlikleri, yüksek modülleri, iyi termal özellikleri, yüksek aşınma mukavemeti ve korozyon dirençleri nedeniyle tercih edilmektedir [9]. AMK'nin sağladığı bir diğer avantaj da yanmazlık (non-flammable) ve yüksek ısıl iletkenlik, tamamen kaynaklanabilirlik ve geri dönüştürülebilirliktir [10,11].

Türkiye tüm dünyadaki Bor (B) rezervlerinin %72.3'üne sahiptir [12]. Türkiye'nin en önemli bor mineralleri Kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11.5}\text{H}_2\text{O}$), Tinkal/ Boraks dekahidrat ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) ve Üleksittir ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$). Bor mineralleri yapılarında farklı miktarlarda susuz borik asit (B_2O_3) içermektedir. Bor minerallerinin endüstriyel uygulamalarında önemli olan (B_2O_3) içeriğidir [13]. Bor ürünlerinin katma değerini artırma konusu zengin ve stratejik öneme sahiptir ve rezervlerinin mutlaka ürüne dönüştürülmesi gerekmektedir. Takviye elemanı olarak kullanılan bor ve bileşiklerinin kullanım alanlarını daha da yaygınlaştırmak için tüm fiziksel ve mekanik özellikleri bilinmeli, karakterizasyonu araştırılmalı ve fiziksel-mekanik özelliklerinin nasıl iyileştirilebileceğine dair yöntemler ve süreçler keşfedilmelidir. Bor elementlerinin; mineraller, boratlar ve bileşikler, tarım, deterjanlar, emaye fritler, yalıtım cam elyafı, alev geciktiriciler, katı roket yakıtları için katkı maddeleri, nükleer santraller gibi geniş bir uygulama alanı bulunmaktadır.

Bor ilavesi alüminyum alaşımının ağırlığını azaltmak, sertliğini ve direncini arttırmak için kullanılır [14]. Al-B alaşımları, titanyum, krom, vanadyum ve zirkonyum elementleri gibi geçiş metali safsızlıklarını temizlemek için elektriksel iletken dereceli alüminyum üretiminde ticari amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır ve ayrıca alüminyum dökümler için tane inceltici maddeler olarak kullanımları için büyük öneme sahiptir [15]. Al-B alaşımı üretmek için Bor kaynağı olarak Bor elementinin kullanımı oldukça pahalı bir yöntemdir. Bu sebepten dolayı bor elementi daha ekonomik yöntemlerle elde edilmeye çalışılmıştır. Al-B alaşımlarını üretmek için kullanılan yöntemlerden biri Bor oksidin (B_2O_3), boraks tozu ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), florür tuzu (KBF_4), erimiş alüminyumda harmanlanması ve reaksiyonu, mekanik alaşımlama ve elektrolizdir [16]. Al-B alaşımı üretmek için bolca bor içeren boraks kullanımı ucuz ve pratik bir yöntemdir [14].

Literatüre bakıldığında ısıtıl işlem görmüş alüminyum alaşım serilerinden Al7075 ve Al6061'in çok araştırıldığı görülmektedir. Al7075 daha yüksek sertliğe ve çok yüksek çekme dayanımına sahip olup, otomotiv ve havacılık sektörlerinde tercih edilmektedir. Al6061 alaşımı, orta derecede mukavemet, yüksek korozyon direnci sergiler ve otomotiv, inşaat ve denizcilik endüstrilerinde birçok uygulama alanı bulur. Al7075'e takviye olarak alaşım eklemenin yoğunluğunu düşürdüğü bilinmektedir [5].

Alüminyum genellikle bakır, manganez, silikon, magnezyum, çinko ve bor ile alaşımlanır. Alüminyum alaşımları ayrıca alaşım elementlerinin türüne ve miktarına bağlı olarak çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptir [17]. Al7075 alaşımı yaklaşık %2 Cu, %3 Mg ve %7 Zn içerir [18]. Bu elementler mekanik ve kimyasal özelliklerde değişikliklere neden olur. Yoğunluk ve sertlik değerleri, içerisinde bulunan Zn elementi ile orantılı olarak artar. Çalışmalar, %30'a kadar çinko eklentisinin Al numunelerinin basma-çekme dayanımı değerlerini arttırdığını, %30'un üzerindeki bir Zn eklentisinin numunelerin basma-çekme dayanımı değerlerini azalttığını göstermiştir [19]. Öztürk ve Yılmaz, AA1070 ticari alüminyuma boraksı farklı oranlarda ekleyerek Al-B alaşımları oluşturmuş ve bu alaşımların mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deney parametresi olarak bekletme sıcaklığı, boraks miktarı ve bekletme süresi kullanılmıştır. Bu parametreleri kullanarak her koşul için üçer numune hazırlanmış ve üretilen numuneler darbe, çekme ve sertlik gibi mekanik testlere tabi tutulduktan sonra ortalama sonuçlar kayıt altına alınmıştır. Mekanik testler, saf alüminyum boraksız alaşıma göre darbe mukavemetinin %21, çekme mukavemetinin %33 ve sertlik ölçümlerinin de %54 daha az olduğunu göstermiştir. Mikroskopik incelemelerde ise Al-B parçacıklarının ticari alüminyum içerisinde homojen olarak dağıldığını ve düşük gözeneklilik seviyesi gösterdiğini görmüşlerdir [20]. Paksoy ve Yılmaz, çalışmaları için farklı en/boy oranlarına (aspekt oranlara) sahip Al2B partiküllü Al-B alaşımları hazırlamışlardır. Çalışmalarındaki temel amaç, Al2B parçacıklarının en/boy oranının AL-B alaşımlarının fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkisini gözlemektir. Elde ettikleri Al-B alaşımları 5,15,30,50 ve 70 saat 550 °C fırınlayarak ısıtma işlemi farklı en/boy oranına sahip parçacıklar elde etmek için uygulamışlardır. Mikroskop ile Al-B alaşımlarının mikroyapıları incelemiş ve Al2B partiküllerinin en/boy oranını ölçmüşlerdir. Alaşımlara mekanik test olarak; sertlik, çekme ve darbe testleri, fiziksel olarak ise elektrik iletkenliği ölçümlerine tabi tutmuşlardır. 15 saat ısıtma işlemi görmüş alaşım, ısıtma işlemi görmüş yüzeye göre çekme mukavemetinin %16, sertliğinin %14.5, darbe enerjisinin %19 ve elektrik iletkenliğinin de arttığını görmüşlerdir [21].

Savaş ve Kayıkçı, ezme döküm, savurma döküm ve gravite döküm yöntemlerini kullanarak Al/Al2B kompozitlerini üretmişlerdir. Amaçları, bor minerallerinin doğrudan alüminyum alaşımlarına eklenmesiyle Al2B yapısının in-situ yöntemi

kullanarak sentezlenmesini sağlamak ve üretilen kompozitlerin Al₂B fazının, en boy oranını, yapısal özelliklerini ve dağılımını incelemektir. Son olarak, Al₂B oranını artırmanın Al₂B/Al kompozitlerinin mekanik özellikleri üzerindeki etkisini, farklı hacim oranlarında uygulanan döküm teknikleri kullanarak araştırmışlardır. Üretilen malzemelere görüntü analizi, optik mikroskop, XRD, SEM, ısıtma işlem ve yaş kimyasal analiz teknikleri, basma, çekme ve sertlik testleri uygulamışlardır. Çalışmanın sonunda takviye oranlarının artmasıyla birlikte çekme, basma ve sertlik dayanımlarının üretilen kompozitlerde %300 oranında artış gösterdiğini görmüşlerdir [22].

Al-B master alaşımında AlB₂ oluşturma araştırması Wang tarafından yapılmıştır [23,24]. 850 °C sıcaklığında ergiyik alüminyum ile KBF₄ arasında meydana gelen kimyasal reaksiyon vasıtasıyla Al-3 wt. % B üretilmiştir. KBF₄ karıştırarak Al-B alaşımları üretmek için girdap ve daldırma metotları uygulanmıştır. Alüminyum borür bileşikler ergiyik alüminyum içerisinde borun dağılmasıyla elde edilmiştir. Yapılan SEM analizinde iki tür alüminyum borür bulunmuştur. XRD analizinde ise bu iki partikülün AlB₂ ve AlB₁₂ olduğu tespit edilmiştir. AlB₁₂ AlB₂ şeklinde var oluş sebebi Al(L)+AlB₁₂ ↔ AlB₂ peritektik reaksiyona bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Daldırma metodu sonucunda AlB₁₂ borid partiküllerinin fazı ve aglomerasyonu gözlemlenmiştir. Girdap metodu ile elde edilen alaşımların düzgün borid partikül dağılımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. Yerinde AA6060 / AlB₂ AMK karakterizasyonu inceleme çalışması Dragut at al tarafından yapılmıştır [25]. Bor ilaveli alüminyum alaşımları için KBF₄ ile AA6060 alüminyum arasında oluşan alüminotermik reaksiyon 850 °C sıcaklığında başarıyla gerçekleştirilmiştir. Reaksiyonun enerji seviyesini düşürmek için Na₃AlF₆ (kriyolit) aktivatör olarak eklenmiştir. Fırında 60 dakika tutma süresinden sonra ergitilmiş alaşım metal pota içerisine dökülmüştür. Yapılan XRD ve SEM analizleri vasıtasıyla AlB₂ nin oluşumu ispatlanmıştır.

Birol tarafından Al-B alaşımının Al/KBF₄ toz karışımı ısıtarak üretimi gerçekleştirilmiştir [26]. Al-B alaşımının üretiminde Al/KBF₄ karışımının sıcaklığa maruz olmasının etkisini araştırmak için Toz metalurjisi metodu tercih edilmiştir. Alüminyumun erime noktasının altındaki 490 °C sıcaklığına gelindiğinde Al ve KBF₄ arasındaki reaksiyon başlamıştır. Bu reaksiyon sonucunda AlB₂ ve KAlF₄ bileşikler oluşmuştur. Çalışmanın deneysel bölümünde 5 g alüminyum tozu ve 1,8 g KBF₄ tuzu

5 dakika sürede karıştırılmış, ardından bu karışım güçlendirilmiş çelik bilye kullanarak 30 dakika boyunca öğütülmüştür. Al/KBF₄ karışımından alınan farklı numuneler, termal maruziyete tepki olarak görünmesi için diferansiyel taramalı kalorimetrede (DSC) 750 °C 'ye kadar ısıtılmıştır. Bu çalışmada diğer bir kritik nokta ise istenmeyen AlB₁₂ partiküllerinin bilye öğütme aşamasında alaşımda oluşmamasıdır. Ayrıca Birol diğer çalışmasında bilyeli öğütülmüş alüminyum boraks toz karışımının termal maruziyete olan tepkisiyle de ilgilenmiştir [27]. Al-B alaşımlarını üretmek için diğer bir bor kaynağı olan boraks tuzu (Na₂B₄O₇.5H₂O) ile alüminyum bilye ile öğütülmüş ve 600 °C'den yüksek sıcaklıklara ısıtılmıştır. Sıcaklığın azalmasına bağlı olarak Al-B alaşımı boyunca AlB₂ partiküller genişletilmiştir. Termit reaksiyonunu gerçekleştirmek için 1 saat yeterlidir. Bu çalışmada 3.67g Al ile 1.33g Na₂B₄O₇.5H₂O toplam 5 g karışım hazırlanmıştır. Bilyeli öğütme esnasında alaşımın termal maruziyete olan tepkisini incelemek için alüminyum-boraks karışımı 1000 °C'ye kadar diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) de ısıtılmıştır. Ardından birbirinden farklı karıştırılmış numunelere 1 saat boyunca sırasıyla 600°C, 700°C ve 800°C sıcaklıklarda ısıtım işlemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda bilyeli öğütülmüş alüminyum-boraks toz karışımlarının ısıtım maruziyetinin termit reaksiyonunu kolaylaştırdığı vurgulanmıştır. Daha sonra Birol Al-B alaşımları üretmek için bor oksidin alüminotermik azalışı üzerinde çalışmıştır [28]. Al ile B₂O₃ öğütülmüş ve 700 °C den yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılmıştır. B₂O₃ + Al ↔ 2B + Al₂O₃ termit reaksiyonu 875 °C sıcaklığa geldiğinde başlamıştır. AlB₂ oluştuğunda bor reaksiyona girmeyen alüminyumla birlikte reaksiyona girmiştir. 1000 °C üstündeki sıcaklıklarda, alaşımın mikroyapısında Boratlar, Al₄B₂O₉, Al₁₈B₄O₁₈ ve AlB₁₀ bulunmuştur. Al-B alaşımları içerisinde alüminyum borür kristallerinin oluşumu ve büyüme davranışı Kayıkçı ve ark. tarafından analiz edilmiştir [29,30]. Alaşım içerisine B₂O₃ takviyesi sonucunda Al-3 wt. % B master alaşım elde edilmiştir. Bu çalışmada sıcaklık 1300 °C ye yükseltip 30 dakika boyunca bekletilmiş ardından AlB₁₂ partiküllerinden kaçınmak için erimiş alaşım hızlı bir şekilde pertektik sıcaklığın altına soğutulmuştur. Bu çalışmanın sonunda, alaşımın mikro yapısında yüksek en-boy oranına sahip parçacıklar bulunmuştur. Kübik ve tetrahedral gibi pul (None-flake) şeklinde olmayan parçacıklar ortaya çıkmıştır. Daha yüksek borürleri ortadan kaldırmak için erimiş karışıma hızlı soğutma uygulanmıştır. Toz metalürjisi ile üretilen alüminyum alaşımına boraks ilavesinin mekanik ve termofiziksel özelliklere etkisi Rasiha ve ark. tarafından

araştırılmıştır [14]. Al, Zn, Mg, Cu tozları ve %1,5 Na₂[B₄O₅(OH)₄].8H₂O ilavesi ile alüminyum alaşımı oluşturulmuştur. Yüksek basınç altında sıkıştırılmış ve 600 °C 'de N₂ gaz atmosferinde sinterlenmiştir. Numunelerin yüzeyleri ve kristal yapıları karakterize edilmiş ve yoğunluk, sertlik davranışları ve termal özellikleri ölçülmüştür. Boraks eklentisi tanecikleri daha kolay bir araya gelmesini sağlamış, bağlayıcı görevi görmüş ve AlB₂ kristal fazı oluşturmuştur. MgZn₂ ve Al₂CuMg fazlarının oluştuğu tespit edilmiştir. Bu sayede malzemenin tanecikleri arasındaki gözenekler toplam gözeneklilik %35'ten %5'e düşürülmüş ve malzemenin sertliği 29 N/mm²'den 45 N/mm²'ye (Brinell Hardness, HB) yükseltilmiştir. Yüzey özellikleri iyileştirilmiş ve yüzeyin hidrofobikliği (boraks ile 63°'den 102°'ye temas açısı) arttırılmıştır. Böylece atomlar arası ısı transferi kolaylaşmış ve boraks ilavesi alüminyum-boraks numunelerinin özgül ısı kapasitesini ve entalpisini düşürmüştür.

B elementi, seramik bileşikler kullanılarak farklı üretim yöntemleriyle Al alaşımlarına eklenmiştir. Baradeswaran ve Perumal tarafından yapılan çalışmada B₄C takviyesini döküm yolu ile Al7075 matrisine ilave ederek tribolojik ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Çalışmada elde edilen numunelere T6 ısıl işlem uygulanmıştır. Basma, çekme, sertlik, eğilme zorlamalarına ve aşınma testine tabi tutulmuştur. Yapılan aşınma testi sonucunda, B₄C ilavesinin aşınma mukavemetini arttırdığı görülmüştür. Sürtünme katsayısı, B₄C ilavesinin artmasıyla azaldığı ve hacimce %10 B₄C ilavesinde minimuma ulaştığı görülmüştür [31]. Kalaiselvan vd. Al6061-B₄C kompoziti karıştırmalı döküm yöntemiyle imal ederek taramalı elektron mikroskobu ve optik mikro yapı görüntülerine baktıklarında homojen numune iç yapısı elde ettiklerini ve malzemede B₄C ilavesinin artması ile çekme ve sertlik dayanımının arttığını görmüşlerdir [32]. Shorowordi vd. karıştırmalı döküm ile alüminyuma hacimce % 0-20 arasında SiC, B₄C ve Al₂O₃ ilave ederek alüminyum kompozitleri elde etmişlerdir. Al-B₄C kompozitlerinde ara yüzeyden uzakta alüminyum matriste karbon ve bor, alüminyum ve alümina içeren iki ikincil faz bulunmuştur. Kırılma yüzeyi analizi uyguladıklarında B₄C'li alüminyum kompozitin diğer iki kompozitten daha iyi bir arayüzey bağlanmasına sahip olduğunu görmüşlerdir [33]. Zhang vd. Al + %7 Si + %10 B₄C döküm numunesini incelemişlerdir. Yaptıkları dökümden elde ettikleri parçanın bir kesitine kantitatif analiz uyguladıklarında, duvara yakın bölgelerde partikülün daha az bulunduğunu merkezde ve merkeze yakın bölgelerde ise partikülün

daha fazla konsantre olduğunu görmüşlerdir [34]. Kerti ve Toptan, döküm tekniğini kullanarak sıvı alüminyum farklı partikül boyutlarına sahip B₄C tozları ile güçlendirmişlerdir. Deneyin sonucunda partikül boyutu daha büyük olan B₄C ilavesinin mikroyapı aglomere partikül ihtiva etmediğini ve daha iyi olduğunu görmüşlerdir [35]. Rao ve Das yaptıkları araştırmada mukavemeti yüksek AA2024, AA7010 ve AA7009 alüminyum alaşımlarının SiC parçacığının ve matris alaşımının kayma aşınma (sliding wear) karakteristiklerine olan etkisinin incelemesini yapmışlardır. Kompozitleri sabit kayma hızıyla (3.35 m/s) ve farklı basınç değerleri uygulayarak incelemişlerdir. Araştırmanın sonucunda aşınma direnci alaşıma göre kompozitte daha yüksek olduğunu ve SiC partiküllerinin eklenmesi ile daha da bastırıldığını görmüşlerdir [36]. Karpasand vd. yaptıkları çalışmada farklı miktarlarda ince yeniden kristalize matris taneli, altlık vasıtasıyla yüksek kaliteli homojen dağılımı ve ara yüzey bağlanmasına sahip TiB₂ ve B₄C ilaveleri ihtiva eden birkaç kusursuz Al7075 / B₄C / TiB₂ mono ve hibrit yüzey kompozitleri sürtünme karıştırma tekniği ile üretmişlerdir. Farklı hibrit kompozitler arasında en uygun minimum TiB₂ ve B₄C seramik parçacık boyutu, seramik parçacık dağılımı, en yüksek aşınma ve sertlik mukavemeti ve en düşük sürtünme katsayısı, ağırlık yüzdesi eşit olan TiB₂ ve B₄C seramik ihtiva eden hibrit kompozite ait olduğunu bulmuşlardır. 50% B₄C + 50% TiB₂ hibrit kompozitin ve Al7075 + TiB₂, Al7075 + B₄C mono kompozitlerin aşınma ve sertlik direnci baz alaşıma göre sırasıyla %87, %82, %67 ve %107, %121, %91 arttığını gözlemlemişlerdir [37]. Radha vd. yaptıkları çalışma için karıştırmalı döküm yöntemi kullanarak Al7075 alaşımını ağırlıkça %0.1, %0.2 ve %0.3 Gr ve ağırlıkça %5, %10 ve %15 oranında B₄C partikülleri ile güçlendirmiş ve yeni kompozitler üretmişlerdir. Elde edilen malzemedan alınan numunelerin aşınma ve mekanik davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmada yapılan testlerin sonucu, B₄C ve Gr'nin ağırlıkça %'sinin artmasıyla sertliğin, eğilme mukavemeti ve çekme mukavemetinin belirli sınırlara kadar tokluğun artmasıyla birlikte arttığını göstermiştir [38]. Karpasand vd. Al7075 alaşımının yüzeyinde hazırlanan 2 mm ve 1 mm genişliğindeki oluklara B₄C tozları iki farklı şekilde ilave edilerek Al7075 / B₄C kompozitleri sürtünme karıştırma kaynağı yöntemini kullanarak oluşturmuşlardır. İlk şekilde, dört ardışık geçişten önce B₄C tozları tek aşamada eklemişlerdir. İkinci şekilde, B₄C tozları, iki aşamada önce ilk geçişten sonra ikinci geçişten olmak üzere ilave edilmiştir. Bu çalışmada yapılan mikroyapısal değerlendirmelerde, elde edilen kompozitin tane

boyutunun takviyenin hacim oranını artırmakla önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Maksimum aşınma direnci ve sertlik, tek aşamalı toz katkılı ve daha yüksek takviye oranına sahip olan numunelerde görülmüştür. Kompozit tabaka sertliği ile aşınma direnci arasında direkt olarak bir ilişki gözlemlenmiştir. Daha az takviye içeren iki aşamalı toz katkılı numunelerde, mekanik olarak karıştırılmış tabakanın ayrılması, üç gövdeli abrasif aşınma durumu ve yüksek sürtünme katsayısı ile sonuçlanmıştır. Bununla beraber, mekanik olarak karıştırılmış en kararlı tabakanın, B₄C miktarı daha yüksek olan toz katkılı tek aşamalı numunenin yüzeyinde olduğu görülmüştür [39]. Reddy vd. karıştırılmalı döküm yöntemi ile alüminyum alaşımına uçucu kül (6.0, 7.0, 8.0, 9.0) ve B₄C (0.0, 1.0, 2.0, 3.0 ve 4.0) parçacıkları ilave ederek güçlendirilmiş metal matris kompozitlerinin üretimi yapılmıştır. Alüminyum metal matris alaşımına uçucu kül ve B₄C eklenmesiyle malzemenin tribolojik ve mekanik özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar ağırlıkça %90 Al 7075, %3 B₄C ve %7 uçucu kül için darbe dayanımı 0.76 J, UTS 290 MPa, sertlik 111 BHN, % uzama 0.75 mm ve aşınma oranı 1.4 mm³/dk gibi tribolojik ve mekanik özelliklerin iyileştirildiğini göstermiştir [40]. Govardhana vd. Al₂O₃ ve B₄C takviyeli Al7075 döküm teknikleri kullanılarak üretmişlerdir. B₄C %1, %2, %3 oranlarında takviye edilmiş ve Al₂O₃ %1 oranında ilave edilmiştir. %3 B₄C katkılı numune daha az aşınma ve daha iyi sertlik göstermiştir [41]. Krishnamoorthi vd. ağırlıkça %15, %10 ve %5 B₄C takviyesi Al7075 alaşımına karıştırılmalı döküm yöntemi ile yapılmıştır. Al7075'e ilave edilen B₄C oranı arttıkça çekme mukavemetinin arttığı görülmüştür. Ağırlıkça %15 B₄C içerikli numunede maksimum çekme mukavemeti elde edilmiştir [42]. Aksöz vd. Al7075 alaşımının toz B₄C + TiB₂, B₄C + SiC ve SiC + TiB₂ hibrit takviyeli matrisini incelemişlerdir. Ergitilmiş ana matrisi (Al7075) dikey bir döküm odasına yerleştirilen hibrit kompozit tozlara ilave ederek yeni bir matris elde edilmiştir. Numuneler 1 saat boyunca 480 °C'de çözündürülmüş ve ardından 32 saat boyunca 4 saatlik artışlarla 120 °C'de yaşlandırılmıştır. Malzemenin aşınma ve sertlik davranışı doğrudan takviye tipi ve boyutundan ve artan takviye oranından etkilendiği sonuçlarda görülmüştür. Yapılan deneylerde en yüksek aşınma ve sertlik direnci davranışı, 12 saat yaşlandırmadan sonra %3 SiC + %3 B₄C hibrit numunesinde olduğu görülmüştür [43]. Shrestha vd. B₄C ve nikel kullanarak bir kaplama yapmış ve malzemenin aşınma dayanımında iyileşmeler elde etmiştir [44]. D. Lee vd. yaptıkları çalışmada karıştırılmalı döküm yöntemi ve sıcak haddeleme işlemleri kullanarak Al6061 ve

hacimce %5, %10 ve %20 B₄C/Al6061 kompozitleri üretmişlerdir. Amaçları B₄C takviyesinin Al6061'in aşınma performansına etkisini değerlendirmektir. B₄C parçacıkları, karıştırılmalı döküm yöntemi ile rastgele dağıtıldığı görülmüş; daha sonra B₄C partikülleri, kompozitlerin aşınma direncini ve B₄C dağılımını geliştirmek için sıcak haddeleme işlemi kullanılarak haddeleme yönünde düzeltilmiştir. B₄C takviyesi arttığında kompozitlerin aşınma genişliği ve derinliği azaldığı ve B₄C takviyesiyle, Al6061'e kıyasla sürtünme katsayısının daha iyi olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, sürtünme yönünde arayüz kontrollü, iyi hizalanmış B₄C parçacıklarının alüminyum alaşımlarının sertliklerini iyileştirebileceğini ve aşınma özelliklerini etkili bir şekilde artırabileceğini göstermektedir [45].



BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Oksijenden ve silisyumdan sonra % 7.9 oranında yeryüzünün bileşiminde en çok bulunan ve yüksek kimyasal aktivitesi nedeniyle yer kabuğunda saf halde bulunmayan boksit cevherlerden (alüminyum oksit ve demir oksit, alüminyum silikat ve demir oksit, alüminyum silikat) yapılan alüminyum pek çok alanda kullanılan bir malzemedir [46]. Bunun sebebi hafif (çelik yoğunluğunun üçte biri kadar), esnekliği yüksek, sahip olduğu pasivasyon özelliği nedeniyle havaya ve çeşitli sıvılara karşı yüksek dayanıklılığı, yüksek elektrik iletkenliği gibi özelliklerdir [47]. Alüminyum alaşımlarında bulunan çeşitli kombinasyonlardan dolayı havacılık ve uzay uygulamalarında sıklıkla kullanılır. Taşımacılık, ulaşım, inşaat, soğutma, gıda ve havalandırma sektörlerinde çok sık kullanılma sebepleri ise yüksek dayanımı ve hafifliğidir [48]. Çizelge 2.1’de Alüminyumun kimyasal ve fiziksel özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Alüminyumun (saf alüminyum) kimyasal ve fiziksel özellikleri [49,50].

Yoğunluk	2,70 g/cm³
Sıvı hal yoğunluğu	2,375 g/cm ³
Ergime ısısı	10,71 kJ/kmol
Ergime Noktası	660°C-933°K-1220°F
Buharlaştırma noktası	2450°C
Oda sıcaklığında maddenin hali	Katı
Atom Numarası	13
Atom Ağırlığı	26,97 gr/mol
Kristal Yapı	Yüzey Merkezli Kübik (ymk)
Yeniden Kristalleştirme Sıcaklığı	150-300°C
Özgül Isı	0,224 cal/gr (100°C)

Plastik deformasyona (soğuk şekillendirme) uğrayan alüminyumun elektrik iletkenliğinde artış sıcaklığının 100°C veya daha yüksek derecelere geldiğinde ve ısıtılma işlemi tabi tutulduğunda elde edildiği gözlemlenmiştir. Alüminyum alaşımlarında

saflık oranı arttıkça korozyona karşı direncin ve elektrik iletkenliğinin arttığı görülmüştür [50].

2.1. ALÜMİNYUM KOMPOZİT VE ALÜMİNYUM ALAŞIM TÜRLERİ

Birbirinden farklı iki makro yapıda bulunan malzemeleri birleştirilerek ortaya çıkan malzemelere kompozit malzemeler denir. Arzu edilen yeni kullanım alanının özelliklerini kazanacak şekilde tek başına kullanılamayan ve birlikte çözölemeyen malzemelerin birleşimidir. Takviye malzeme ve matris malzeme bileşenleri matris malzemesinin temel yapısını oluşturan iki ana bileşendir. Takviye malzemelerin dayanımlarını genellikle daha yüksek dayanıma sahip olan takviye malzemelerinden kazandırılmaktadırlar. Matris malzemeler ise genellikle süneklilik ve kompozite kazandırmaktadır.

2.1.1. Alüminyum Alaşımlarının Özellikleri

Genel olarak, Alüminyum; manganez, bakır, silikon, çinko, magnezyum ve bor ile alaşımlıdır. Alüminyum alaşımları ayrıca alaşım elementlerinin miktarına ve tipine bağlı olarak çok çeşitli mekanik özelliklere sahiptir [51]. Alüminyum alaşımları, döküm alaşımları ve işlem (Dövme) alaşımları olarak üretim yöntemlerine göre iki gruba ayrılır. İşlem alaşımları; içerisinde bulunan ana alaşım elementlerine göre dört basamaklı bir kodlama yöntemi kullanarak gruplandırılır. Döküm alaşımları ise, işlem alaşımlarındaki kodlama sisteminin aynısı fakat son sayısından önce nokta ya da kesir işareti olacak şekilde yazılır [52]. Alaşım grubunu ilk hane, saflığını son iki hane, katışıklık sınırını veya orijinal alaşımdaki değişiklikleri tanımlar [53].

Alüminyum alaşımları:

- 1000 serisi alüminyum alaşımları: Yüksek saflıkta alüminyumdan oluşur, genellikle yumuşak ve işlenebilir, elektrik iletkenliği iyidir.
- 2000 serisi alüminyum alaşımları: Yüksek mukavemet ve sertlik, iyi yorulma dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir.

- 3000 serisi alüminyum alaşımları: Korozyona karşı dirençli, işlenebilir, kaynak edilebilir ve hafiftir.
- 4000 serisi alüminyum alaşımları: Alüminyum-magnezyum alaşımları, kaynak edilebilir ve korozyona karşı dirençlidir.
- 5000 serisi alüminyum alaşımları: Yüksek mukavemet, iyi kaynak edilebilirlik ve korozyona karşı dirençlidir.
- 6000 serisi alüminyum alaşımları: Yüksek mukavemet, iyi işlenebilirlik, korozyona karşı dirençli ve ısıtılma uygun.
- 7000 serisi alüminyum alaşımları: Yüksek mukavemet ve sertlik, iyi yorulma dayanımı ve yüksek sıcaklık dayanımına sahiptir.

Döküm Alaşımları:

- Al-Si alaşımları: Düşük yoğunluk, iyi korozyona karşı direnç, yüksek sıcaklık dayanımı ve düşük sıcaklıkta kırılmalık özelliklerine sahiptirler.
- Al-Mg alaşımları: Düşük yoğunluk, yüksek sıcaklık dayanımı, yüksek mukavemet, korozyona karşı dirençli ve dökülebilirlerdir.
- Al-Si-Mg alaşımları: Yüksek sıcaklık dayanımı, mükemmel dökülebilirlik ve iyi mukavemet özelliklerine sahiptirler.

İşlem (Dövme) Alaşımları:

- Al-Cu alaşımları: Yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı ve işlenebilirlik açısından iyidirler.
- Al-Mg-Si alaşımları: Yüksek mukavemet, düşük yoğunluk, yüksek kaynak edilebilirlik ve iyi sıcaklık dayanımı özelliklerine sahiptirler.
- Al-Zn-Mg alaşımları: Yüksek mukavemet, yüksek sıcaklık dayanımı, iyi kaynak edilebilirlik ve düşük sıcaklıkta kırılmalık özelliklerine sahiptirler [54–58].

2.1.2. Al7075

Alüminyum ağırlığı düşük, korozyon direnci yüksek, mekanik özellikleri optimum seviyede olan çok yönlü yapı ve mühendislik malzemelerinden biridir. Tüm bunlar talebin hızlı artmasına ve bu sayede 50 yılı aşkın bir süredir endüstride demir ve çelikten sonra en çok kullanılan metaller arasında ikinci sırada yer almasına sebep olmuştur [59]. Al7075 alaşımları %2 oranda Cu, %3 oranda Mg, %7 oranda Zn elementi içerir. Al7075 alaşımı, yüksek mukavemet, düşük yoğunluk ve iyi işlenebilirlik gibi avantajları nedeniyle birçok endüstriyel uygulamada kullanılmaktadır. Ancak, Al7075 alaşımının bazı dezavantajları vardır:

- Düşük korozyon direnci: Al7075 alaşımı, yüksek mukavemetli alaşımlar arasında yer alır ancak düşük korozyon direncine sahiptir. Bu nedenle, alaşımın korozyon direncini artırmak için ek önlemler alınması gerekebilir.
- Yüksek fiyat: Al7075 alaşımı, diğer alüminyum alaşımlarına göre daha pahalıdır. Bu nedenle, bazı uygulamalarda maliyeti düşürmek için daha ucuz malzemeler tercih edilebilir.
- Zor kaynak yapılabilirlik: Al7075 alaşımı, kaynak işlemlerinde bazı zorluklarla karşılaşabilir. Bu nedenle, kaynak işlemi sırasında uygun önlemlerin alınması ve kaynak tekniklerinin doğru bir şekilde uygulanması önemlidir.
- Düşük işleme kabiliyeti: Al7075 alaşımı, yüksek mukavemeti nedeniyle işleme işlemleri sırasında bazı zorluklarla karşılaşabilir. Bu nedenle, işleme işlemlerinin dikkatle planlanması ve doğru tekniklerin kullanılması önemlidir.
- Termal genleşme: Al7075 alaşımı, diğer alüminyum alaşımlarına göre daha yüksek bir termal genleşme katsayısına sahiptir. Bu nedenle, alaşımın bazı uygulamalarda termal genleşmeye bağlı sorunlar yaratması mümkündür [60,61].

2.2. BOR VE BOR ALAŞIM TÜRLERİ

Kimyasal bir element olan bor, atom numarası 5 ve periyodik tabloda B simgesiyle gösterilen metaloidedir. Yerkabuğunda tek başına rastlanılmaz. Bor çoğunlukla boraks ve kernit minerallerinden elde edilir. Diğer bor bileşikleri de bazı endüstriyel

uygulamalarda kullanılır. Metalik olmayan bir elementtir. Yaklaşık 3500 °C ergime noktasına sahiptir. Amorf toz halindeki bor elementinin rengi koyu kahverengi ve çok kırılmalıdır; sarımsı kahverengi renkte olan ise sert monoklinik kristal formdadır. Oksijen ile afinitesi fazla olan Bor Silisyum ve Karbon elementlerine benzerliği çok yüksektir. Dünyada bolluğu az olan bor yer kabuğundaki oranının çoğu Türkiye’de bulunmaktadır. İzotopik bolluk açısından bakıldığında %19.10-%20.31 oranında ^{10}B ve %79.69-%80.90 oranında ^{11}B iki kararlı izotop bulunmaktadır. Bu izotopların dünyadaki bollukları bölgelere göre farklılık göstermektedir. ^{10}B miktarı Türkiye’de fazla iken ABD Kaliforniya’da azdır [62,63]. Bor mineralleri çok yaygın endüstriyel kullanımlara sahiptir [64]. Başlıca kullanım alanları deterjanlar, roket ve jet yakıtları, kâğıt sanayi, fotoğrafçılık, cam üretimi, seramik üretimi, tarım, ilaç ve nükleer sanayi ve savunma sanayisidir[65]. Bor bileşikleri, yüksek dayanıklılık, düşük aşınma ve kimyasal direnç gibi özellikleri nedeniyle çelik, seramik, cam ve diğer malzemelerin üretiminde yaygın olarak kullanılır [66]. Borun en önemli bileşenlerinden biri Borakstır. Boraks, borik asitin sodyum tuzu olarak da bilinir ve yaygın olarak endüstriyel ve ev kullanımında yaygındır. Boraks, cam, seramik, tekstil, boya, deterjan, kozmetik ve tarım gibi birçok endüstride kullanılır [67]. Diğer önemli bor bileşiği de bor karbürün (B_4C) sertliği nedeniyle kurşun geçirmez yeleklerde ve tank gibi askeri araçların zırhlarında sık kullanılan bir takviye malzemesidir [68]. Günümüzde titan Diborür (TiB_2) de bor tabanlı kurşun geçirmez yeleklerde ve zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır [69]. Bor kolaylıkla kullanıldığı Al ve Mg gibi alaşımlar içerisinde AlB_2 , AlB_{12} ve MgB_2 bileşenlerini oluşturabilir [70].

2.2.1. Bor Alaşımları ve Malzemelere Olan Katkıları

Diğer elementler ile birleşmeye daha meyilli olan bor, doğada tek başına element olarak bulunamaz. Bu bölümde doğada mineraller olarak bulunan borun bazı alaşımları anlatılmıştır.

2.2.1.1. MgB_2

B ile hızlı bir şekilde bileşik oluşturabilen MgB_2 2001 yılında süper iletkenliğe sahip olduğu keşfedilmiştir. Aralıklı olarak Mg ve B katmanlı yapıya sahiptir. Mg katmanı

sıkıca kübik Mg'lerden oluşurken, B atomları düzenli bir grafit kafes oluşturur. Mg katmanlarındaki bağlanma polarizasyon, B katmanlarındaki kovalenttir. B-Mg bağı doğada iyonik yapıda olmasının sebebi budur.

2.2.1.2. B₄C

Metal dışı olarak bilinen B₄C bileşiği sert ve literatürde oldukça önemli bir malzemedir. Kurşun geçirmez çelik yeleklerde, zırh malzemelerinde ve savunma sanayiinde kullanılmaktadır. Fizyokimyasal özelliklerine bakıldığında elastisite modülü (448 GPa), sıcaklık kararlılığı ve sertliği yüksek (29.1 GPa), yoğunluğu düşük (2.52 g/cm³, yüksek sıcaklıklar altında üst düzey termoelektrik davranışı olan bir bileşik olarak görülmektedir. Bunun yanında elektronik sektöründe, uzay ve nükleer endüstrisinde kullanılmaktadır. Genellikle ince film uygulamalarında, sinterlenmiş ürün olarak ve toz formunda kullanılmaktadır. Siyah elmas olarak bilinen B₄C elmas ve kübik bor nitrürden sonra gelen üçüncü en sert malzeme olarak bilinir. TiC kompozit kaplamaları ile mikrosertlik açısından karşılaştırdığımızda B₄C kompozit kaplamaları daha yüksek olduğu bilinmektedir. B₄C kompozit seramikler daha düşük sinterleme özelliklerine, daha düşük mukavemete ve tokluğa sahiptir.

2.2.1.3. Al-B Alaşımları

Al-B alaşımları, alüminyum alaşımlarının elektrik iletkenliğini artırmak için üretim sürecinde iletkenliği azaltan vanadyum, titanyum, zirkonyum ve krom gibi geçiş metal safsızlıklarını ekonomik bir şekilde ortadan kaldırmak için yaygın olarak kullanılır. Bor, genellikle alüminyum alaşımlarında geçiş metali safsızlıkları tarafından tüketilir, bor ve geçiş metali safsızlıkları kimyasal reaksiyonlarla çöktürülür. Ayrıca Al-B alaşımları alüminyum dökümde tane inceltici olarak kullanılmaktadır [71].

AlB₁₂

Bor içeren alüminyum malzemelerin sinterlenmesi sonucunda görülebilen bir faz türüdür. Borid olarak bulunan alaşımların çoğu yüksek erime noktalarına ve sertliğe sahiptirler. AlB₁₂ borid alaşımlar arasında bağ oluşturma karakteristik özelliklerine ve

benzersiz özel bir elektronik yapıya sahiptir. İletkenlerde ve yarı iletkenlerde yaygın bir şekilde kullanılır. Bunun ana nedeni de malzemelerin iletkenliğini etkin bir şekilde ayarlayabilmesidir [72].

AlB₂

Üçgen alüminyum ve petek profen olan iki atomik katmandan oluşan AlB₂ bor içeren alüminyum malzemelerin sinterlenmesi sonucu görülebilen bir faz türüdür. AlB₂ Al-B alaşımında oluşması için kritik sıcaklığa sahiptir [72]. Alüminyum diborit (AlB₂), ticari olarak alüminyum elektrik teli üretimi sırasında titanyum, vanadyum, krom ve zirkonyum gibi geçiş metali elementlerini temizlemek için kullanılır ve ayrıca bir alüminyum tane inceltici olarak da yaygın olarak kullanılır [73]. Örneğin Titanyum borür ile birlikte kullanıldığında alüminyum dökümlerde tane boyutunu etkili bir şekilde kontrol eder [74]. Polimer bazlı kompozitlerde kullanım için AlB₂ oldukça avantajlıdır çünkü yüksek en-boy oranına ve mükemmel mekanik özelliklere sahip bir düzlemsel kristal olarak oluşturur [75,76]. AlB₂ fazının, alüminyum diborit takviyeli alüminyum matrisli kompozitlerin aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir [77,78].

2.3. BOR MİNERALLERİ

Ticari değere sahip olan yapılarında değişik oranlarda bor oksit (B₂O₃) içeren bor mineralleri Tinkal (Boraks), Üleksit, Kolemanit, Borasit, Probertit, Pandermit, Kernit ve Hidroborasittir [79–84]. Bileşim olarak bor minerallerinin birçoğu birbirine benzer ancak içerdiği kristal su miktarı mineralden minerale değiştiğinden farklılık gösterirler [85].

2.3.1. Boraks (Na₂[B₄O₅(OH)₄]·8H₂O).

Boraks (Na₂B₄O₇ ·10H₂O veya Na₂[B₄O₅(OH)₄]·8H₂O), iki sodyum atomu, dört bor atomu, on molekül (veya bazen daha az) kristalizasyon suyundan oluşan doğal olarak bulunan bir mineraldir. Sentetik boraks yoktur. Boraksın kimyasal isimleri sodyum tetraborat dekahidrat, disodyum tetraborat dekahidrat veya sadece sodyum borattır. Kimyasal olarak hepsi aynıdır, sadece kristalizasyon su içeriği farklıdır. Dekahidrat 10

su molekülü anlamına gelirken, pentahidrat 5 su molekülü anlamına gelir. Anhidrit ise 0 su molekülü anlamına gelir [86]. Boraksın kimyasal özellikleri Çizelge 2.2’de verilmiştir. Boraks ucuz ve bolca bor ihtiva eden kimyasal bir bileşiktir.

Çizelge 2.2. Boraksın bazı özellikleri [87].

Boraks kimyasal bileşim özellikleri	
Molar kütle	381,38(dekahidrat), 201,22(anhidrat)
Yoğunluk	1.73 g/cm ³
Görünüm	Beyaz katı.
Erime noktası	743 °C(1.369 °F; 1.016 K), anhydrate
Kaynama noktası	743 °C(1.369 °F; 1.016 K), anhydrate

BÖLÜM 3

KARIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİ VE KOMPOZİT ÜRETİMİ

Bu çalışmada, kullanılan kompozitlerin üretimi için malzemelerin temini ve bu malzemelerin üretiminin hangi proseslerden ve aşamalardan geçtiğinden bahsedilmiştir.

3.1. KARIŞTIRMALI DÖKÜM TEKNİĞİ

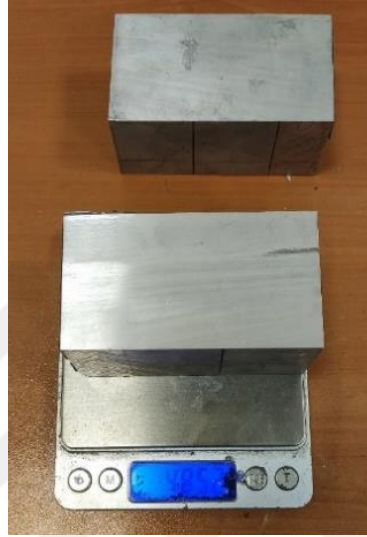
Sıvı alaşıma partiküllerin ilave edilmesi yöntemleri üzerine literatürde pek çok çalışma bulunur ve bu yöntemler hem tek başına, hem de diğer döküm yöntemlerinden önce kullanılabilir [88,89]. Karıştırmalı döküm tekniği, alüminyum matrisli kompozitlerin partiküllerle takviye edilmesi için uzun süredir kullanılan geleneksel bir yöntemdir. Karıştırmalı döküm tekniği, ergiyik metali karıştırarak partikül ile takviye edilen kompozitleri üretmek amacıyla bir çok çalışmada kullanılan kolay bir yöntemdir [89]. Ergiyik metal içerisinde eklenen partiküllerin homojen olarak dağılamaması, porozite oluşumu, oksit kalıntıları oluşumu, topaklaşma gibi bu yöntemde oluşabilecek hataları telafi etmek için gaz enjeksiyonu, elektromanyetik ya da mekanik yöntemlerle karıştırma işlemi yapılmalı. Bunun yanında sıvı metale eklenen partiküller, kontrollü bir şekilde karıştırılmadan meydana gelen girdabın üzerine eklenmeli, bu partikülleri eklemekten önce ısıtarak nemi alınmalı ve kademeli olarak ya da pelet olarak katılmalıdır [89].

3.2. KARIŞTIRMALI DÖKÜM YÖNTEMİNDE ÜRETİM AŞAMALARI

Numunelerin üretimi için gerçekleştirilmiş olan aşamalar Al7075 alaşımı ve döküm için pota temini, temin edilen alaşımların çalışma için belirlenen oranlarda hazırlanması, alaşımları karıştırarak ergitilmesi ve döküm yapılması ve dökümden sonra homojenleştirme işleminin yapılmasıdır.

3.2.1. Döküm İçin Malzemenin Hazırlanması

Birinci döküm için Şekil 3.1 ile gösterilen Al7075 kütüğü Şekil 3.2 ile gösterilen F9 potaya girecek şekilde Şekil 3.3 ile gösterilen şerit testere ile 485 g kadar malzeme kesilmiştir.



Şekil 3.1. Al7075 kütüğü.



Şekil 3.2. F9 Pota.



Şekil 3.3. Şerit testere.

Bu çalışmada karıştırmalı döküm yöntemini kullanarak Al7075 matrisli alaşım ile boraks $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ Çizelge 3.1 ile belirlenen oranlarla hazırlanmıştır.

Çizelge 3.1. Alaşımların döküm içerik oranları.

Dökümler	Sentetik kriyolit (Na_3AlF_6)	Boraks ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$)	Al7075
Birinci döküm	2.45 g	Ağırlıkça %30 (145 gr)	485 g
İkinci döküm	2.45 g	Ağırlıkça %15 (90 gr)	500 g

%30 boraks eklentisi için 145 gr boraksın yanma bayı dahi (1.2 katı) 174.6 gr boraks 5'er gram şeklinde Şekil 3.4'de görüldüğü gibi alüminyum folyolara konulmuştur. Amaç boraksı az miktarlarla ve kademeli olarak eriğe eklemektir.

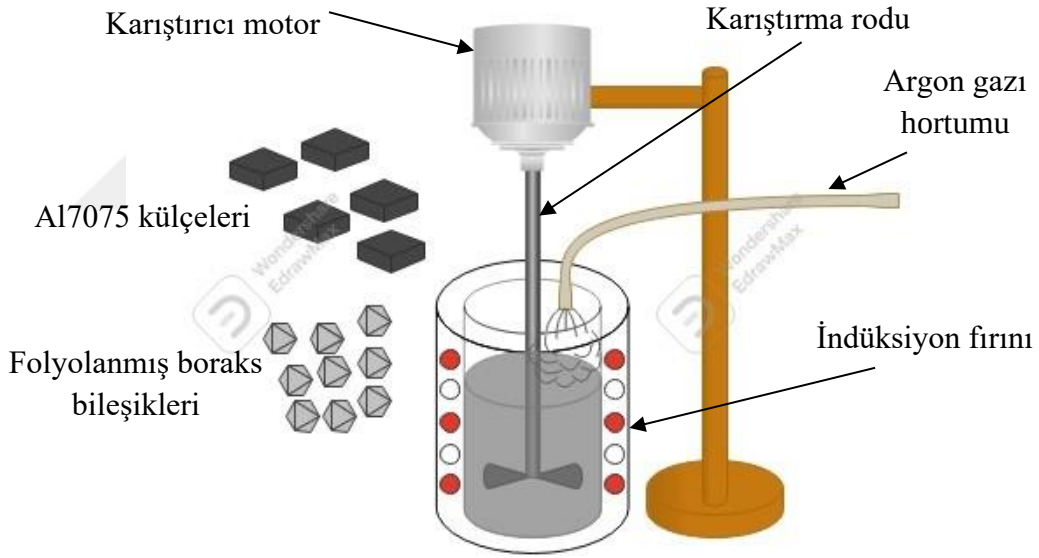


Şekil 3.4. Boraks folyoları.

Boraksın nemini atması için alüminyum folyolarda delikler açılmış, boraks ısındığında genişlediğinden dolayı folyolar fırının içinde patlamaması için büyük ve iki katlı folyolarla sarılmıştır. Tüm boraks folyolarının fırında nemini atması için 1 saat boyunca 300°C fırınlanmıştır. Fırına boraks ile birlikte farklı bir kaptaki sentetik kriyolit (çekirdekleştirici) konulmuştur. Çekirdekleştirici 2.45 gr için yanma bayı dahi 2.94 gr folyolanmıştır.

3.2.2. Döküm Yapılması

Karıştırmalı döküm yöntemi yapısı Şekil 3.5 ile gösterilmiştir. İlk önce kalıplar temizlenerek fırında ısıtılmaya bırakılmıştır. 300 °C’de belli bir süre ısıtılmıştır. Şekil 3.6’da gösterilen indüksiyon fırını çalıştırılmıştır.



Şekil 3.5. Karıştırmalı döküm yöntemi teknik çizimi.



Şekil 3.6. İndüksiyon fırını ve karıştırıcı.

Isıtılmış fırındaki potalar indüksiyon fırına yerleştirilmiştir. Potaya Al7075 külçeleri atılmıştır (485g). Bir süre erimesi beklenilmiştir. Erimenin bir kısmı gerçekleşince alüminyum atmosferden izole etmek için pota içerisine argon gazı verilmeye başlanmıştır. Erime tamamen gerçekleşince karıştırıcı pota içerisinde konulmuştur. Stabil hızda (144 rpm) boraks eklenirken karıştırılmıştır. Fırından boraks ve çekirdekleştirici (Na_3AlF_6) çıkarılmıştır. İlk durumda sıvı metale karıştırıcının oluşturduğu vortekse çekirdekleştirici atılmış ve ardından 1-2 gr kırmızı fosfor (P) aktifleştirici olarak eklenmiştir. Dikkat edilmesi gereken nokta; Çekirdekleştirici tepkimeye girdiğinde çok fazla duman çıkardığı gözlemlenmiştir. 5'er gram folyolara ayrılmış boraks aşama aşama döküme eklenmiştir. Eklenen boraks pota yüzeyi ve karıştırıcı çubukta yapışmasını önlemek için pota yüzeyindeki boraks ek bir grafit çubukla kazınmıştır. Bu esnada yüzeyde oluşan tabaka incelmesi için sıcaklık kademesi arttırılmıştır. Bu esnada döküm yapılacak olan kalıp tahmini olarak 15-20 dakika fırın içerisinde ısıtılmıştır. Döküm yüzeyinde meydana gelen tozları toplayıp ayırmak gerekmektedir. Fırın kapatılıp ergimiş alaşımın yüzeyindeki cüruf tabakası alınmış ve döküm ısıtılıp kalıba dökülmüştür. Kendiliğinden havada tamamen soğumaya bırakılmış ve ardından kalıptan çıkarılmıştır. Şekil 3.7'de kullanılan kalıp ve döküm sonucunda elde edilen kütük gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Döküm kalıbı ve dökülen metalden elde edilen parça.

Döküm sonrası döküm numunesinin toplam ağırlığı 300 g düşmüştür. İkinci döküm için aynı işlem uygulanmış fakat karıştırılan malzeme oranları Çizelge 3.1’de gösterilen ikinci döküm için belirlenen oranlarda yapılmıştır.

3.3. HOMOJENLEŞTİRME ISIL İŞLEM

Malzemenin iç yapısındaki bileşenlerin homojen dağılımının sağlanması amacıyla uygulanan işleme homojenleştirme denilir. Bu işlem, malzemenin homojenliğini artırarak mukavemet, sertlik, işlenebilirlik gibi mekanik özelliklerini iyileştirebilir. Genellikle ergitme işleminden sonra uygulanan homojenleştirme işlemi, malzemenin belirli bir sıcaklıkta bekletilmesiyle gerçekleştirilir. Bu sıcaklık, malzemenin cinsi ve özelliklerine bağlı olarak değişebilir [90].

Döküm sonrası bütün numunelere yapılan homojenizasyon işlemi Şekil 3.8’de gösterilen Karabük Üniversitesi Mühendislik fakültesindeki Laboratuvarında bulunan Protherm marka ısıtma fırınında uygulanmıştır. Amaç elde edilen malzemelerin tanecikleri iyileştirmek üzerindeki dentritlerden ve segirasyondan kurtulmaktır. Yapılan bütün deneylerde homojenleştirilmiş malzemeler kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Homojenleştirme işleminde kullanılan fırın.

Homojenleştirme ergime sıcaklığının %75-80 kadar sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir [91]. Üretilen malzemenin homojenleştirme işlemi için fırın sıcaklığı 500°C’de ayarlanmıştır. Isının tamamen ve düzenli olarak numuneye nüfuz etmesi için paslanmaz çelikten metal bardak içerisine doldurulmuş olan kum içerisine gömerek Şekil 3.9’da gösterildiği gibi fırına yerleştirilmiştir. Dikkat edilmesi gereken husus, homojenleştirme süresi gereğinden fazla tutulursa tane büyür, yapı esner ve istenilen sonuç alınamaz. Üretilmiş malzemelerin homojenleştirme süresini belirlemek için %30 borakslı ve %15 borakslı malzemelerden 5 mm kalınlığında numuneler alınmıştır. Her numuneye ayrı ayrı deney uygulanmıştır. %30 borakslı numune önce bir saat homojenleştirilmiştir ardından tanelerin iyileşip iyileşmediğini dentritlerin giderilip giderilmediğini incelemek için mikroyapısına bakılmıştır. Elde edilmek istenilen sonucu elde edene kadar süre, mikroyapının durumuna göre artırılabacaktır. İşlem süresi sonunda numune kum içerisinden çıkartılarak havada soğumaya bırakılmıştır. Homojenleştirme yapısının incelenmesi için yüzey parlatma işleminin ardından keller ayrıştırıcı ile yüzey dağlanmıştır. Mikroyapı görüntüleri sonuçlar bölümünde verilmiştir. Literatürde alüminyum 7xxx serisi için homojenleştirme ısısal işlemi 450 – 500 °C arasında gerçekleştirilmesi önerilmiştir ve bu sıcaklık aralığı alaşımdaki kimyasal bileşimden etkilendiği görülmüştür [92]. Çalışmada kullanılan Al7075 döküm alaşımının homojenleştirme süresinin belirlenmesi kimyasal bileşimine ve literatürdeki verilere göre yapılmıştır. Endüstriyel uygulamalarda Al 7075 tek

kademeli 465°C’de 24 saat homojenleştirilir ancak bu yöntem malzemenin tamamen homojenleştirilmesini garanti etmemiştir [93]. Homojenleştirme süresini etkileyen diğer bir etken de başlangıç ortalama tane boyutudur. Bu çalışmada kullanılan A17075’in ortalama başlangıç tane boyutu 200 μm dir. Literatüre bakıldığında bu başlangıç tane boyutuna sahip ve 20 mm kalınlığında Al 7075 döküm alaşımı numunesi için iki kademeli (470°C, 18 h + 490°C, 7 h) homojenleştirme çevrimi önerilmiştir [94].

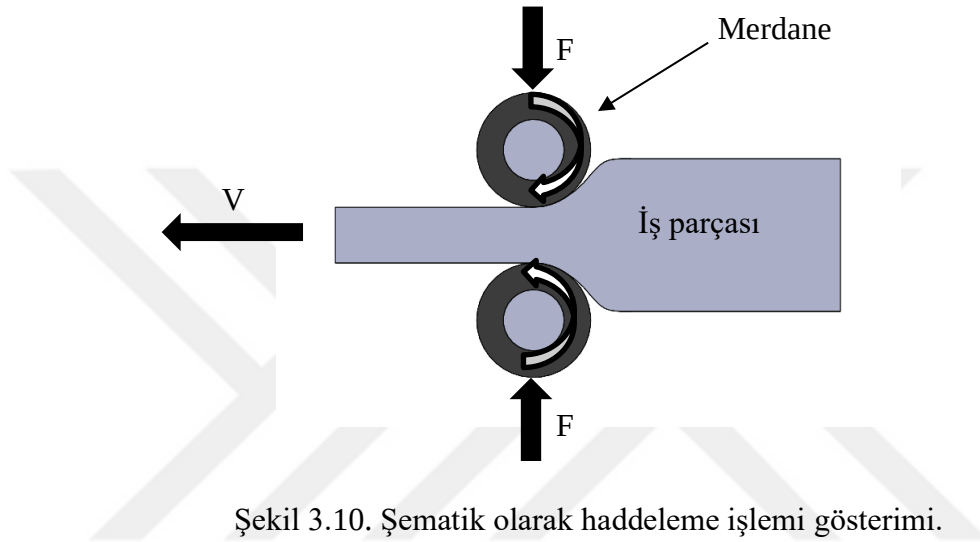


Şekil 3.9. Homojenleştirme işlemi için numunelerin fırına yerleştirilmesi.

3.4. HADDELEME İŞLEMİ

Bu çalışmada malzemenin metalurjik özelliklerini iyileştirmek amacıyla mekanik deformasyon olarak soğuk haddeleme işlemi uygulanmıştır. Şekil 3.10’da şematik

olarak haddeleme işlemi gösterilmiştir. Numuneler belirli bir kuvvet uygulayan ve belli bir hızda dönen iki silindir merdane arasından geçirilip haddelenmiştir. Soğuk haddeleme işlemi %50, %80 ve %100 oranlarında Şekil 3.11’de verilen cihaz ile uygulamıştır. Soğuk haddeleme işlemi uygulamak için her iki döküm malzemesinden (%15 borakslı ve %30 borakslı alaşım) 20 mm kalınlığında 3 tane numune kesilip hazırlanmıştır daha sonra bu numuneler 15 saat homojenleştirilmiştir.



Şekil 3.11. Elektronik kontrollü haddeleme cihazı.

Haddelemede merdane açıklığı aşağıdaki formül (1) kullanılarak hesaplanmıştır. %50 haddelemeye kadar merdane açıklığı %10 azaltılmıştır. %50 den %80 e kadar %5 daraltılarak devam edilmiştir. %80’den %100’e kadar %2.5 daraltılarak devam edilmiştir. Merdane daraltma oranı haddeden çıkan numunenin durumuna bakılarak karar verilmiştir. Haddeleme oranı ve merdane açıklığı Çizelge 3.2 ile verilmiştir.

$$h_1 = \frac{h_0}{e^\varepsilon} \quad (3.1)$$

Burada h_0 ilk kalınlık, h_1 son kalınlık, ε haddeleme oranı (şekil değiştirme oranı), $e = 2.7182$.

Çizelge 3.2. Haddeleme oranları ve haddeleme cihazına girilen merdane açıklığı.

Kalınlık / merdane açıklığı (mm)	ε haddeleme oranı (%)	
h_0	20	0
h_1	17.20	15
h_2	14.6	15
h_3	13.4	10
h_4	12.1	10
h_5	10.97	10
h_6	10.44	5
h_7	9.93	5
h_8	9.44	5
h_9	8.98	5
h_{10}	8.54	5
h_{11}	8.12	5
h_{12}	7.91	2.5
h_{14}	7.71	2.5
h_{15}	7.51	2.5
h_{16}	7.32	2.5

Haddeleme işlemi yaparken ikinci dökümden (%15 borakslı Al-B alaşımı) alınan numunelerde %100 haddeleme oranına yaklaşıldığında Şekil 3.12’de görüldüğü gibi çatlama meydana gelmiştir.



Şekil 3.12. Al7075 + %15 boraks alaşımının %100 haddeleme oranına yaklaşıldığında numunede yaşanan çatlamlar.

3.5. T6 ISIL İŞLEM (YAPAY YAŞLANDIRMA)

Alaşımların sertliğini, mukavemetini ve benzeri mekanik özelliklerini geliştirmek için T6 ısıtıl işlem (yapay yaşlandırma) uygulanmıştır. Homojenleştirilmiş %50, %80 oranlarda haddelenmiş numuneler, haddelenmemiş %30 ve %15 borakslı numuneler ve homojenleştirilmiş Al7075 döküm numunesi ile birlikte toplam 7 tane numune 550 °C’de 3 saat boyunca ısıtıl işlem fırınında solüsyona alınmıştır. Numuneler Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Ardından numuneler tek tek fırından çıkarılıp, aniden 20°C sıcaklığındaki suyun içerisine daldırılarak su verme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.13. T6 ısıtıl işlem için hazırlanan numuneler.

Fırın sıcaklığı 120°C’ye ayarlanmış ve bu sıcaklığa geldikten sonra fırın içerisine numuneler tekrar konulmuştur. Her numune üç ayrı parçaya bölünmüştür. Amaç bu numunelerin bir parçasına 24, bir parçasına 48 ve bir parçasına da 72 saat yaşlandırma uygulamaktır. Isıl işlem görmüş olan ve ısıtıl işlem görmemiş olan numuneler için korozyon, sertlik ve aşınma değerleri incelenmiştir.

BÖLÜM 4

DENEYLER

Bu çalışmada yapılan deneyler bu bölümde açıklanmıştır. Numunelerin yoğunluk ölçümü Arşimet prensibi uygulanarak, mikro sertlik ölçümü Rockwell sertlik cihazı kullanılarak, aşınma davranışları kuru aşınma testi uygulanarak ve korozyon davranışı potansiyodinamik korozyon testi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Daha sonra mikro yapı ve SEM görüntüleri, numune iç yapısının belirlenmesi için XRF ve EDS analizleri, numune içeriklerinin belirlenmesi için de spektral analizi yapılmıştır.

4.1. SPEKTRAL ANALİZ.

Malzemede bulunan elementleri yüzdesel olarak bulmaya yarayan ve bunu malzemeye gönderilen ve noktasal yakma oluşturan ışınlar ile yapan yöntem spektrel analiz denir. Şekil 4.1’de spektral analizi yapılan bazı numunelerin görüntüsü verilmiştir. Spektrel analiz Rigaku Primus II - X-Ray Floresans Spektrometre Cihazı ile yapılmıştır.



Şekil 4.1. Spektrel analiz yapılmış bazı numunelerin görüntüsü.

4.2. EDX ANALİZİ

Enerji Dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDX) spektral analiz yöntemlerinden biridir. Farklı faz yapılarına sahip olan malzemelerin (gaz, sıvı, katı) içerikleri ve elementsel alaşımları belirlemede kullanılan oldukça ekonomik ve basit bir yöntemdir. Enerjisi yüksek olan elektronlar numune yüzeyine çarptılarak, malzeme yüzeyinde elektron kopmaları oluşturulur. Bu çarptırmalardan dolayı herhangi bir iç orbitalden elektron koparsa atom kararlılığı kaybedilir. Bu kararlılığı tekrardan kazanabilmek için atomun iç orbitallerinde elektron kopmalarından meydana gelen boşluklar dış orbitallerdeki elektronlarla doldurulurlar. İç orbitaldeki elektronların enerjilerinden daha yüksek enerjiye sahip dış orbitallerdeki elektronlar iç orbitalleri doldururken enerji kaybederler ve bu enerji X ışını olarak ortaya çıkar. Bu X ışınları sensörler vasıtasıyla ölçülür. Ölçülen bu ışınlar sinyaller şeklinde X ışını enerji histogramını oluşturur. Bu histogram malzemede bulunan her bir elementin miktarını ve ne olduğunu belirleyici pikler halinde gösterilir.

4.3. MİKRO YAPI İNCELEMESİ

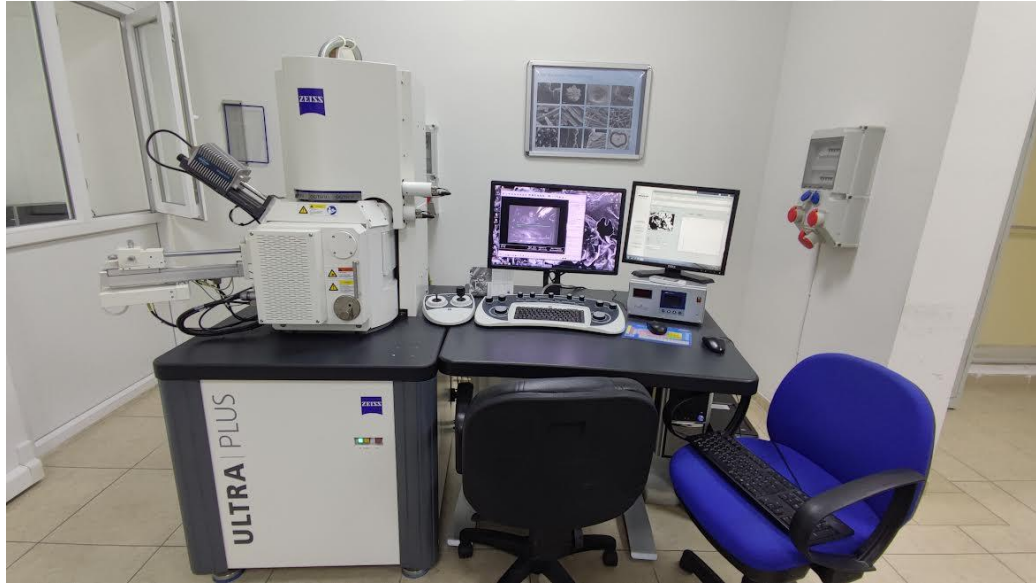
Mikro yapı incelenmeden önce numunelerin incelenecek yüzeyleri kaba 60 mesh zımparadan başlayarak ince 2500 mesh zımpara numarasına kadar kademeli olarak (60-150-220-400-800-1200-2500) artırılarak temizlenmiştir. Mikro yapısı incelenecek olan yüzeyi temizleme ve düzleştirme aşamasından sonra parlatma işlemi için alümina (Al_2O_3) ve çuha kullanılmıştır. Parlatılan yüzeylerin dağlanabilmesi için Al7075 matrisli malzemeye uygun 1 cm^3 HF, 1.5 cm^3 HNO_3 , 2.5 cm^3 HCl ve 95 cm^3 H_2O 'den oluşan keller ayırıcı kullanılmıştır. Ayırıcının içinde parlatılmış yüzeyler 40 saniye civarında bir sürede tutulduktan sonra dağlanmış ve ardından görüntüleri alınmıştır.



Şekil 4.2. Spektral analiz yapılmış bazı numunelerin görüntüsü.

4.4. SEM ANALİZİ

SEM analizi yapılacak numunelerin yüzeyleri parlatılmıştır. Analiz Karabük Üniversitesindeki Malzeme Araştırma ve Geliştirme Merkezinde görüntüleri Şekil 4.3’de gösterilen CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI FESEM marka cihaz kullanılarak yapılmıştır.



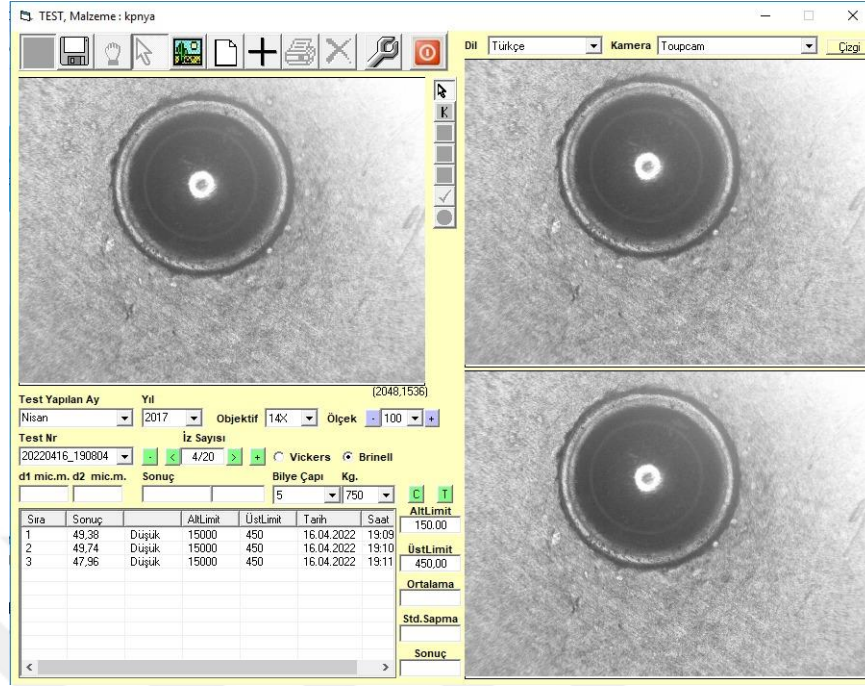
Şekil 4.3. SEM görüntülerinin alındığı cihaz.

4.5. SERTLİK ANALİZİ

Üretilen malzemenin plastik deformasyona karşı gösterdiği direnci ölçmek için Brinell sertlik testi uygulanmıştır. Numunelerin her iki yüzeyi zımparalanarak düzleştirilmiştir. Brinell ölçümü Şekil 4.4’de resmi verilen cihaz vasıtasıyla 2.5 mm çapında sert çelikten yapılan bir bilye ile 187.5 N yükü numune yüzeyi üzerinde 10 saniye süreyle uygulanarak yapılmıştır. Bu işlem numune yüzeyinin 3 farklı noktasında uygulanıp elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Haddelenmemiş numunelerden bir yüzeyden sertlik alınırken haddelenmiş numunelerde kütleli sertlik ölçümü yapılmıştır. Şekil 4.6’de gösterilen mikro kamera (optik mikroskop) vasıtasıyla bilyenin bıraktığı dairesel izlerin görüntüleri Şekil 4.5’de gösterildiği gibi alınmış ve çapları sertlik ölçüm programı ortamında ölçülerek sertlik değerleri hesaplanmıştır. Programın hesapladığı sertlik değerlerinin ortalaması alınarak grafiğe dönüştürülmüştür.



Şekil 4.4. Brinell sertlik ölçüm cihazı.



Şekil 4.5. Brinell sertlik ölçümünde kullanılan programın arayüzü ve bilyenin bıraktığı izin görünümü.



Şekil 4.6. Sertlik cihazının ölçüm için kullandığı formül Eşitlik 4.2 ile gösterilmiştir.

$$HB = \frac{2F}{\pi \cdot d \cdot \sqrt{D^2 - d^2}} \quad (4.1)$$

Eşitlik 4.2 ile gösterilmiş formülde,

HB = Brinell sertlik derecesi, kg /milimetrekare

F = Uygulanan ağırlık (yük), kg

A = Bilyanın batan kısmının yüzey alanı, (milimetrekare)

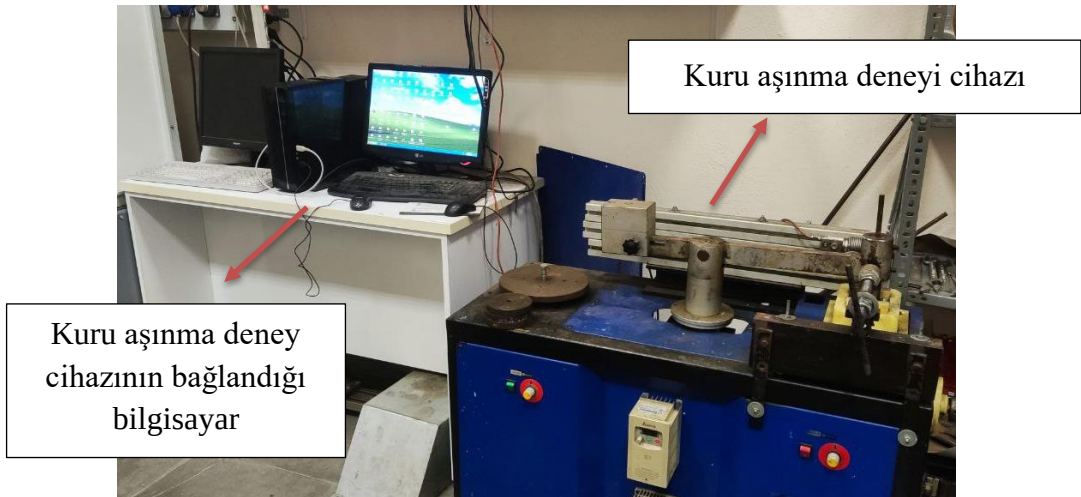
D = Küresel çelik bilyanın çapı, (milimetrekare)

d = Bilyanın parça üzerine yaptığı iz çapı, mm

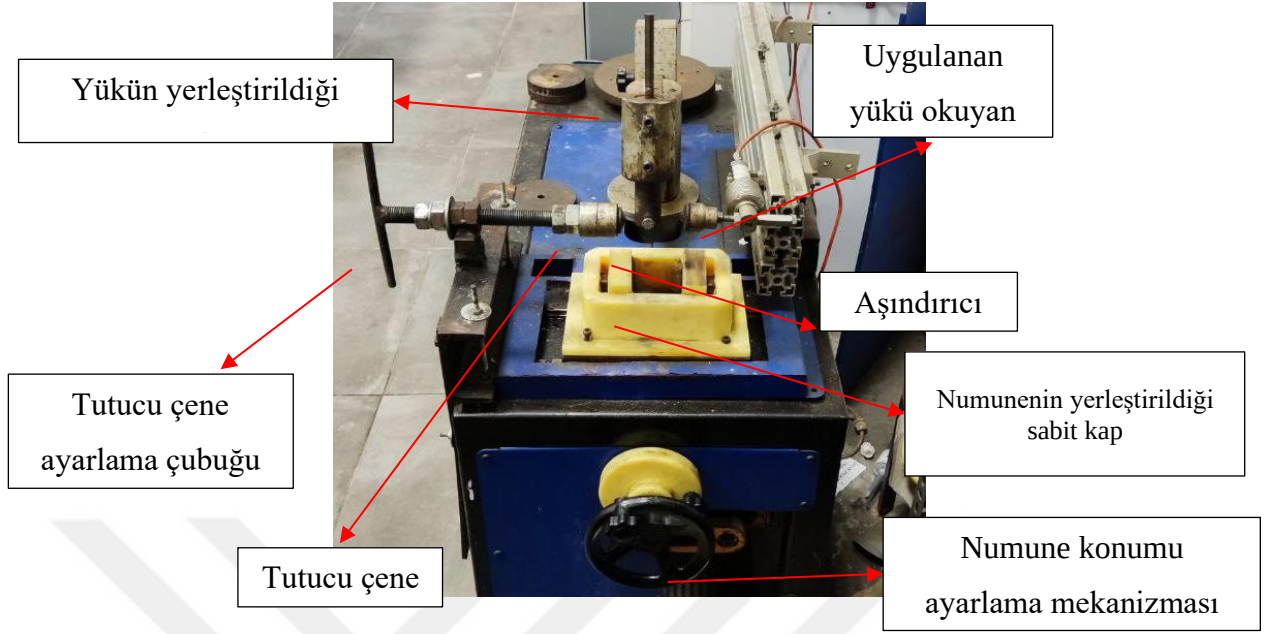
4.6. AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

Kuru aşınma deneyi Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’da gösterilen ve Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi laboratuvarında bulunan kuru aşınma cihazı kullanılarak yapılmıştır. Aşınma özelliklerini incelemek için numunelerin yüzeylerine 60, 150, 220, 400, 800, 1200 numara zımpara kağıdı ile zımparalama işlemi uygulanarak numunelerin her iki yüzeyi düzleştirilmiştir. Zımparalama işleminin ardından kuru aşınma deneyi yapmak için numuneler, tek tek deney cihazının kalıbına uygun kalınlığı 6 mm ve ebatları 35 x 35 mm olan kare prizma cama yapıştırılmıştır. Deney bütün numunelere aynı parametrelerle uygulanmıştır. Toplam 1000 metre her adım 200 metre ve uygulanan yük 10 N, kayma hızı 0.06 m/s, 65 devir/dakikada olacak şekilde yapılmıştır.

5 mm çapında yüksek sertliğe sahip AISI 52100 kalite çelik bilyeler aşındırıcı olarak kullanılmıştır. Her 200 metrede bir aşınma deneyi durdurulup ağırlık kaybı ölçülmüş ve oluşan aşınma yükleri cihazın bağlandığı bilgisayarda kaydedilmiştir. Aşınma cihazına yerleştirilen ve aşınan numunenin görüntüsü Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kuru aşınma düzeneği.



Şekil 4.8. Kuru aşınma cihazı test numunesi yerleştirilmiş olan bölge.



Şekil 4.9. Aşınma cihazına bağlanmış numune görüntüsü.

4.7. KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ

Numunelerin korozyon karakteristiğini incelemek için potansiyodinamik polarizasyon deneyi uygulanmıştır. Deney için kullanılacak numunelerin incelenecek yüzeyleri 60

kaba mesh zımparadan başlanarak ve kademeli olarak mesh numarasını arttırarak 2500 ince mesh zımparaya kadar parlatılıp yalıtkan ve sıvı geçirmeyen malzeme ile kaplanmıştır. Bu yalıtkan malzemede 5 mm çapında daire şeklinde delik açarak korozyona maruz kalacak alan belirlenmiştir. Test edilecek yüzey haricindeki yüzeyler epoksi malzeme ile kaplanmıştır. Şekil 4.10'de gösterilen beher %3.5 NaCl oranına sahip saf su ile doldurulmuştur. Deneyde çalışma elektrotu görevini görecek numune beherdeki tuzlu suda daldırılıp sabitlenmiştir. Bununla birlikte Şekil 4.10.(b)'de gösterildiği gibi beher içerisine karbon elektrot ve doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Karbon elektrot çalışma elektrotuna karşı elektrot görevi görecek, doygun kalomel elektrot (SCE) ise referans elektrot görevi üstlenecektir. Tuzlu suda referans elektrot ve çalışma elektrotu daldırıldıktan sonra herhangi bir akım geçirirmeden iki elektrot arasında zaman içerisinde meydana gelen korozyon potansiyellerinin değişimleri mV cinsinden ölçülür. Bilgisayar ortamında deneylerin okunması GAMRY model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat programı içerisinde DC105 korozyon analizini seçilerek yapılmıştır. Eşitlik potansiyeline ulaştıktan sonra katodik değerlerden anodik değerlere kadar olan potansiyodinamik polarizasyon eğrileri kaydedilir. Korozyon akım yoğunluğu I_{corr} Tafel eğrisinin katodik ve anodik eğrilerinin 3 farklı yerinden Şekil xx.'deki gibi noktalar belirlenerek ve bu noktaların oluşturduğu Tafel fitin I_{corr} değerlerinin aritmetik ortalaması alınıp sonuçlar kısmındaki grafiklerde gösterilmiştir.

Korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) Tafel eğrilerinden hesaplanmıştır. Her numune için yapılan 3 farklı deneyin ortalamaları alınarak incelemelerin sonuçları kaydedilip yorumlanmıştır.



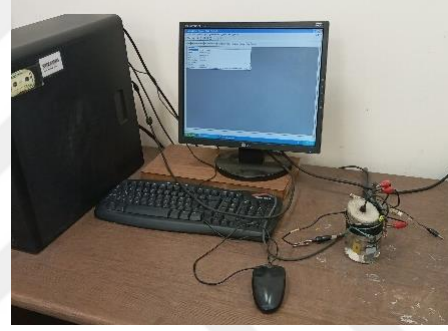
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Şekil 4.10. Korozyon testi için kullanılan malzemeler (a) Doygun kalomel elektrot, (b) Behere sabitlenmiş karbon elektrot, (c) Test aşamasına hazır olan düzenek, (d) düzeneğin ba land  ı bilgisayar, (e) Test için hazırlanan numuneler.

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu çalışmada sertlik ölçümü Brinell sertlik cihazı ile, aşınma özelliklerinin belirlenmesi kuru aşınma testi ile, korozyon özelliklerinin belirlenmesi potansiyodinamik korozyon testi ile, mikro yapı mikroskop ve SEM (Taramalı elektron mikroskobu) ile, numune içerisindeki bileşenlerinin ve yapının belirlenmesi XRF analizi yapılması ve numune içeriklerinin belirlenmesi Spektral analiz yöntemi ile yapılmıştır. Bu bölüm içerisinde deneylerin sonuçları detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1. SPEKTRAL ANALİZ.

Al 7075+ %30 Boraks, Al 7075+ %30 Boraks T6 ısıtıl işlem görmüş, Al 7075+ %15 Boraks, Al 7075+ %15 Boraks T6 ısıtıl işlem görmüş ve saf Al 7075 numunelerine spektral analiz uygulanmıştır. Çizelge 5.1’de ergiyik yöntemi ile üretilen numunelerin içerikleri, Çizelge 5.2’de ise bu numunelerin Al7075 malzeme içeriği ile arasındaki fark verilmiştir.

Çizelge 5.1. Numunelerin spektral analiz sonuçları.

İçerik Elementi	Al 7075+ %30 Boraks	Al 7075+ % 30 Boraks T6 ısıtıl işlem görmüş	Al 7075+ %15 Boraks	Al 7075+ % 15 Boraks T6 ısıtıl işlem görmüş	Al 7075
B	0.5417	0.5441	0.4889	0.463	-
O	1.3703	1.3218	1.4648	1.3497	-
Mg	0.0471	0.0193	0.1526	0.176	2.165
Si	0.0742	0.0891	0.1663	0.1687	0.067
P	0.005	0.0041	0.0058	0.0062	-
S	0.0024	0.0028	0.0037	0.0011	0,02
Cr	0.0863	0.0524	0.0805	0.058	0.20
Mn	0.0375	0.0369	0.0392	0.0406	0.04
Fe	0.2258	0.2637	0.2211	0.2545	0.3
Cu	1.7141	2.012	1.5212	1.7373	2
Zn	6.3086	6.6447	5.5562	5.7058	6.3
Al	89.5727	88.9923	90.2996	90.0392	90.338
Ni	0.0145	0.0169	0.4889	0.463	0.463

Çizelge 5.2. Üretilen malzemenin içindeki elementlerin oranları ile ana malzemenin içindeki element oranları arasındaki fark.

İçerik Elementi	Al 7075+ %30 Boraks	Al 7075+ % 30 Boraks T6 ısıt işlem görmüş	Al 7075+ %15 Boraks	Al 7075+ % 15 Boraks T6 ısıt işlem görmüş
B				
O				
Mg	-2.1179	-2.1457	-2.0124	-1.989
Si	0.0072	0.0221	0.0993	0.1017
P				
S				
Cr	-0.1137	-0.1476	-0.1195	-0.142
Mn	-0.0025	-0.0031	-0.0008	0.0006
Fe	-0.0742	-0.0363	-0.0789	-0.0455
Cu	-0.2859	0.012	-0.4788	-0.2627
Zn	0.0086	0.3447	-0.7438	-0.5942
Al	-0.7673	-1.3477	-0.0404	-0.3008
Ni				

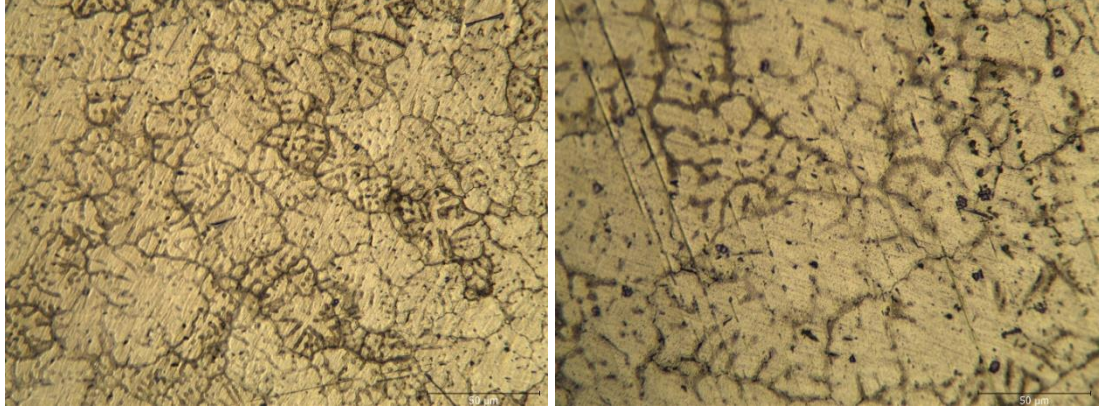
Al 7075+ %15 Boraks'lı numunedeki Mg oranı %2.5 dan %0.15 e düşmüştür. Al 7075+ %30 Boarakslı numunede ise Mg %2.5 den % 0,04 a düşmüştür. Bunun nedeni borax magnezyumla aşağıdaki verilen formül (2) ye göre bileşik yapmakta ve bor açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan bor Al 7075 matrisi içinde Al_2B ve $Al_{12}B$ bileşikleri oluşturabilmektedir.



Burada $B_2 O_3$ bor oksit, Mg magnezyum, B bor, MgO magnezyum oksittir.

5.2. MİKRO YAPI İNCELEMESİ

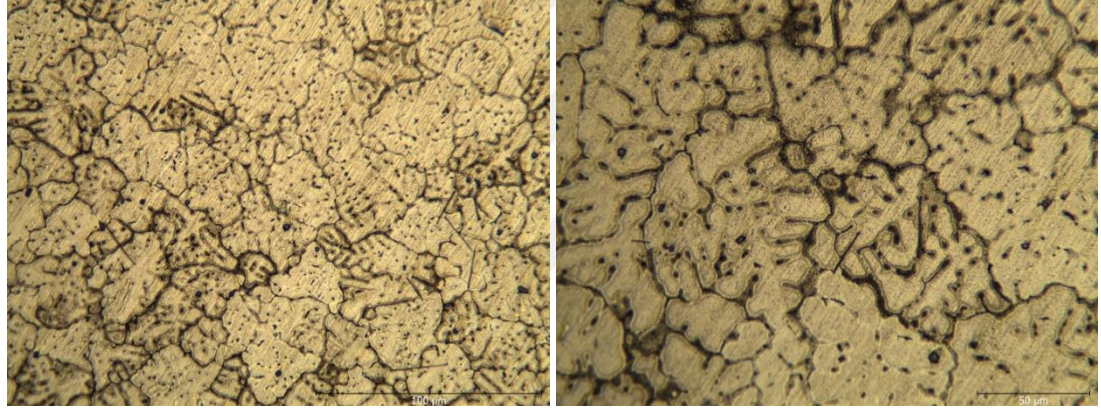
Üretilen malzeme için homojenleştirme süresi gereğinden fazla tutulmaması amacıyla yapılan homojenleştirme deneyi sonucunda elde edilen mikroyapıların görüntüleri homojenleştirme süresinin artmasıyla nasıl geliştiği aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



(a) 10X

(b) 20 X

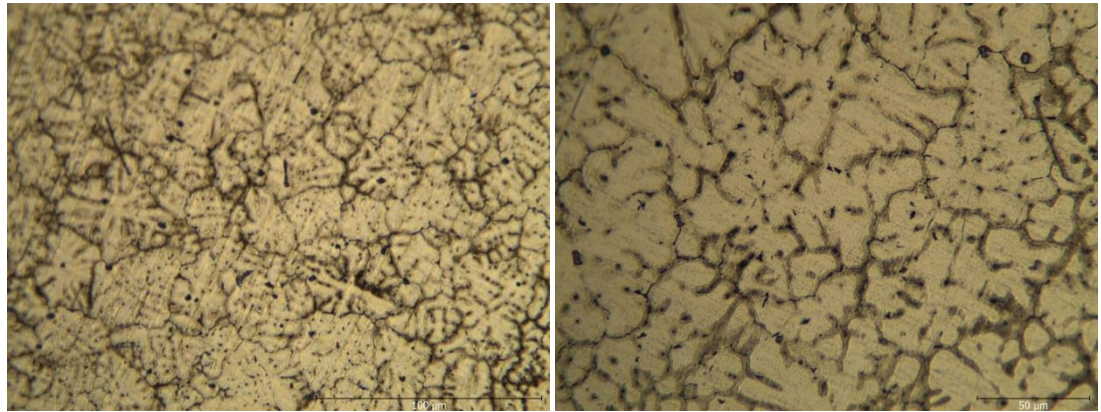
Şekil 5.1. Al 7075 + %30 Boraks alaşımasının 1 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).



(a) 10X

(b) 20 X

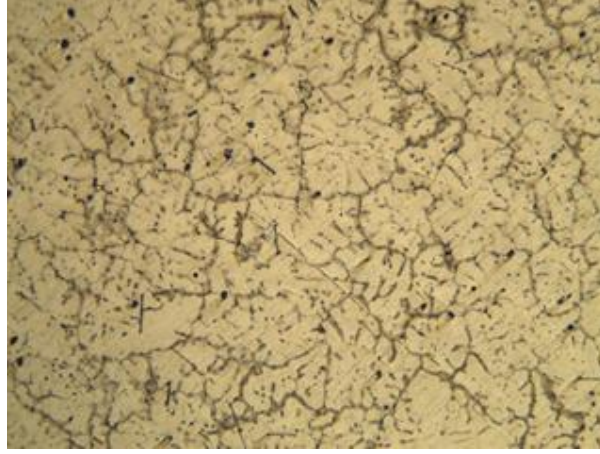
Şekil 5.2. Al 7075 + %30 Boraks alaşımasının 1:30 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).



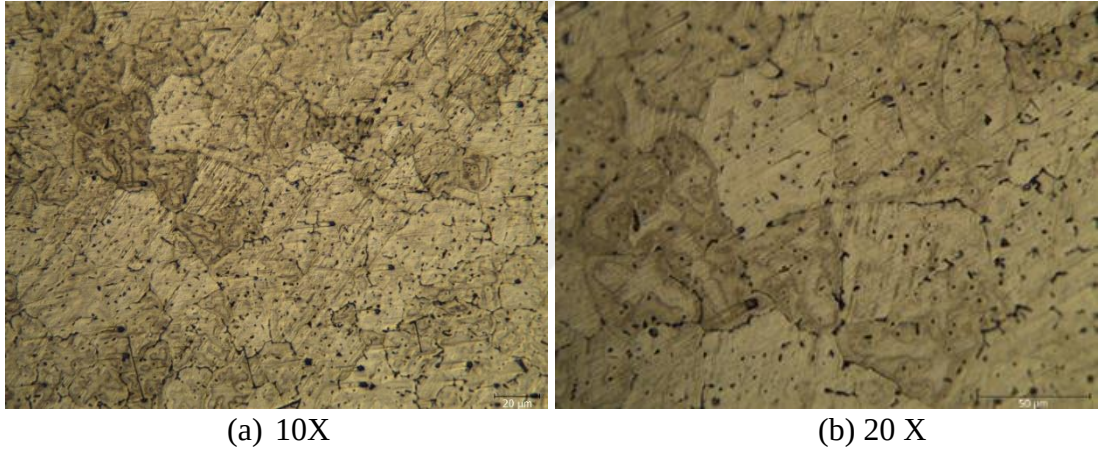
(a) 10X

(b) 20 X

Şekil 5.3. Al 7075 + %30 Boraks alaşımasının 2 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).



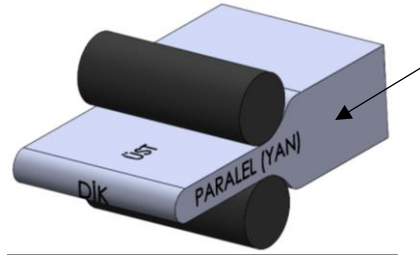
Şekil 5.4. Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 2:45 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).



Şekil 5.5. Al 7075 + %30 Boraks alaşımının 3:45 saat homojenleştirmeden sonraki mikro yapı görüntüleri (40 saniye dağlama).

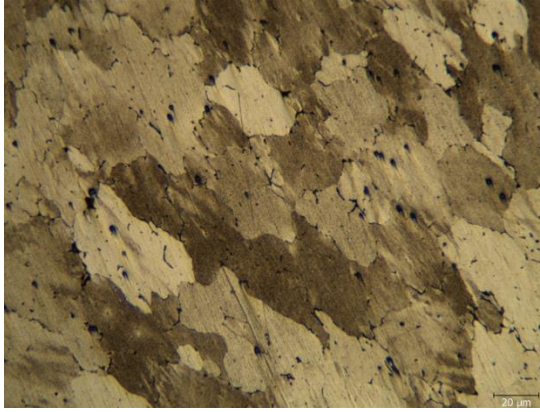
Yukardaki resimlere bakıldığında homojenleştirme süresi artarken döküm işleminden sonra malzemede oluşan dentritlerin giderildiği ve tanelerin iyileştiği görülebilmektedir. Aynı deney aynı boyutlara sahip %15 borakslı numuneye de uygulanmış ve aynı homojenleştirme süresi uygulanması gerektiği görülmüştür.

Homojenleştirme ve haddeleme işlemlerinden sonraki numunelerin mikro yapı görüntüleri üstten, yandan ve haddeleme yönüne dik üç yüzeyden alınmıştır. Yüzey isimlendirmeleri Şekil 5.6'da 3D olarak gösterilmiştir.

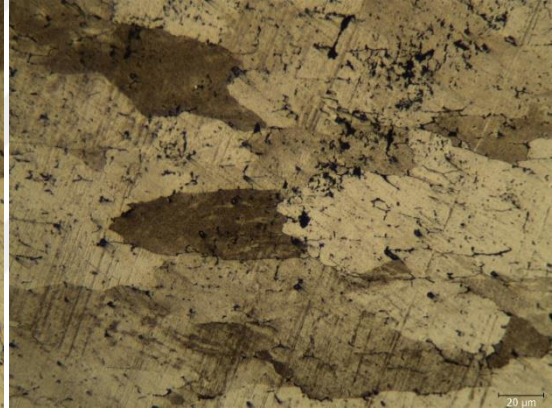


Şekil 5.6. Haddelenmiş numunelerin yüzey isimlendirmesi.

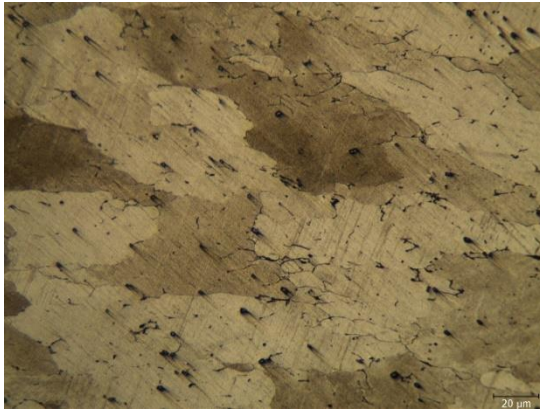
Aşağıdaki görüntüler %30 borakslı %50 haddeleme oranında Şekil 5.7 ile, %80 haddeleme oranında Şekil 5.8 ile ve %100 haddeleme oranında Şekil 5.9 ile mikro yapı görüntüleri her üç yüzeyden (üst, dik ve yan) alınarak verilmiştir.



(a) Dik

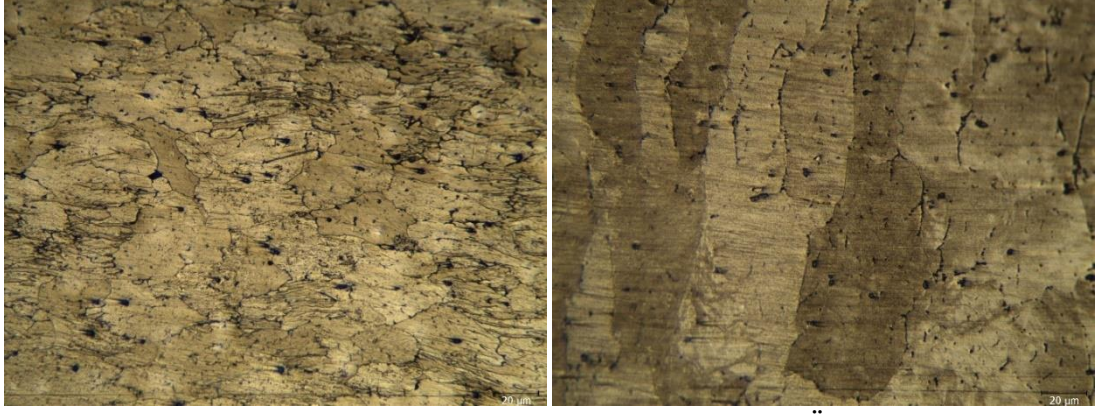


(b) Üst.



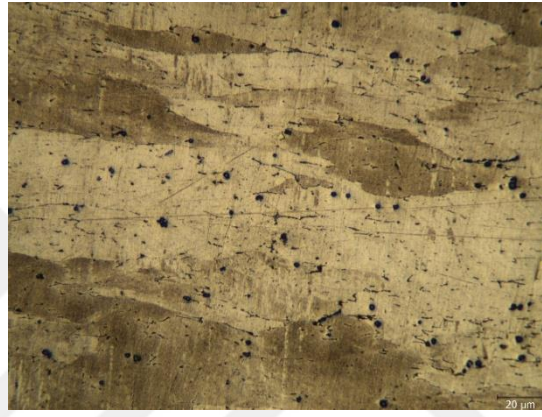
(c) Yan

Şekil 5.7. %50 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşımının üst, dik ve yan yüzeylerinden görüntüleri.



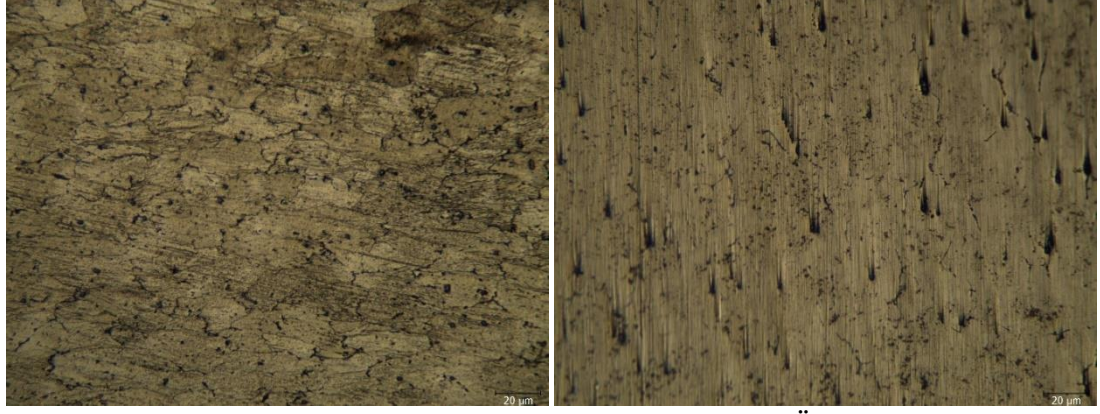
(a) Dik

(b) Üst.



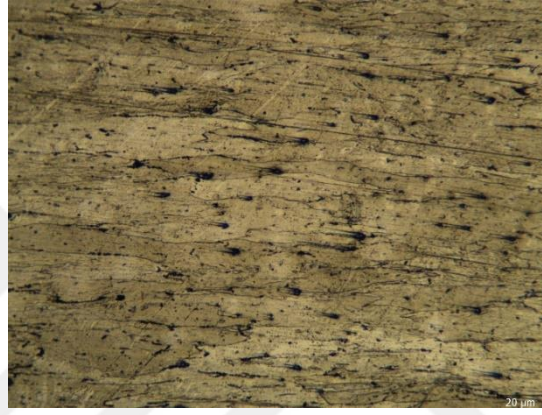
(c) Yan

Şekil 5.8. %80 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşıımının üst, dik vey an yüzeylerinden görüntüleri.



(a) Dik

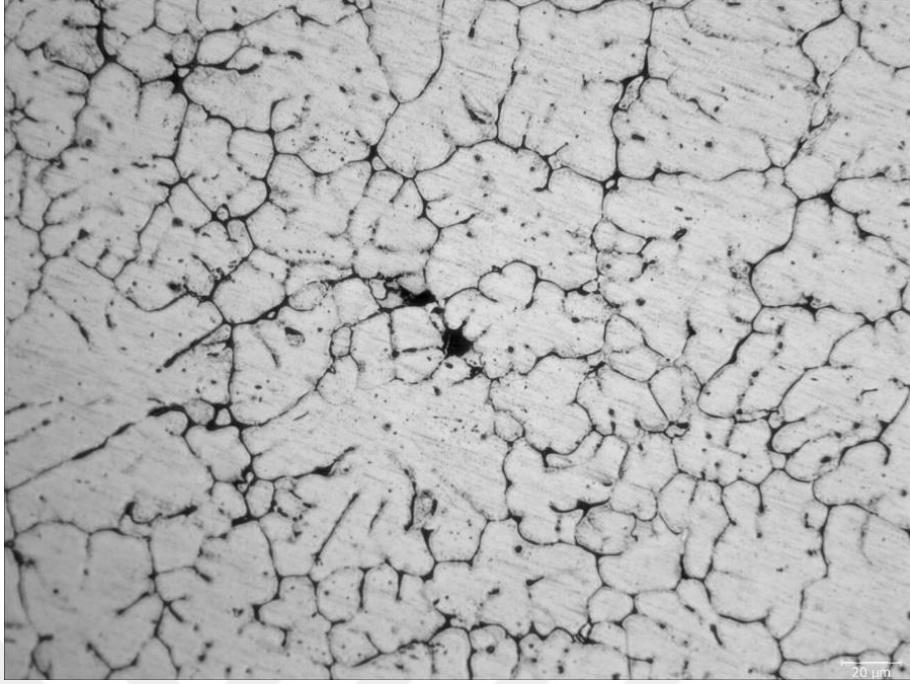
(b) Üst.



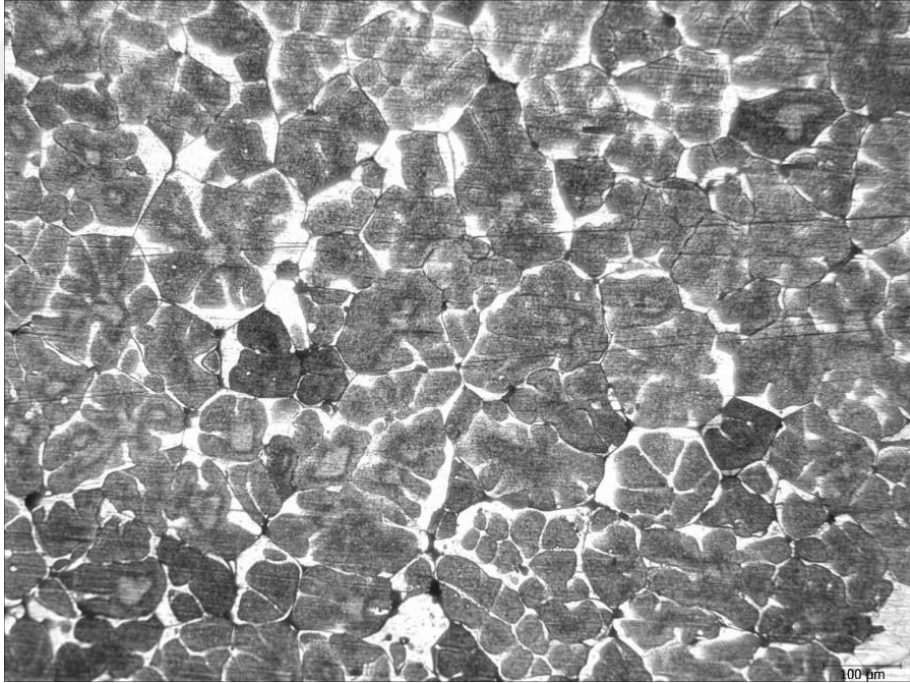
(c) Yan

Şekil 5.9. %100 haddelenmiş Al 7075 + %30 Boraks alaşımasının üst, dik ve yan yüzeylerinden görüntüleri.

Mikro yapısı incelenmiş numuneler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Al7075 alaşımasının homojenleştirilmesi Niraj Nayan ve arkadaşlarının yaptığı çalışmaya referans alarak yapılmıştır. İki kademeli homojenleştirme yapılmıştır. Al 7075 döküm alaşımından 10 mm kalınlığında bir numune alınmıştır. Bu numunenin bilgisayar ortamında ortalama tane boyutu ölçüldüğünde $190 \mu m$ olduğu görülmüştür. Bu numunenin homojenleştirilmeden önce 10 X büyütme ile Şekil 5.10'da, $470^\circ C$ 'de 9 saat homojenleştirmeden sonra 10 X büyütme ile çekilmiş görüntüsü Şekil 5.11'de gösterilmiştir. 20 X büyütmede ise bir sonraki Şekil 5.12'de gösterilmiştir.

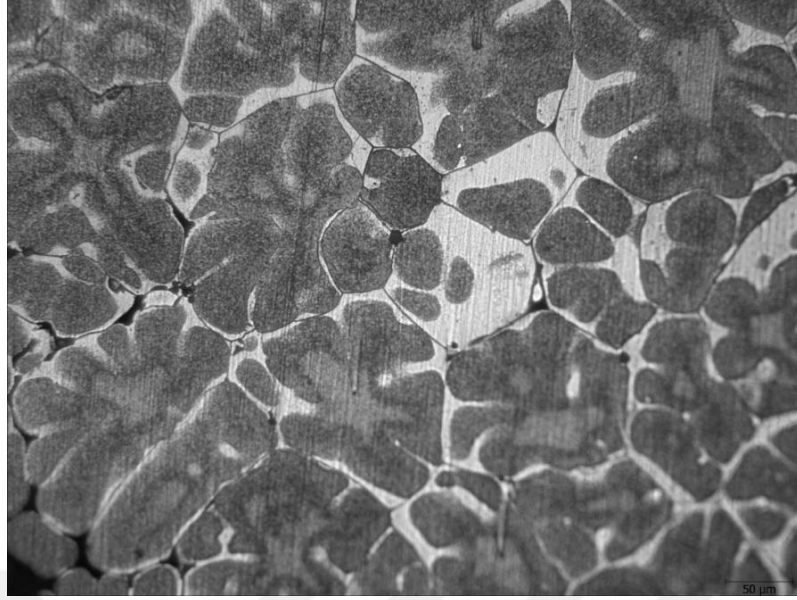


Şekil 5.10. Saf Al7075 homojenleştirilmeden önce 10 X büyütmede metalografik görünümü.



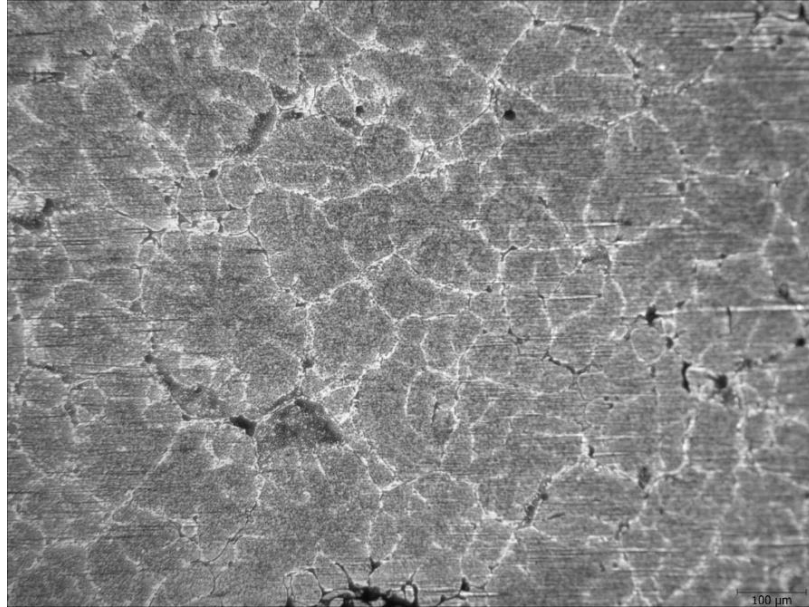
Şekil 5.11. Saf Al7075 9 saat homojenleştirmeden sonra 10 X büyütmede metalografik görünümü.

Numune fırınla birlikte soğutulmaya bırakılmıştır. Ortalama tane boyutu ölçüldüğünde $110 \mu m$ olarak bulunmuştur.

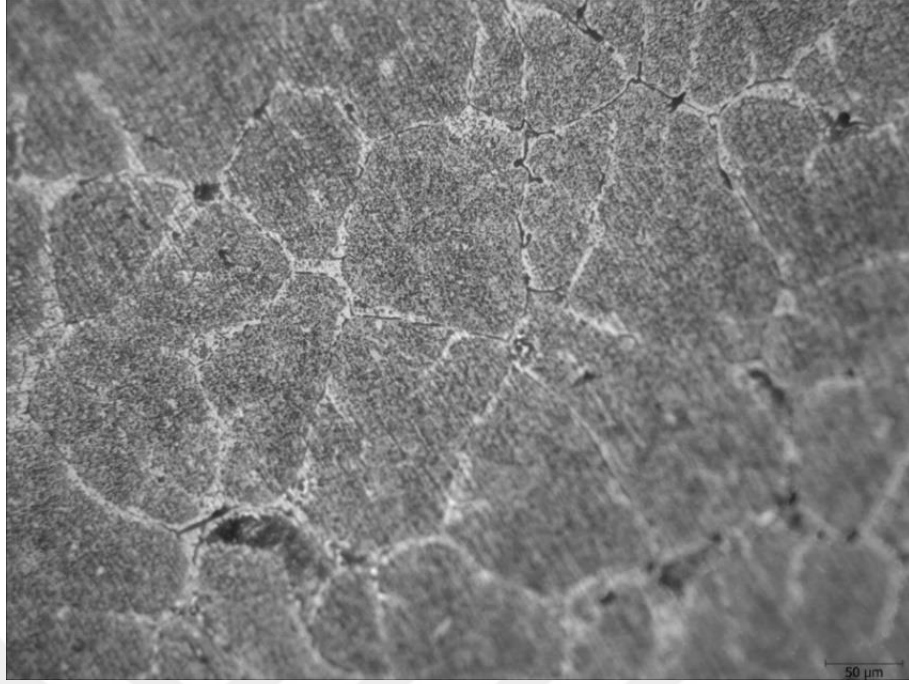


Şekil 5.12. Saf Al7075 ikinci 9 saat homojenleştirmeden sonra 20 X büyütmede metalografik görünümü.

Numunenin mikroyapısı incelendikten sonra tekrar ısıtım işlemi fırında 490 °C’de 3.5 saat homojenleştirilmiş ve ardından alınan mikroyapı görüntüleri Şekil 5.13’de 10 X büyütme ile, Şekil 5.14’de 20 X büyütme ile gösterilmiştir. Homojenleştirme işlemi sonunda ortalama tane boyutu bilgisayar ortamında ölçülmüş ve 111 µm olarak bulunmuştur.

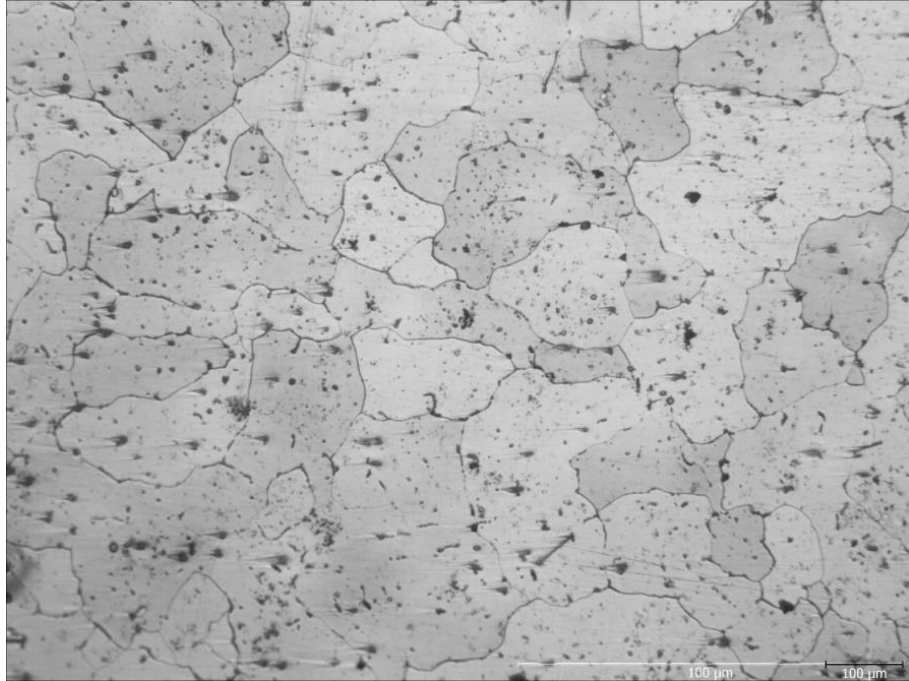


Şekil 5.13. Saf Al7075 3.5 saat ikinci kademe homojenleştirmeden sonra 10 X büyütmede metalografik görünümü.



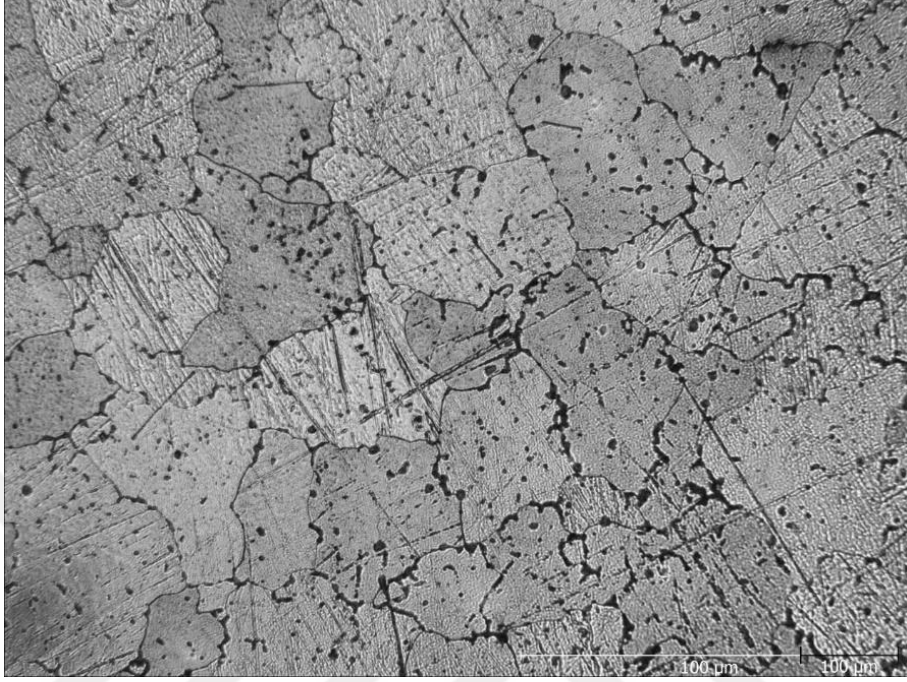
Şekil 5.14. Saf Al7075 3.5 saat ikinci kademe homojenleştirmeden sonra 20 X büyütmede metalografik görünümü.

10 X büyütme ile %15 borakslı Al7075 Şekil 5.15. de ve %30 borakslı Al7075 Şekil 5.16'da mikro yapı görüntüleri gösterilmiştir.



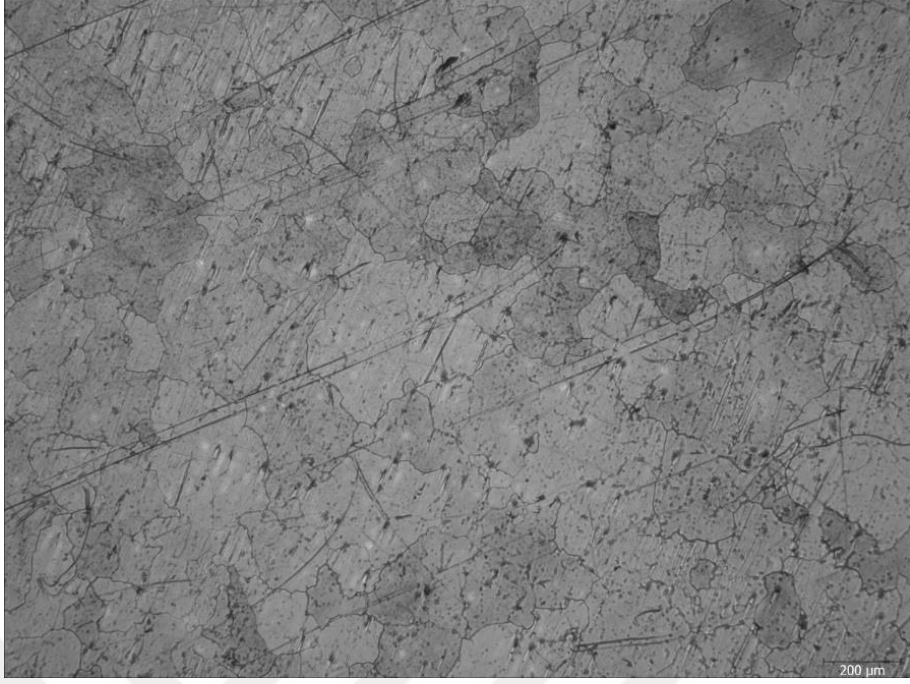
Şekil 5.15. %15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.

%15 borakslı Al7075 malzemesinin ortalama tane boyutu bilgisayar ortamında hesaplanmış ve 130 μm olduğu bulunmuştur.

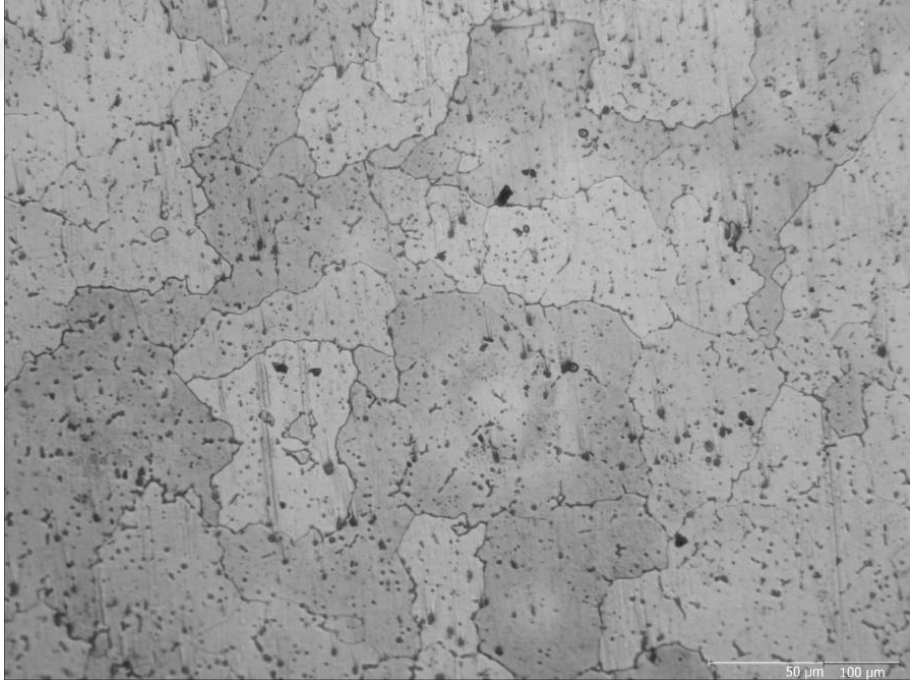


Şekil 5.16. %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.

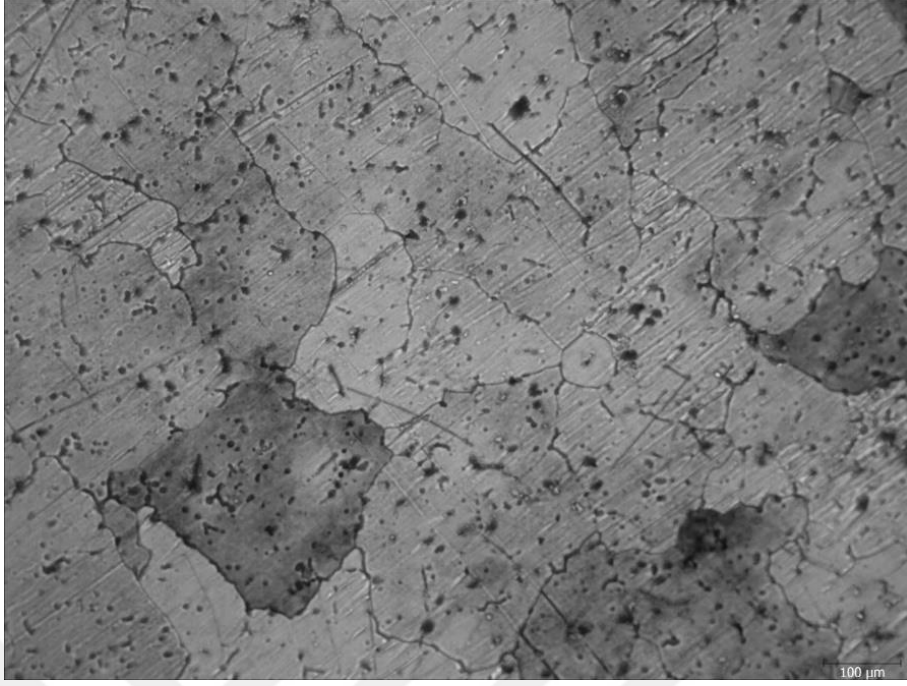
%30 borakslı Al7075 malzemesinin ortalama tane boyutu bilgisayar ortamında hesaplanmış ve 170 μm olduğu bulunmuştur. %15 boraks ilavesinin tane boyutunu %30 borakslı ilavesinden daha fazla iyileştirdiği mikro yapılara bakılarak ve tane boyutu ölçülmesi sonucunda görülmüştür. Bu numuneler T6 ısıtma işlemi gördükten sonra %15 borakslı numunenin mikro yapı görüntüleri 5 X büyütme ile Şekil 5.17’de, 10 X büyütmede ise Şekil 5.18 ve Şekil 5.19’da, %30 borakslı numunenin mikroyapı görüntüleri ise 5 X büyütme ile Şekil 5.20’de, 10 X büyütme ile Şekil 5.21’de gösterilmiştir. Bu iki numuneye T6 ısıtma işlemi (72 saat yapay yaşlandırma) uyguladıktan sonra %15 borakslı numunenin ortalama tane boyutu %18 pozitif yönde değişiklik ile 130 μm ’den 105.6 μm ’ye, %30 borakslı numunenin ortalama tane boyutu ise %3.5 pozitif yönde değişiklik ile 172 μm ’den 166 μm ’ye kadar küçülmüştür.



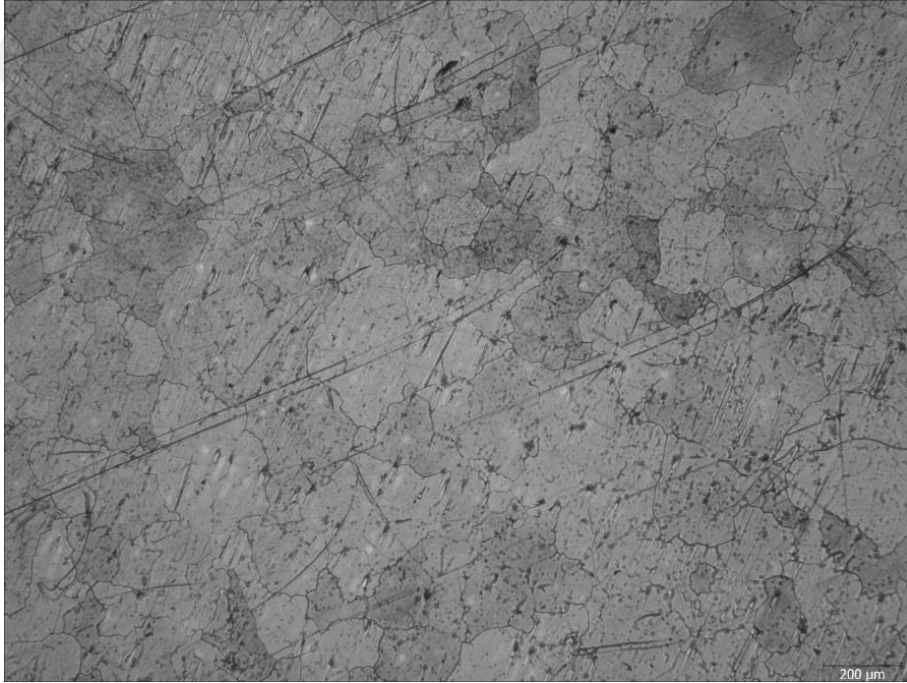
Şekil 5.17. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.



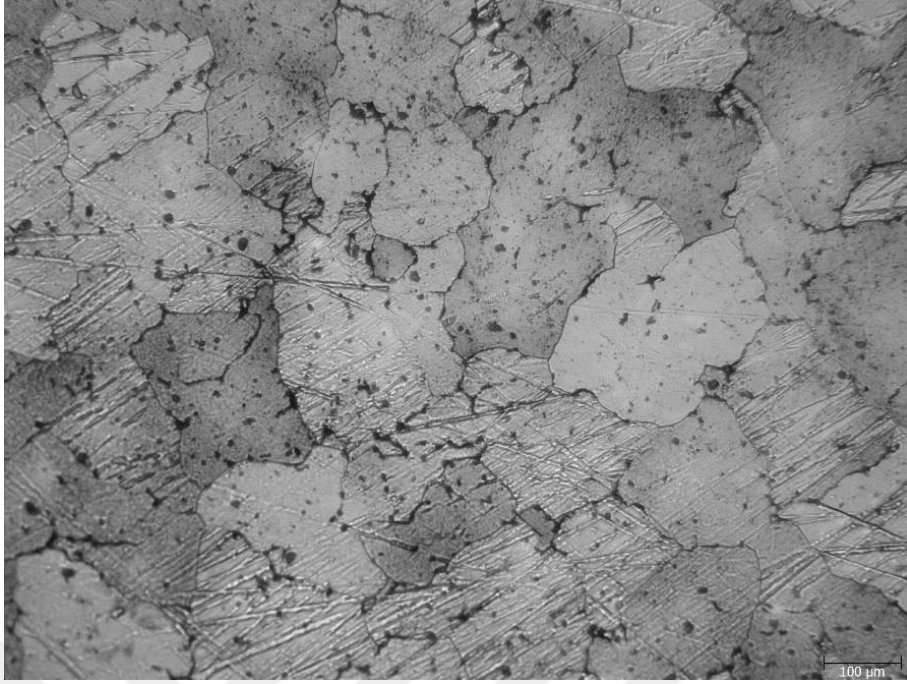
Şekil 5.18. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.



Şekil 5.19. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 10x büyütmede metalografik görünümü.



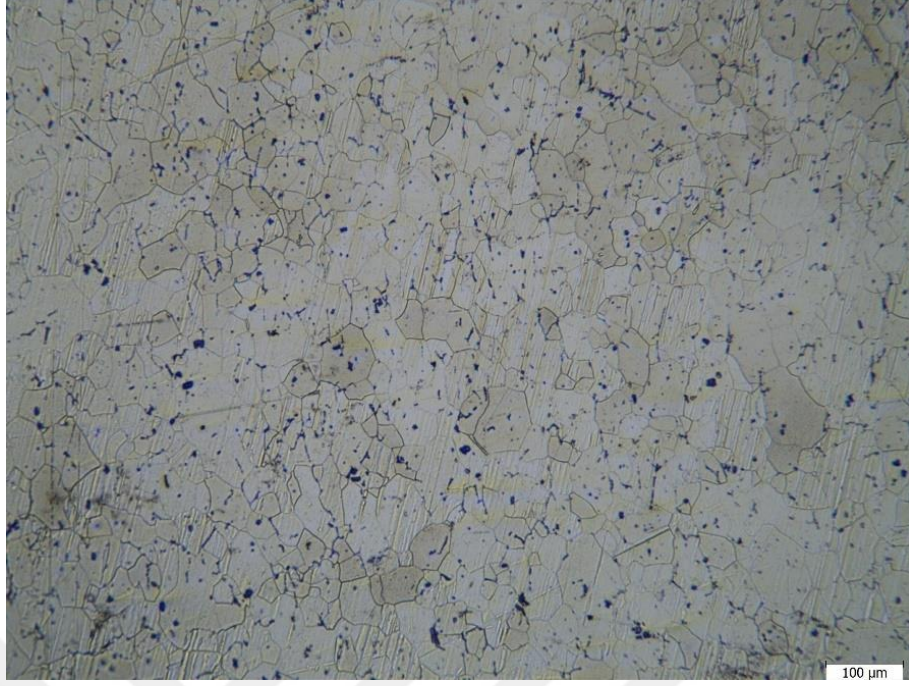
Şekil 5.20. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %30 borakslı Al7075 5 X büyütmede metalografik görünümü.



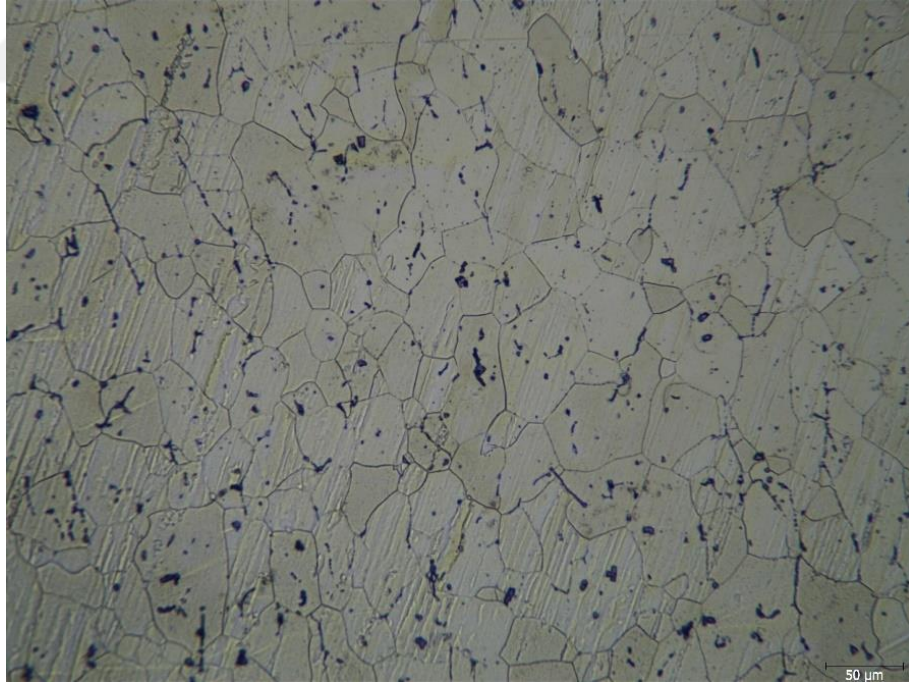
Şekil 5.21. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.

%50 ve %80 oranlarında soğuk haddeme mekanik deformasyonu uygulanmasının ardından 72 saat yaşlandırmadan sonra mikroyapı görüntüleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Tane yapısında yeniden kristalleşme meydana geldiği görülmüştür.

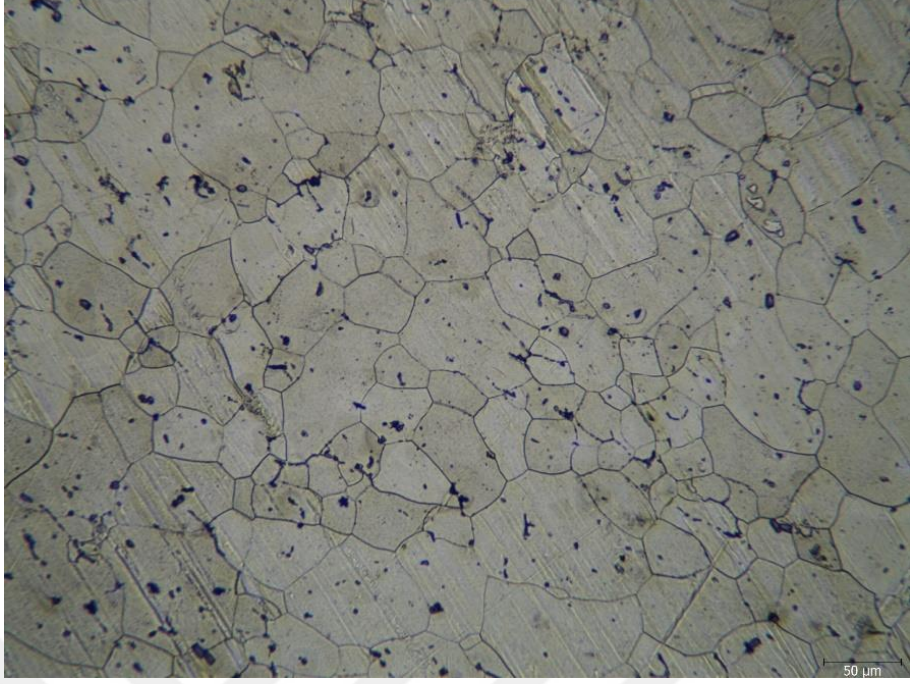
%15 borakslı %50 haddelenmiş numunenin mikro yapı görüntüsü 10 X büyütme ile Şekil 5.22’de, 20 X büyütme ile Şekil 5.23 ve Şekil 5.24’de 50 X büyütme ile Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’da gösterilmiştir. %15 borakslı %80 haddelenmiş numunenin mikro yapı görüntüsü 10 X büyütmede Şekil 5.27’de, 20 X büyütmede Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da, 50 X büyütmede Şekil 5.30 ve Şekil 5.31’de gösterilmiştir. %30 borakslı %50 haddelenmiş numunenin mikro yapı görüntüsü 10 X büyütmede Şekil 5.32’de 20 X büyütmede Şekil 5.33 ve Şekil 5.34’de 50 X büyütmede Şekil 5.35’de gösterilmiştir. %30 borakslı %80 haddelenmiş numunenin mikro yapı görüntüsü 10 X büyütmede Şekil 5.36’da 20 X büyütmede Şekil 5.37 ve Şekil 5.38’de, 50 X büyütmede Şekil 5.39 ve Şekil 5.40’da gösterilmiştir.



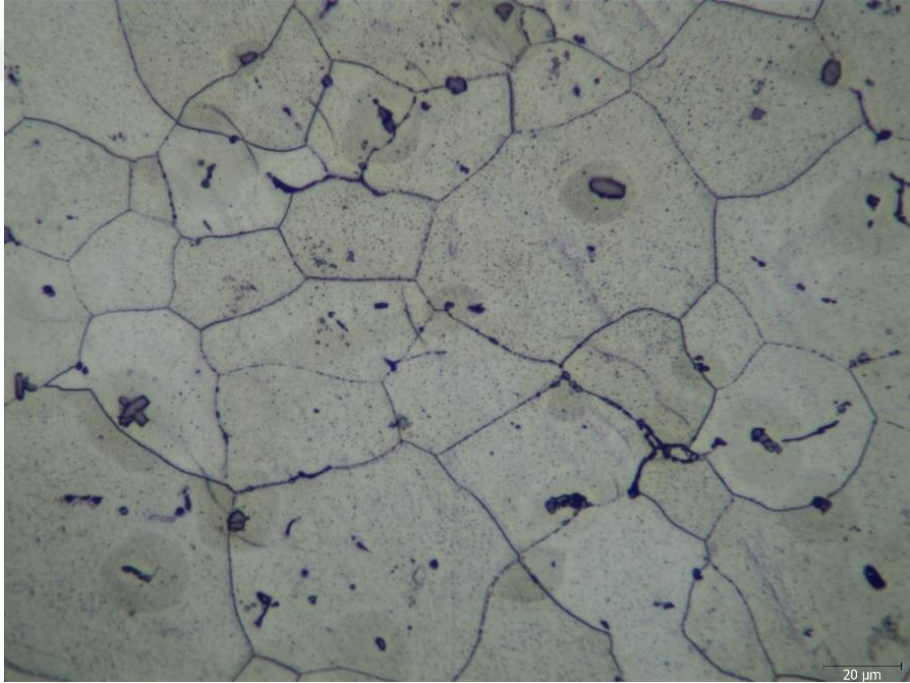
Şekil 5.22. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.



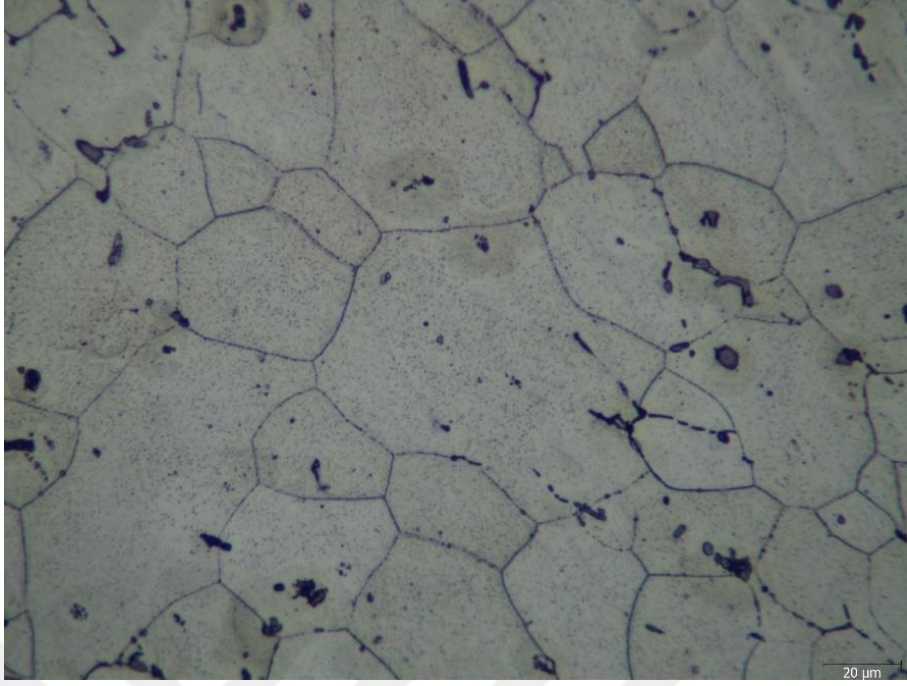
Şekil 5.23. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



Şekil 5.24. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



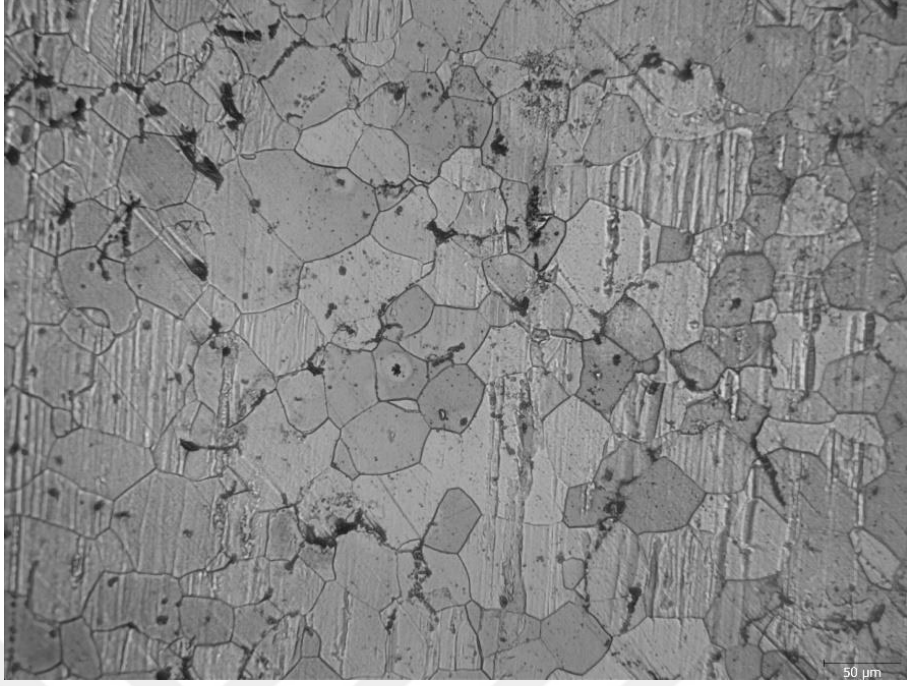
Şekil 5.25. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



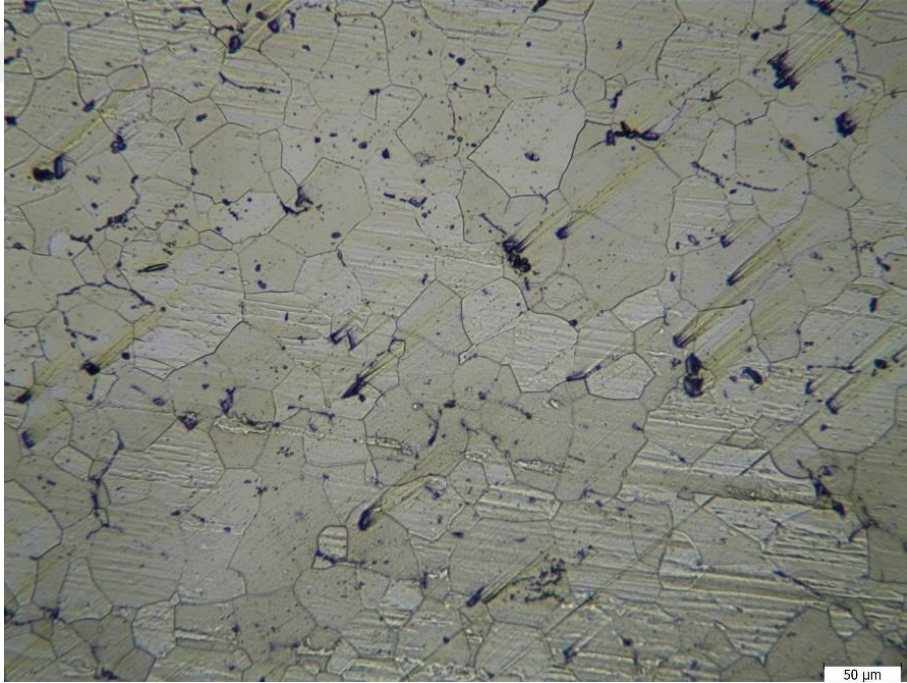
Şekil 5.26. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



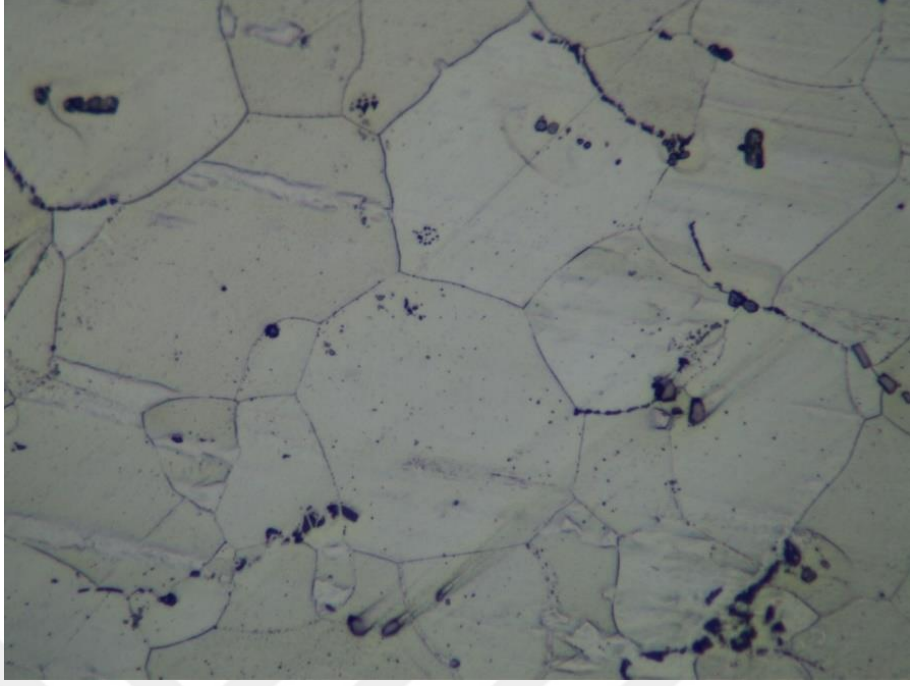
Şekil 5.27. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.



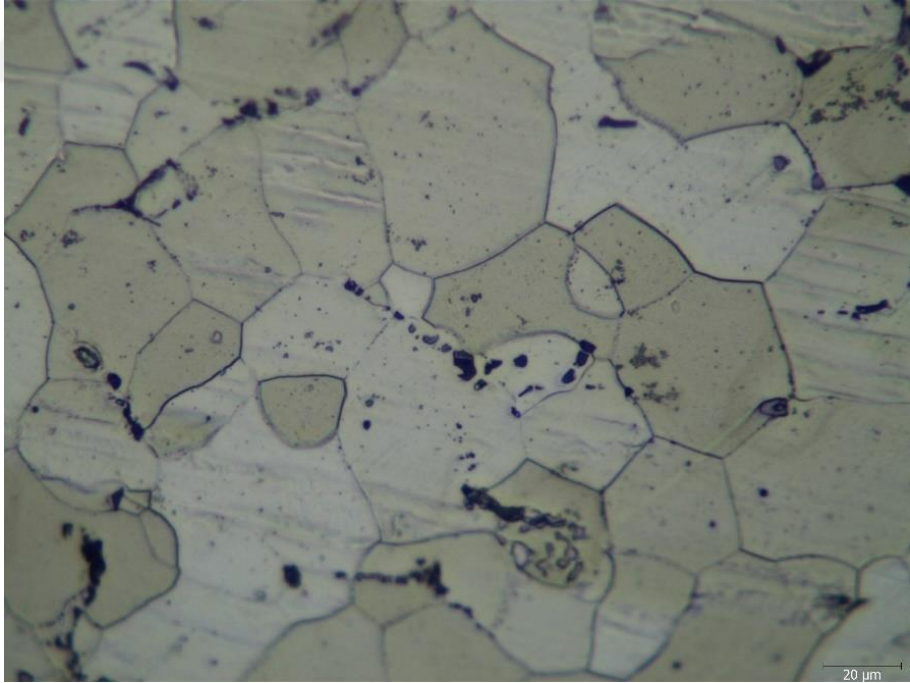
Şekil 5.28. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



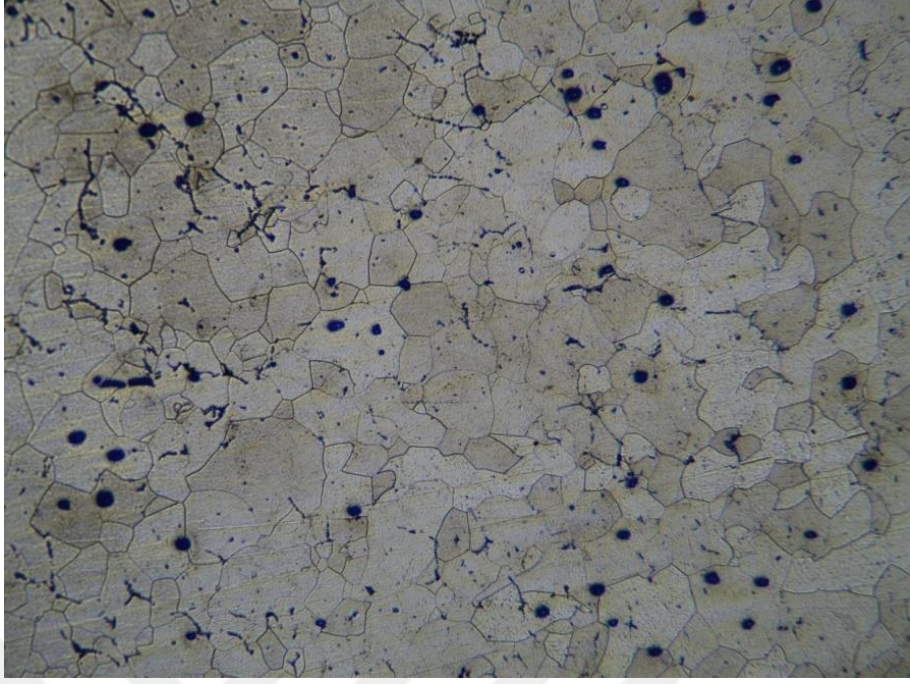
Şekil 5.29. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



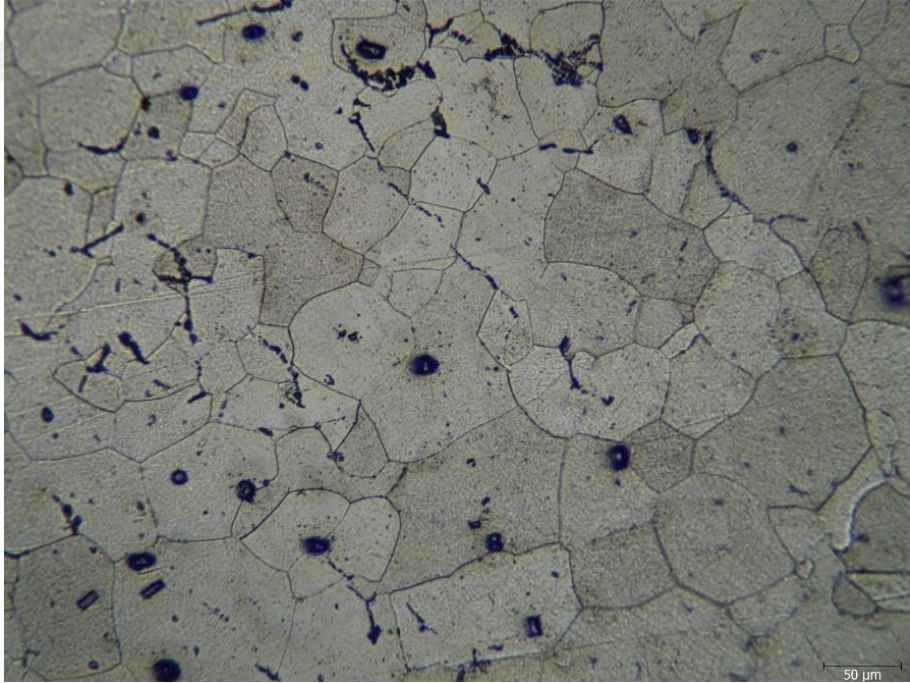
Şekil 5.30. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



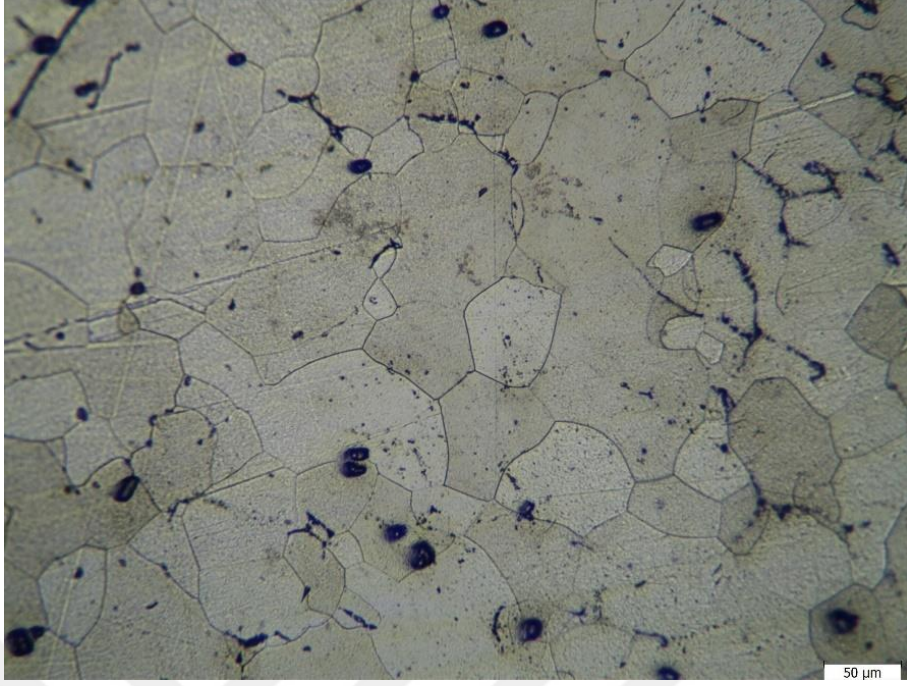
Şekil 5.31. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %15 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



Şekil 5.32. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.



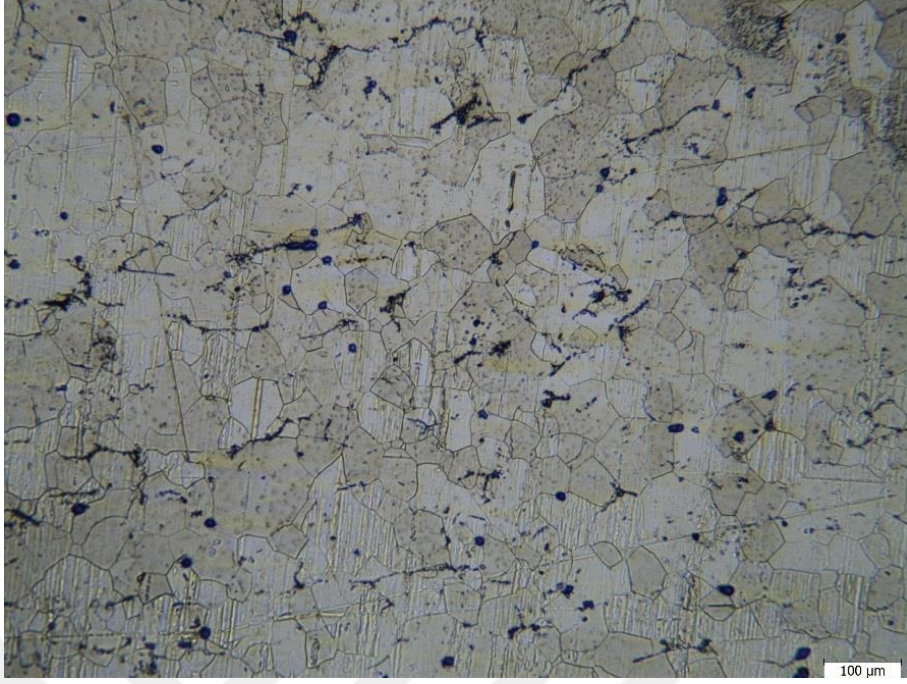
Şekil 5.33. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



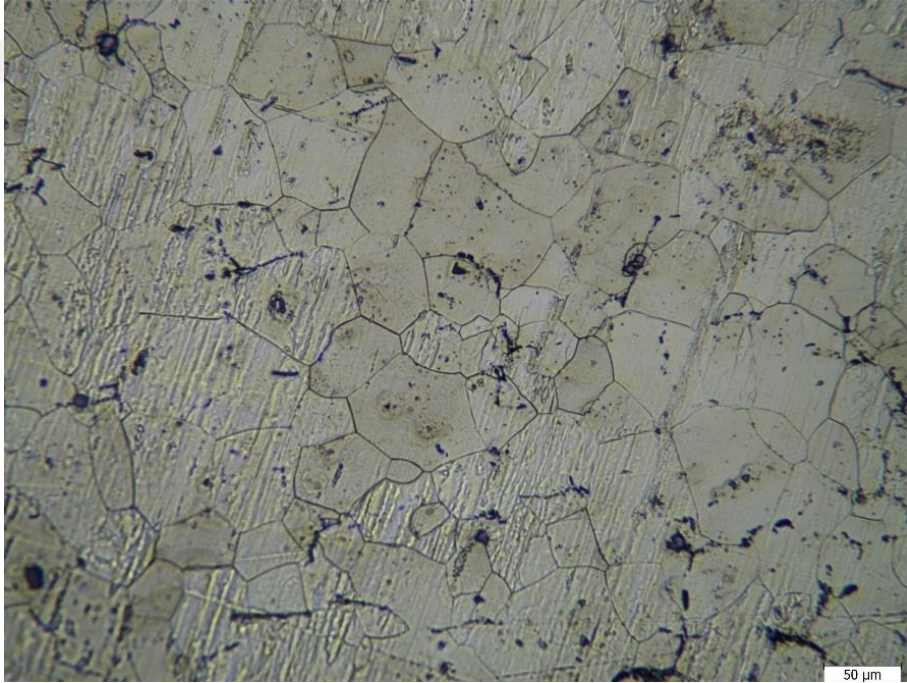
Şekil 5.34. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



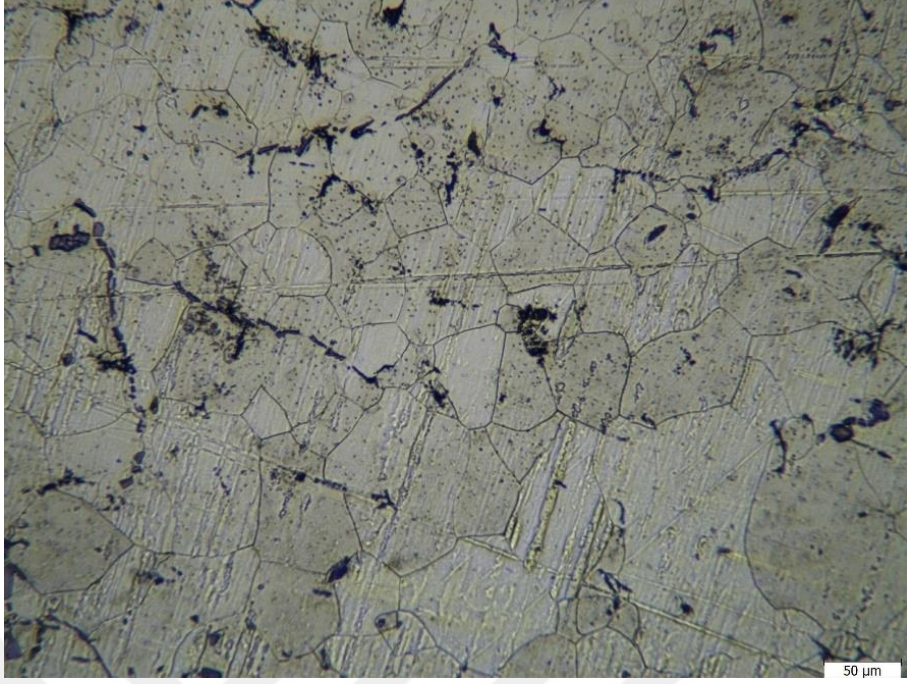
Şekil 5.35. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %50 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



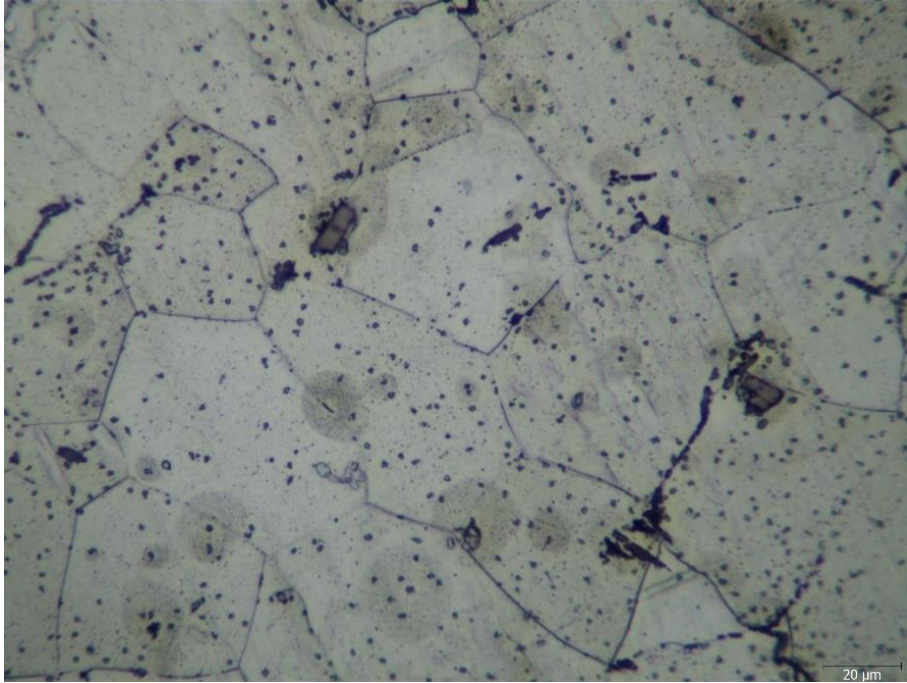
Şekil 5.36. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 10 X büyütmede metalografik görünümü.



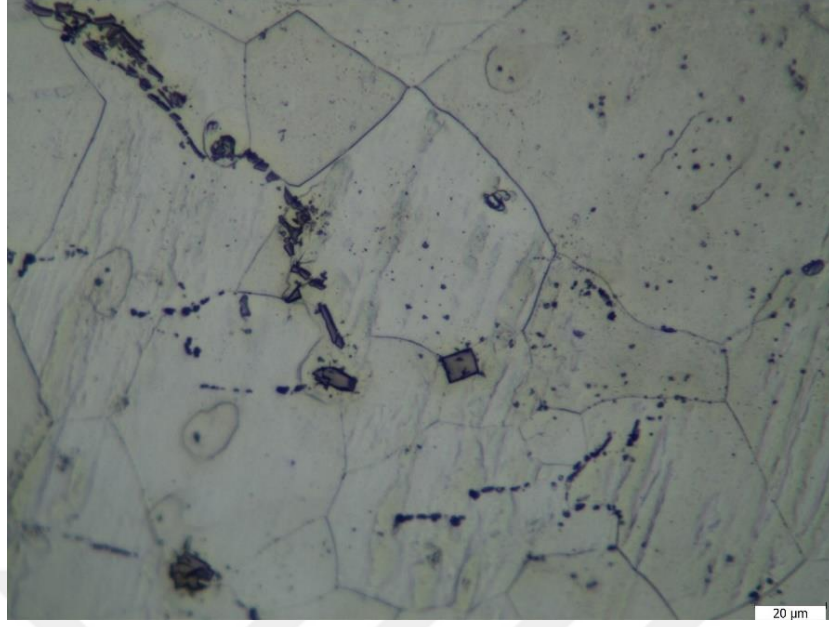
Şekil 5.37. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.



Şekil 5.38. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 20 X büyütmede metalografik görünümü.

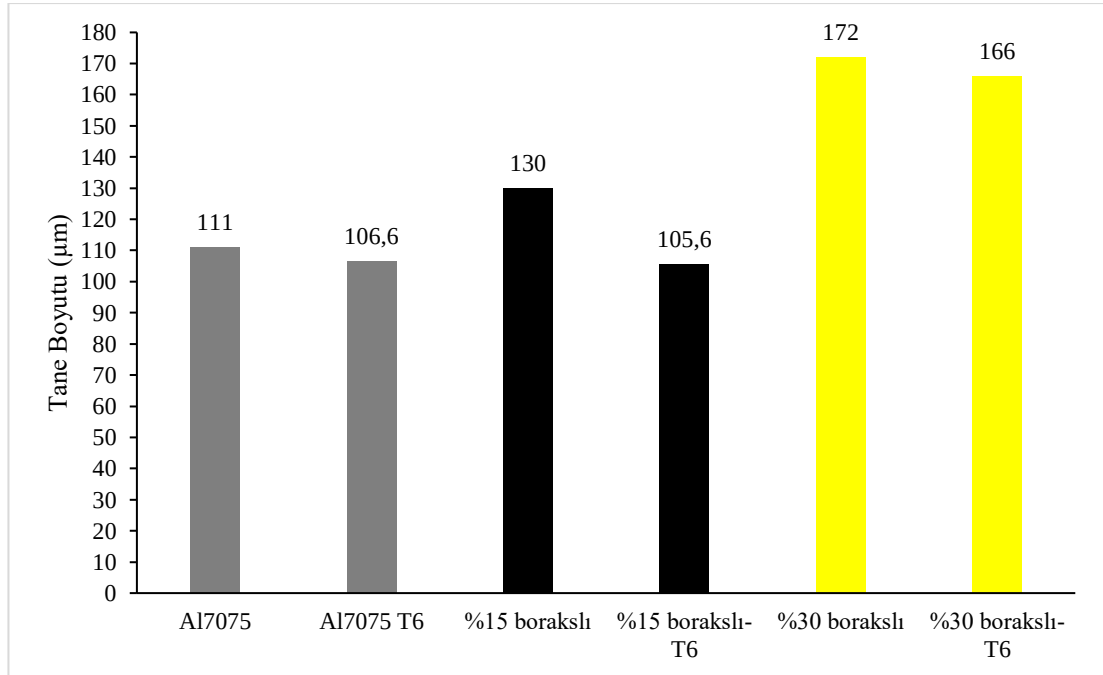


Şekil 5.39. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.



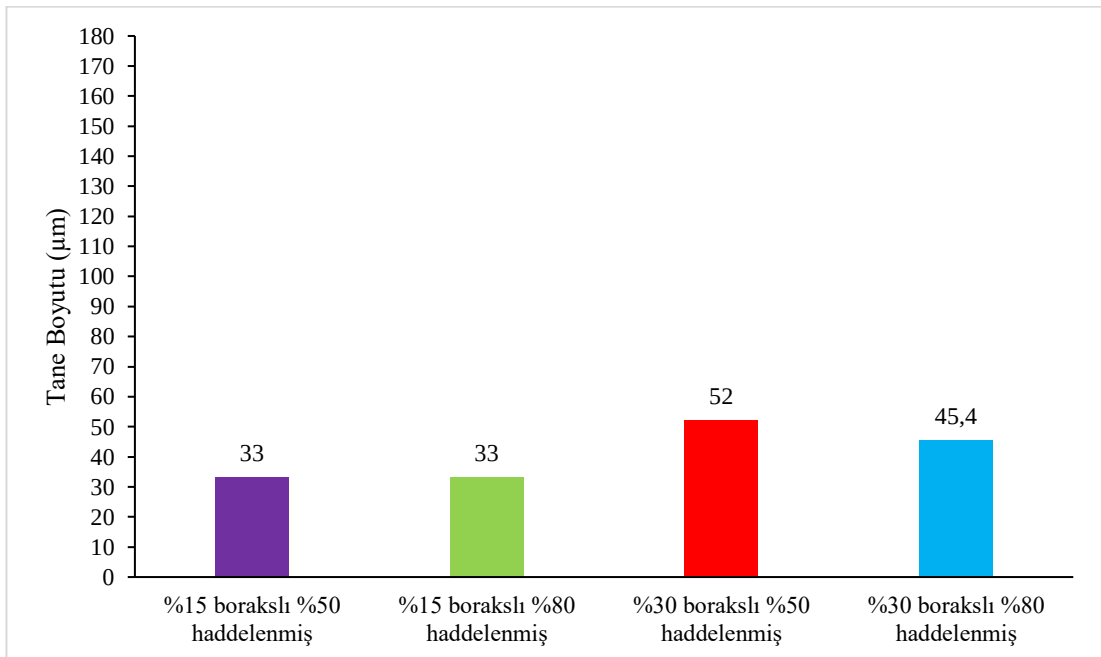
Şekil 5.40. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş %80 haddelenmiş %30 borakslı Al7075 50 X büyütmede metalografik görünümü.

Mikroyapı görüntüleri alınan bütün numunelerin ortalama tane boyutunun grafiği Şekil 5.41’de gösterilmiştir. Tane boyutu en yüksek bulunan numune %30 brakslı T6 ısıt işlem görmemiş olan numunedir.



Şekil 5.41. %15 ve %30 borakslı T6 ısıt işlem görmüş ve görmemiş numunelerin tane boyutu grafiği.

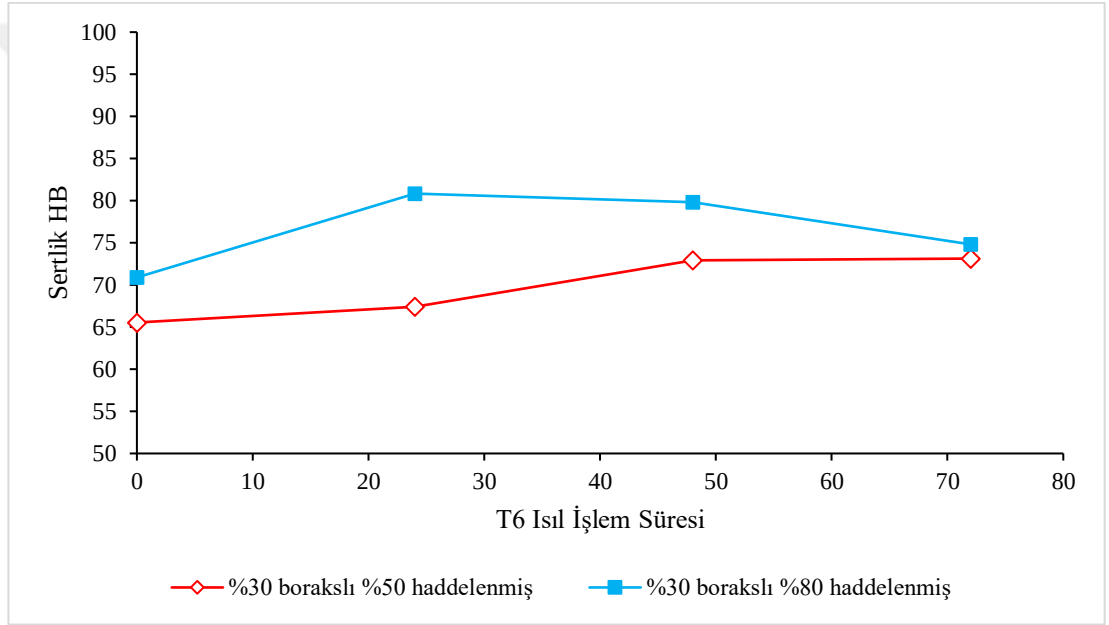
Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi boraks ilavesiyle tane boyutunun %15 borakslı T6 ısıt işlem görmüş Al7075 numunesi hariç Al7075 ana malzemenin ortalama tane boyutuna göre %0.93 oranında küçüldüğü gözlemlenmiştir. %30 borakslı numunelerin tane boyutu %15 boraks ilaveli numunelerin tane boyutundan daha iri olduğu ortalama tane ölçümleri sonucunda bulunmuştur. Şekil 5.41'e bakarak T6 ısıt işlem bütün numunelerin tane boyutunu iyileştirdiği görülmüştür. En fazla iyileşme %15 borakslı numunede rastlanmıştır. Aşağıda verilen Şekil 5.42'de, önce %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş ve ardından ısıt işlem görmüş %15 ve %30 borakslı numunelerin ortalama tane boyutu verilmiştir. Şekil 5.41'deki grafik Şekil 5.42 ile karşılaştırıldığında haddeleme işlemi T6 ısıt işlem ile birlikte tane boyutunu iyileştirdiği belirgin bir şekilde görülmüştür. %30 boraks ilaveli T6 ısıt işlem görmüş numunenin tane boyutu %50 haddeleme işlemi uygulanmasıyla birlikte 166 μm 'den 52 μm 'e kadar (%68.7 oranında tane boyutunda küçülme), %80 haddeleme oranı uygulamasıyla ise 45.4 μm 'e kadar (%72.7 oranında tane boyutunda küçülme) düştüğü gözlemlenmiştir. %15 borakslı T6 ısıt işlem görmüş numunenin tane boyutu %50 haddeleme işlemi uygulanmasıyla birlikte 105 μm 'den 30 μm 'e kadar boyutuna düştüğü gözlemlenmiştir. %80 deformasyon ise tane boyutunu etkilemediğini görülmüştür.



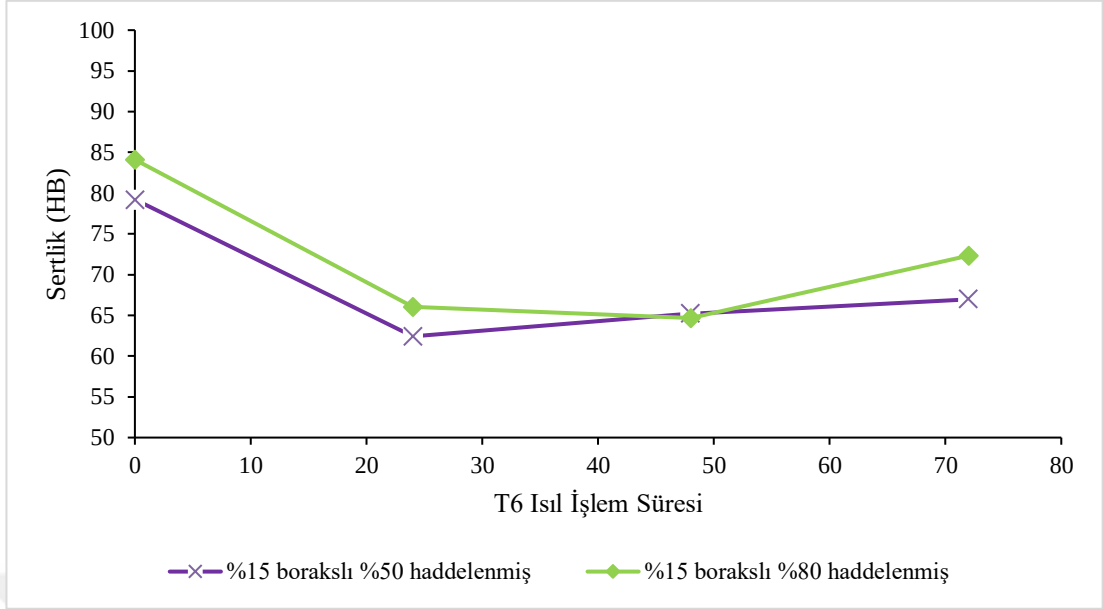
Şekil 5.42. %15 ve %30 borakslı %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numunelerin tane boyutu grafiği.

5.3. SERTLİK ANALİZİ

%30 borakslı ve %15 borakslı numunelere soğuk haddeleme işlemi uygulanmasının ardından numunelere yaşlandırma deneyi sonrası elde edilmiş sertlik zaman grafikleri %30 borakslı malzeme için Şekil 5.43’de %15 borakslı malzeme için ise Şekil 5.44’de gösterilmiştir. %15 borakslı farklı oranlarda haddelenmiş malzemelerin zamanla sertliğinin azaldığı dolayısıyla yaşlanma kabiliyetlerinin olmadığı görülmüştür. %30 borakslı malzemelerde ise sadece %80 haddelenmiş numunenin yaşlanma kabiliyetinin olduğu görülmüştür.



Şekil 5.43. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş %30 boraks ilaveli numunelerin yaşlandırma testi sonuç grafiği.

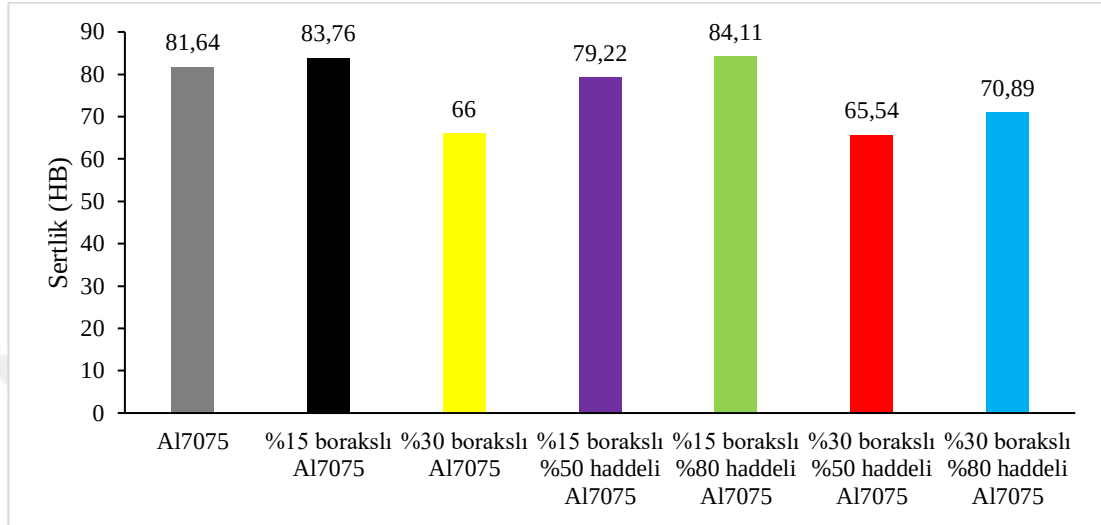


Şekil 5.44. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş %15 boraks ilaveli numunelerin yaşlandırma testi sonuç grafiği.

Haddelenmiş numunelerin üst, paralel ve dik yüzeylerinden ayrı ayrı 5 farklı noktadan ölçüm alınarak toplam her numuneden 15 ölçüm alınmıştır. Grafiklerde bu değerlerin ortalamaları (kütlesel sertlik) verilmiştir. Haddelenmemiş numuneler ise bir yüzeyinden 5 farklı yerden sertlik alınmış ve ortalama hesaplanarak grafiklerde gösterilmiştir.

Şekil 5.45’de ısıtıl işlem uygulanmadan önce haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin sertlik değerleri verilmiştir. Şekil 5.45’de görüldüğü gibi en yüksek sertlik değeri 84.11 HB olarak %15 borakslı %80 oranında haddelenmiş numunede bulunmuştur. En düşük sertlik değeri ise 65,54 HB olarak %30 borakslı %50 oranında haddelenmiş numunede bulunmuştur. %30 ve %15 boraks ilaveli numuneler ana Al7075 numunesinin sertlik değerleriyle karşılaştırıldığında %15 boraks ilavesi sertliği 81.64 HB’den 83.76 HB’ye kadar arttırdığını yani %2.5 sertlik değişikliği pozitif olarak oluştuğu, %30 boraks ilavesi ise sertliği 81.64 HB’den 66 HB’ye kadar düşürdüğü yani %19 sertlik değişikliği negatif olarak oluştuğu görülmüştür. %15 borakslı numunenin sertliğini uygulanan %50 oranında haddeme işlemiyle 83.76 HB’den 79.22 HB’ye düşürürken, %80 oranına kadar haddelenmesiyle ise 84.11 HB’ye kadar arttırdığı görülmüştür. %30 borakslı numunelerin sertliğini ise uygulanan %50 haddeme oranı ile 66 HB’den 65.54 HB’ye düşerken yani % 0.7 sertlik

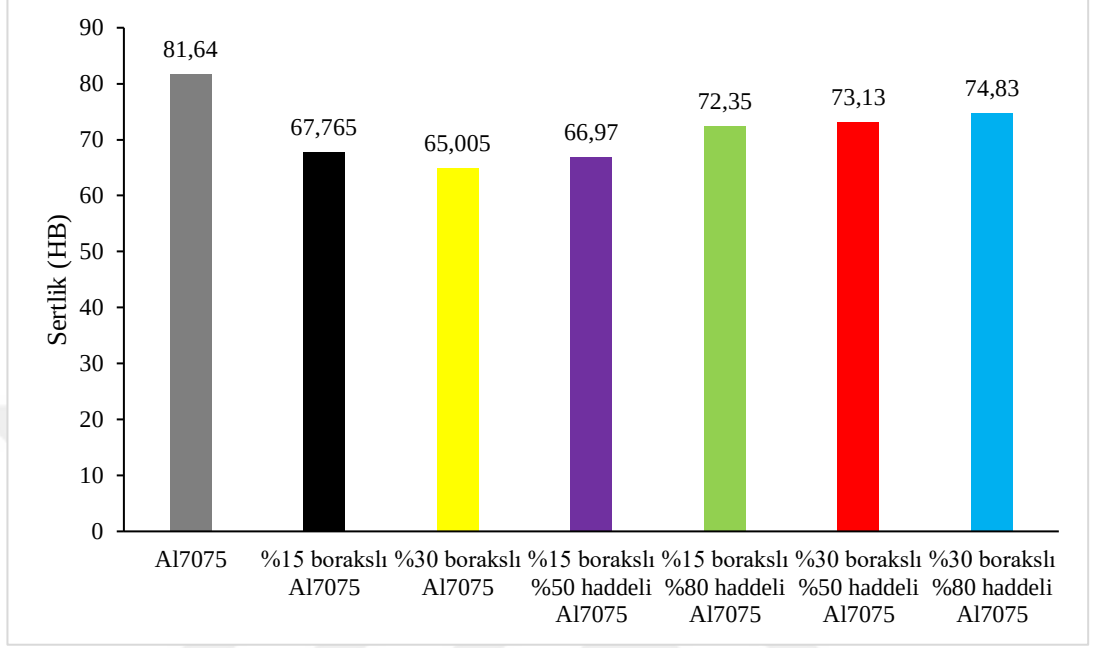
değişikliği negatif olarak oluşurken, %80 oranına kadar haddelenmesiyle ise 70.89 HB'ye kadar yükseldiği yani %7 sertlik değişikliği pozitif olarak oluştuğu görülmüştür.



Şekil 5.45. Isıl işlem görmemiş haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik ölçümü sonuçları.

Boraks ilaveli haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik değerleri T6 ısıl işlem uygulanmasıyla Şekil 5.46'da görüldüğü gibi düştüğü gözlemlenmiştir. 83.76 HB sertlik değerine sahip %15 borakslı numunenin T6 ısıl işlemi uygulanmasıyla 67.76 HB sertlik değerine düştüğü yani %19.1 oranında negatif bir sertlik değişikliği meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu değişiklik %30 borakslı numunede %1.5 oranında oluşmuştur. Haddeleme işleminin ardından T6 ısıl işleminin uygulanması, %15 boraks ilaveli numunelerde sertliği düşürürken %30 boraks ilaveli numunelerde arttırmıştır. %50 haddeleme işlemi uygulamasının ardından uygulanan T6 ısıl işleminin %15 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini %15.4 oranında negatif olarak değiştirdiği, %30 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini ise %10.4 oranında pozitif olarak değiştirdiği görülmüştür. %80 haddeleme işlemi uygulamasının ardından uygulanan T6 ısıl işleminin %15 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini %14 oranında negatif olarak değiştirdiği, %30 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini ise %5.3 oranında pozitif olarak değiştirdiği görülmüştür. T6 ısıl işlem uygulandıktan sonra en yüksek sertlik değeri 74.83 HB olarak %30 boraks ilaveli %80 oranında

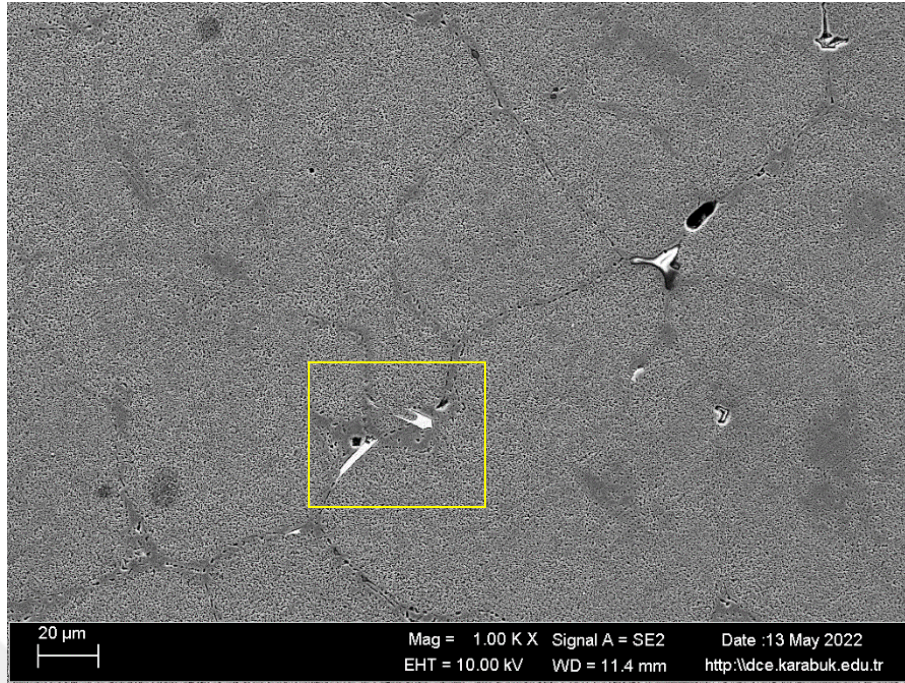
haddenmiş numunede bulunduğu, en düşük sertlik değeri ise 65 BH olarak %30 borakslı numunede olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.46. 72 saat T6 ısıt işlem görmüş haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik ölçümü sonuçları.

5.4. SEM ANALİZİ

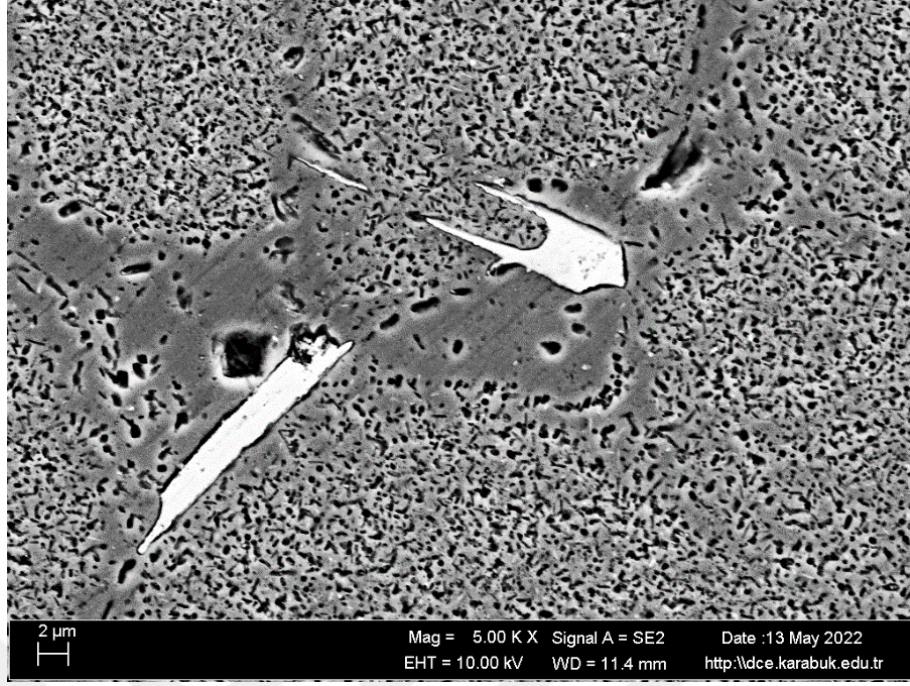
Bu bölüm içerisinde yapılan Sem analizi incelenmiştir. Saf Al7075 numunesinin 1 K X görüntüsü Şekil 5.47.a'da gösterilmiştir. Dik dörtgen ile belirtilen bölgeye 3 K X büyütmede görüntü alınıp Şekil 5.47.b'de gösterilmiştir. Şekil 5.47.b'de gösterilen mikroyapı görüntüsü 5 KX büyütme ile Şekil 5.47.c'de ve 10 KX büyütme ile SEM görüntüsü Şekil 5.47.d'de gösterilmiştir.



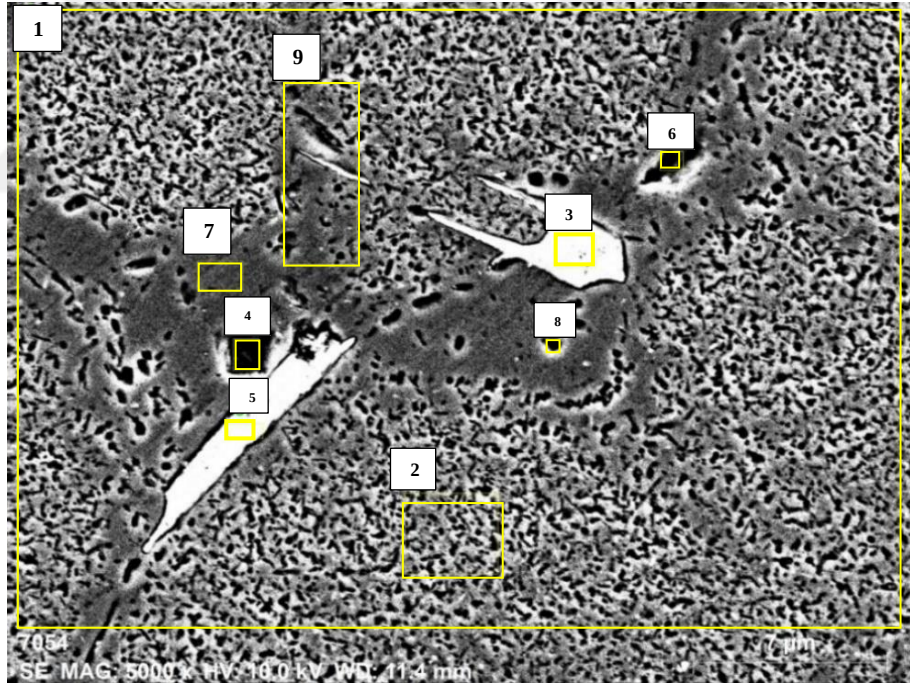
(a)



(b)



(c)



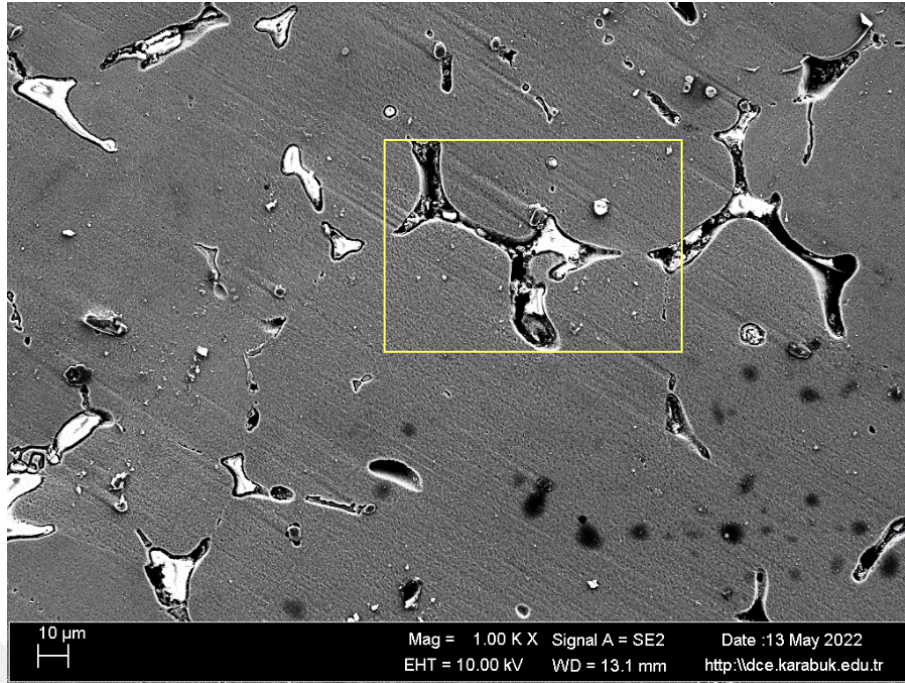
(d)

Şekil 5.47. Saf Al7075 SEM görüntüsü; (a) Saf Al7075 1 K X büyütme SEM görüntüsü. (b) Saf Al7075 3 K X büyütmeyle SEM görüntüsü. (c) Saf Al7075 5 K X büyütmeyle SEM görüntüsü. (d) Saf Al7075 5 K X büyütmeyle EDX analizi.

Çizelge 5.3. Saf Al7075 için Şekil 5.47.(d) üzerinde dikdörtgenlerle belirtilen alanlardan alınan spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	0.00	2.93	84.38	0.00	0.00	0.09	0.43	0.72	0.35	4.35	6.76
2	0.00	2.86	84.49	0.05	0.16	0.11	0.95	0.00	0.00	4.17	7.22
3	0.00	0.64	11.14	0.37	0.00	0.04	0.00	0.00	0.71	87.11	0.00
4	0.00	1.76	67.04	0.00	0.06	0.08	0.24	0.00	1.65	24.43	4.73
5	0.00	1.21	34.84	0.22	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	61.40	2.32
6	0.00	2.64	85.31	0.39	0.00	0.00	0.00	1.10	0.18	3.73	6.66
7	0.00	2.82	85.47	0.00	0.10	0.00	0.04	0.02	0.82	3.57	7.16
8	0.00	3.40	83.82	0.00	0.07	0.15	0.05	0.18	0.05	3.55	8.71
9	0.00	2.85	83.52	0.00	0.00	0.00	0.00	0.65	0.62	5.53	6.83
Ort. değeri:	0,00	2.34	68.89	0.11	0.04	0.05	0.19	0.30	0.49	21.98	5.60
Sigma:	0,00	0.93	27.30	0.17	0.06	0.06	0.32	0.42	0.54	31.05	2.78
Sigma ort.:	0,00	0.31	9.10	0.06	0.02	0.02	0.11	0.42	0.18	10.35	0.93

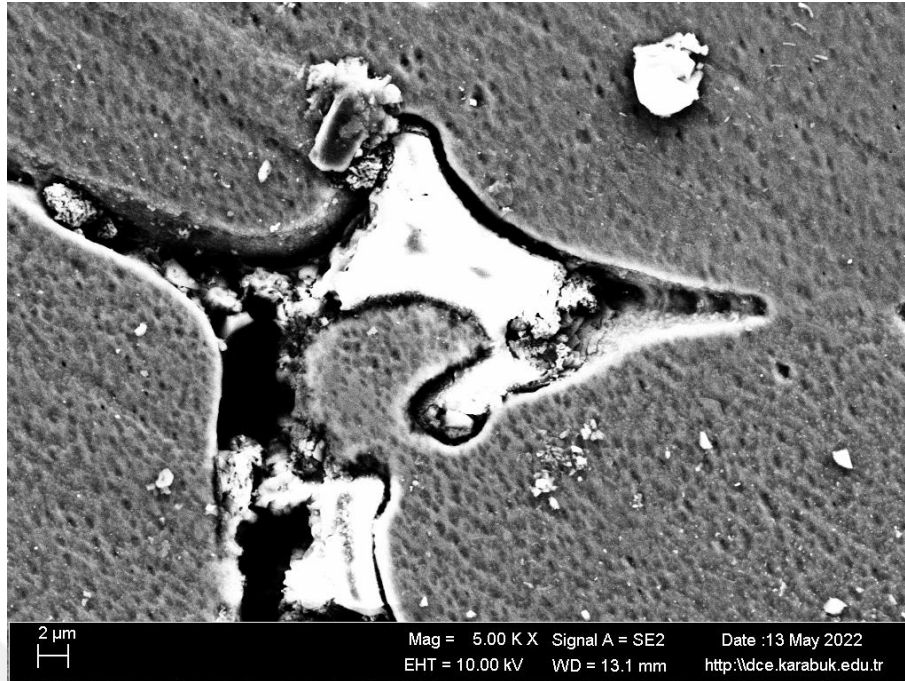
Matris malzemesi olarak kullanılan saf Al7075 yukarıdaki Şekil 5.47.b ile gösterilen ve dikdörtgenlerle belirtilen bölgelerde içerdiği elementler incelendiğinde Al oranı ortalama %68.89 en fazla %85.47 oranda 7 numaralı bölgede bulunmuştur. Cu ortalama oranı %21.98 en fazla %87.11 oranda 3 numaralı bölgede bulunmuştur. Ortalama Mg oranı ise %2.34 en fazla % 3.40 oranda 8 numaralı bölgede bulunmuştur. Zn ise ortalama oranı %5.60 en fazla 8.71 oranda 8 numaralı bölgede bulunmuştur. Bu değerler yapılan XRF incelemelerini doğrulamaktadır.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



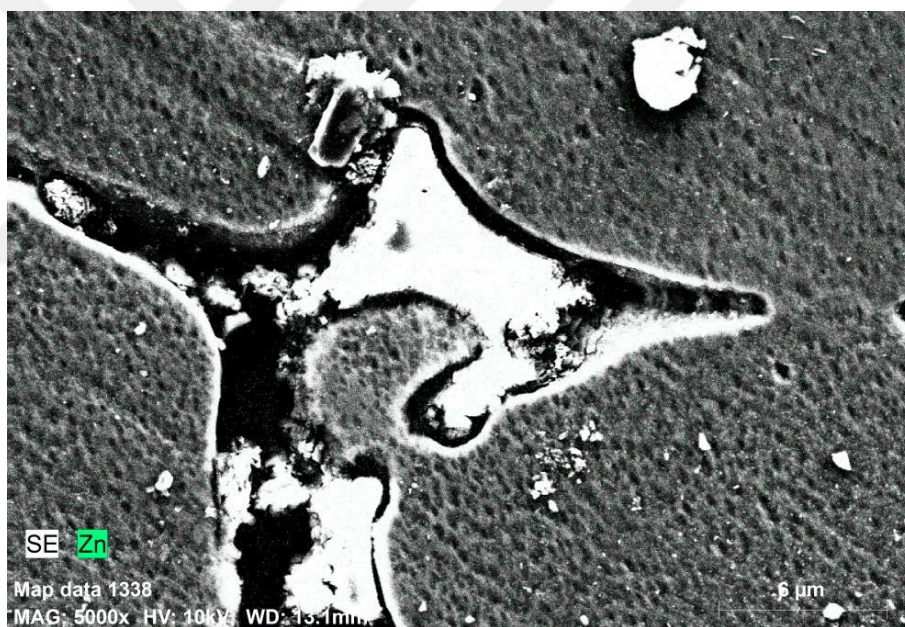
(g)



(h)



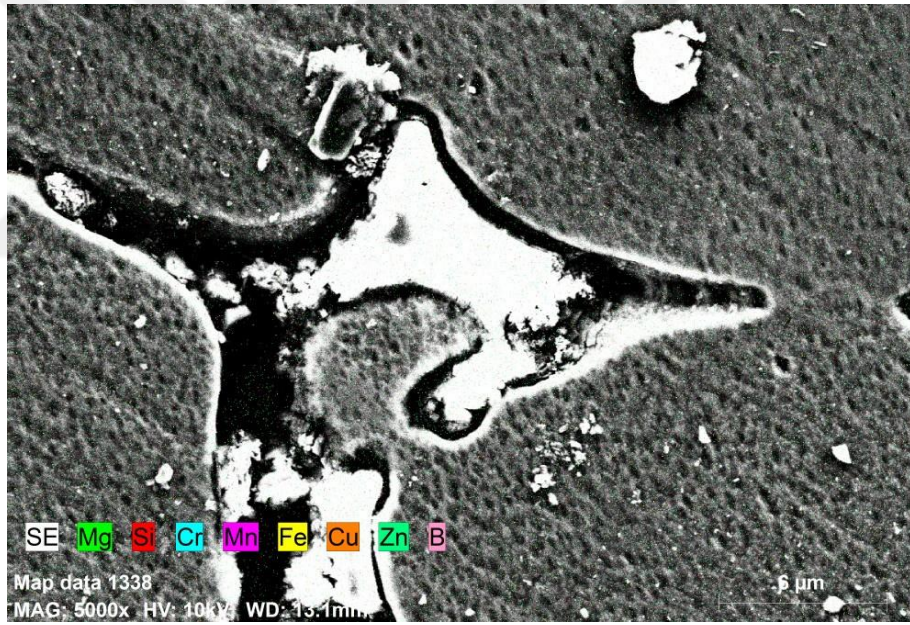
(i)



(j)



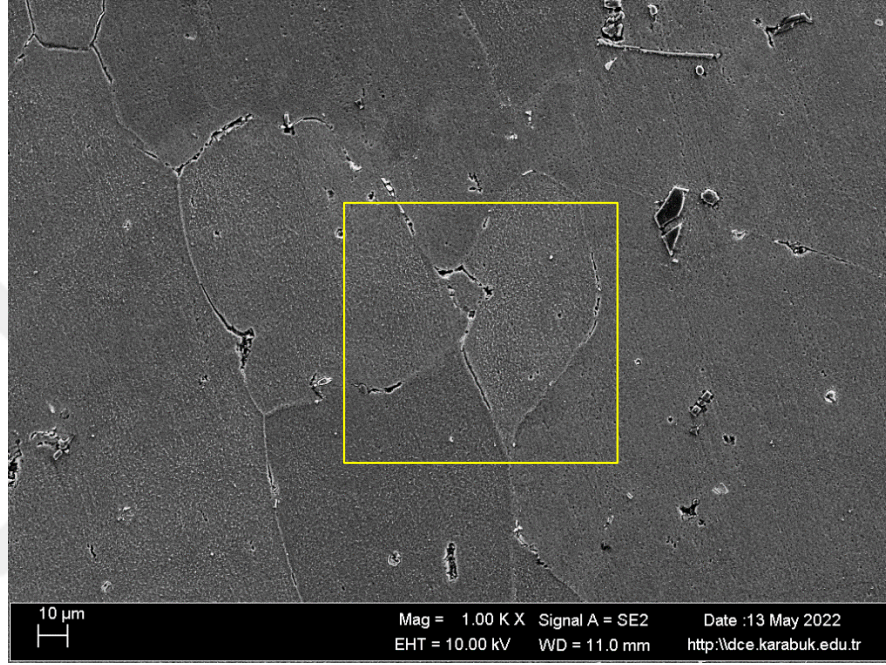
(k)



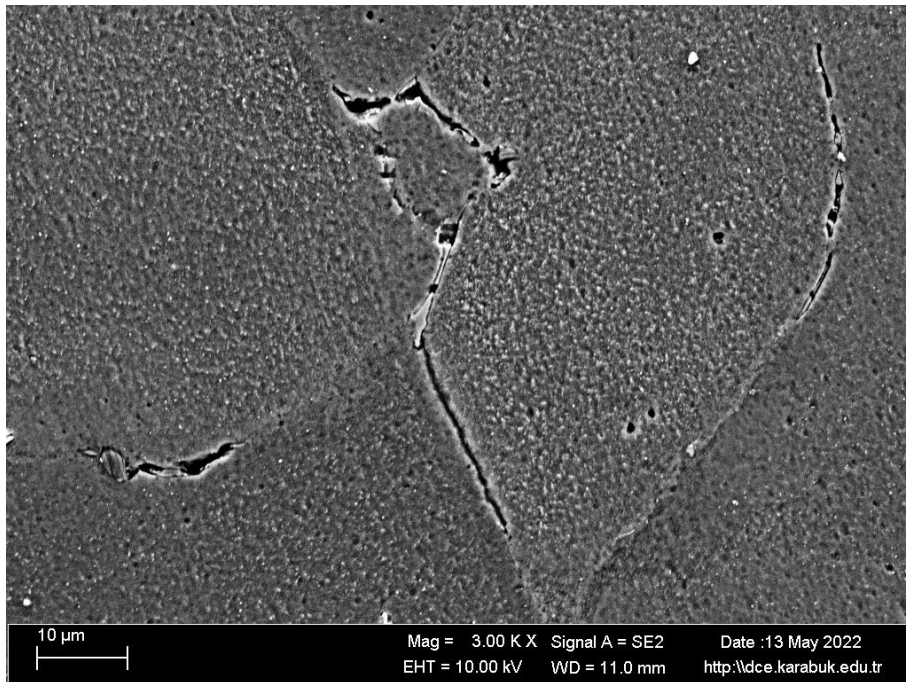
(l)

Şekil 5.48. %15 boraks ilaveli Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.48.a'daki dikdörtgen bölgesinin 3 K X büyütme ile alınan görüntüsü; (c) Şekil 5.48.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüsü; (e) Si elementinin mapping görüntüsü; (f) Cr elementinin mapping görüntüsü; (g) Mn elementinin mapping görüntüsü; (h) Fe elementinin mapping görüntüsü; (i) Cu elementinin mapping görüntüsü; (j) Zn elementinin mapping görüntüsü; (k) B elementinin mapping görüntüsü; (l) bütün elementlerin gösterimi.

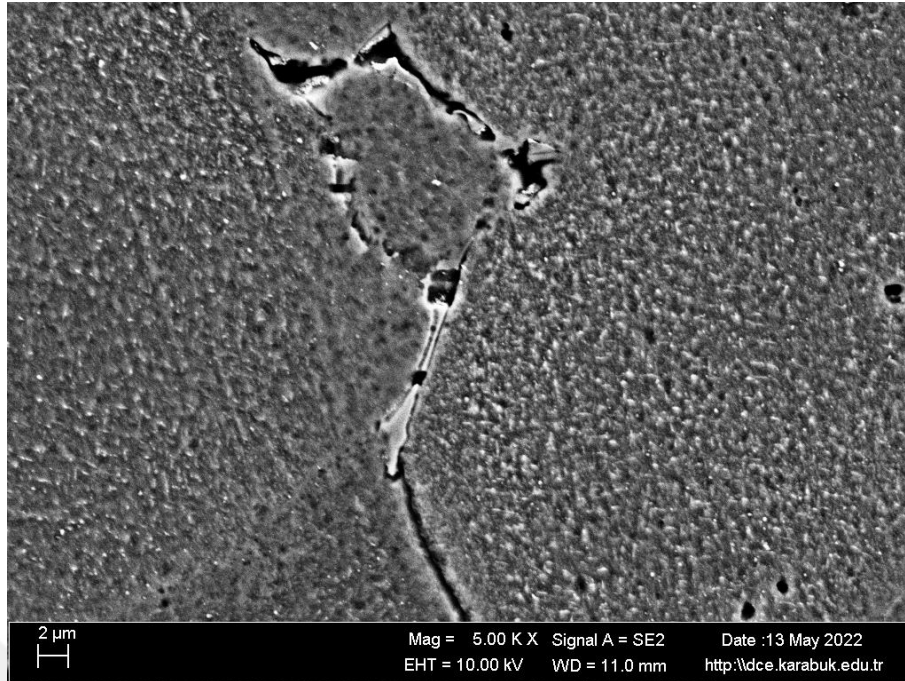
%15 boraks ilaveli Al7075 numunesinin 1 K X makro görüntüsü Şekil 5.48.a'da gösterilmiştir. Şekil 5.48.a'da makro görüntüsünde çizilen dikdörtgen alana 3 K X yakınlaştırma ile görüntü alınmış ve Şekil 5.48.b'de gösterilmiştir. Şekil 5.48.b'deki görüntü 5 K X büyütme ile görüntü alınmış ve Şekil 5.48.c'de gösterilmiştir. Şekil 5.48.d'deki görüntü için mapping yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu Şekil 5.48.e'de gösterilmiştir.



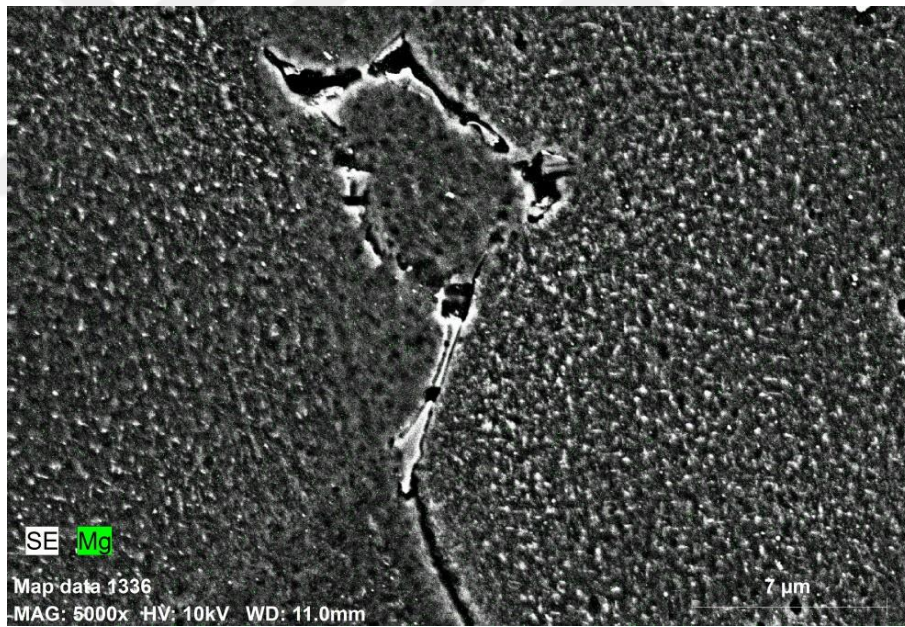
(a)



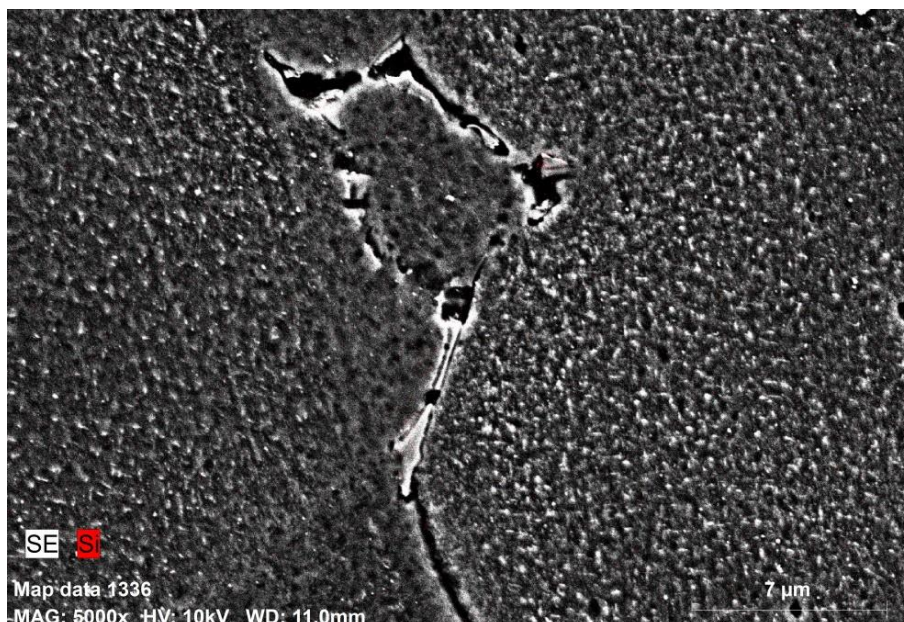
(b)



(c)



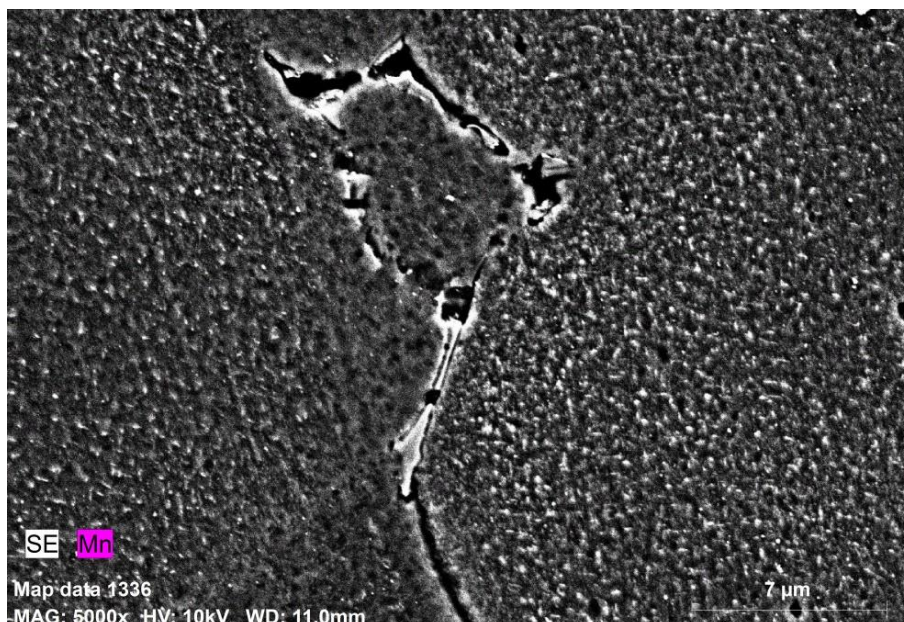
(d)



(e)



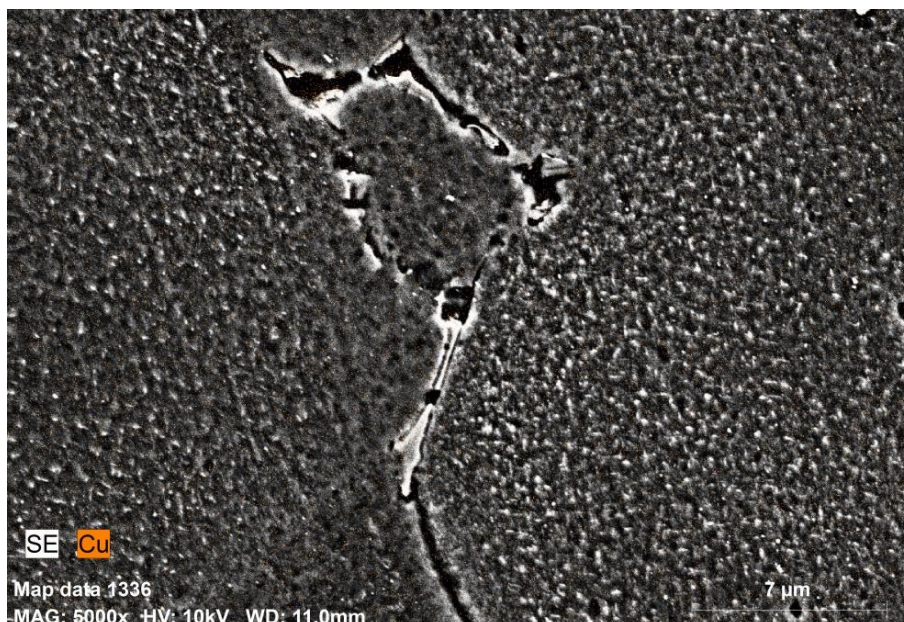
(f)



(g)



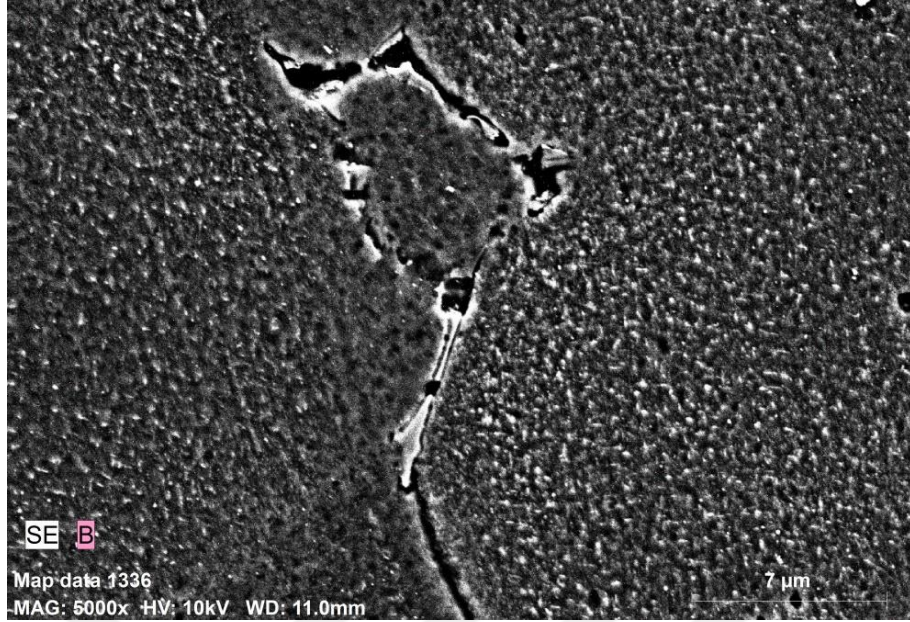
(h)



(i)



(j)



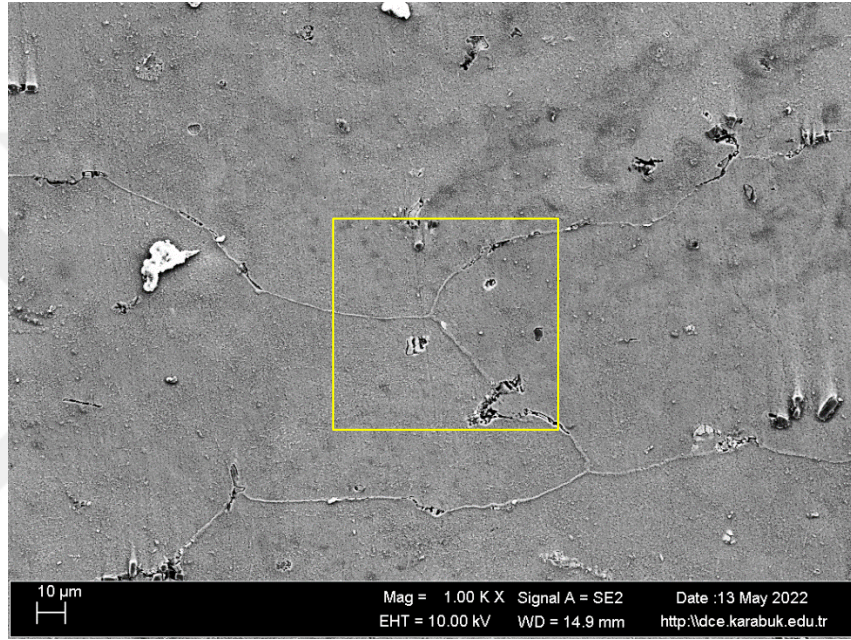
(k)



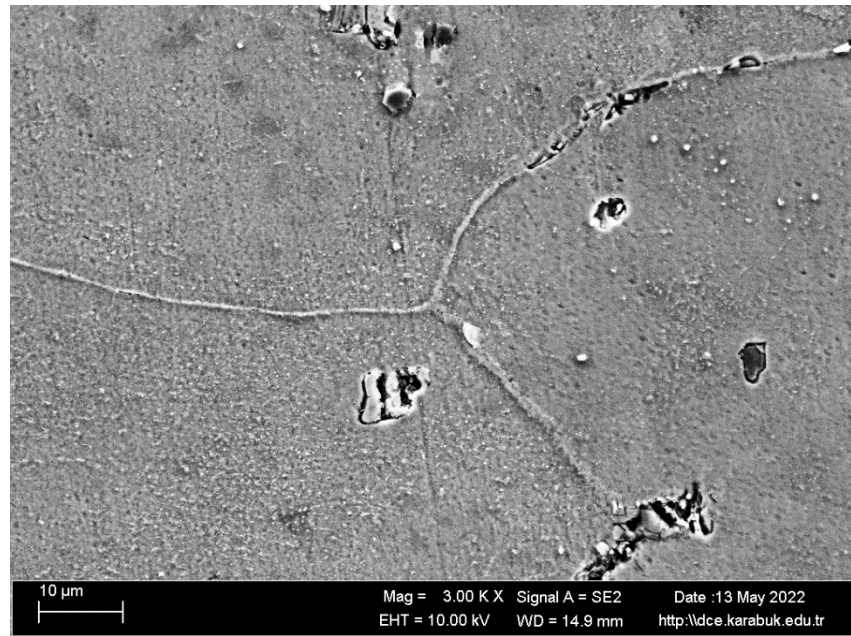
(l)

Şekil 5.49. %50 haddeli %15 borakslı Al7075 mapping görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.49.a’da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.49.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) Cr elementinin mapping görüntüleri; (g) Mn elementinin mapping görüntüleri; (h) Fe elementinin mapping görüntüleri; (i) Cu elementinin mapping görüntüleri; (j) Zn elementinin mapping görüntüleri; (k) B elementinin mapping görüntüleri; (l) bütün elementlerin mapping görüntüleri.

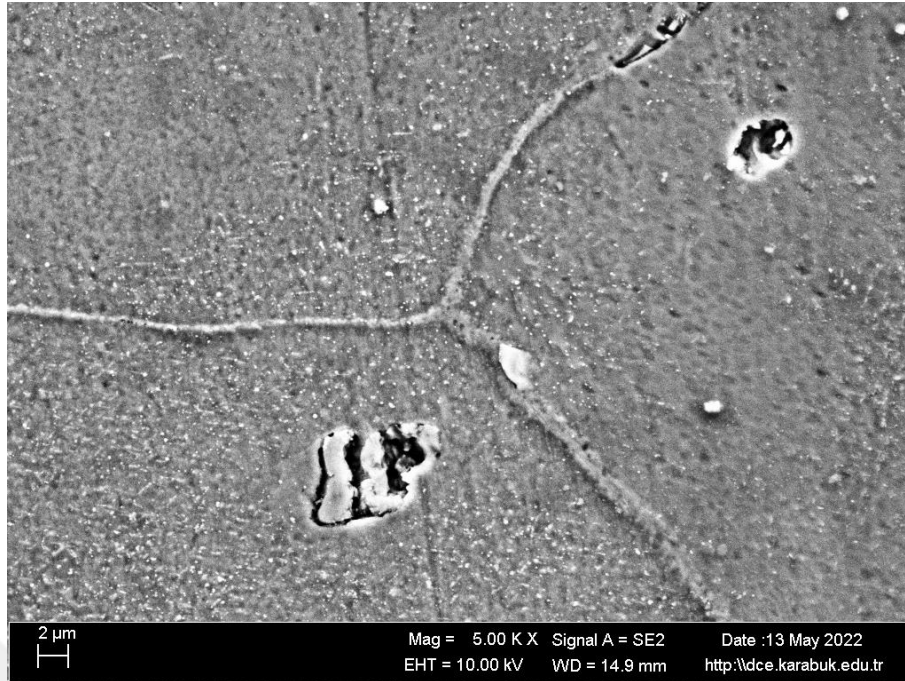
%50 haddeli %15 borakslı Al7075 numunesinin makro görüntüsü Şekil 5.49.a'da 1 K X büyütme ile gösterilmiştir. Şekil 5.49.a'da makro görüntüsünde çizilen dikdörtgen alana 3 K X yakınlaştırma ile görüntü alınmış ve Şekil 5.49.b'de gösterilmiştir. Şekil 5.49.b'deki görüntü 5 K X büyütme ile görüntü alınmış ve Şekil 5.49.c'de gösterilmiştir. Şekil 5.49.d'deki görüntü için mapping yapılmıştır. Yapılan analiz sonucu Şekil 5.49.d'de gösterilmiştir. %15 borakslı numunelerin mapping görüntülerine bakıldığında B elementinin homojen bir şekilde dağıldığı görülmüştür.



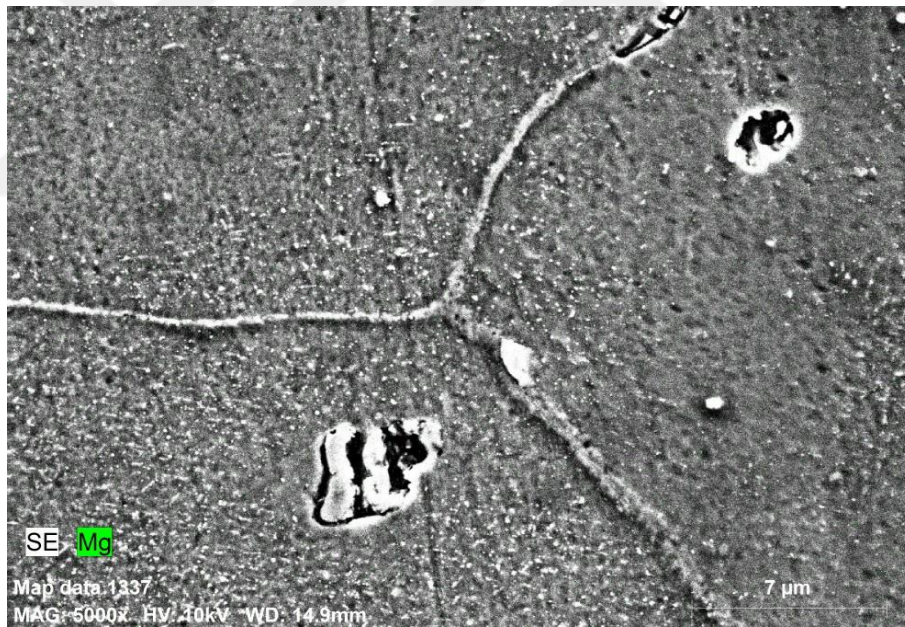
(a)



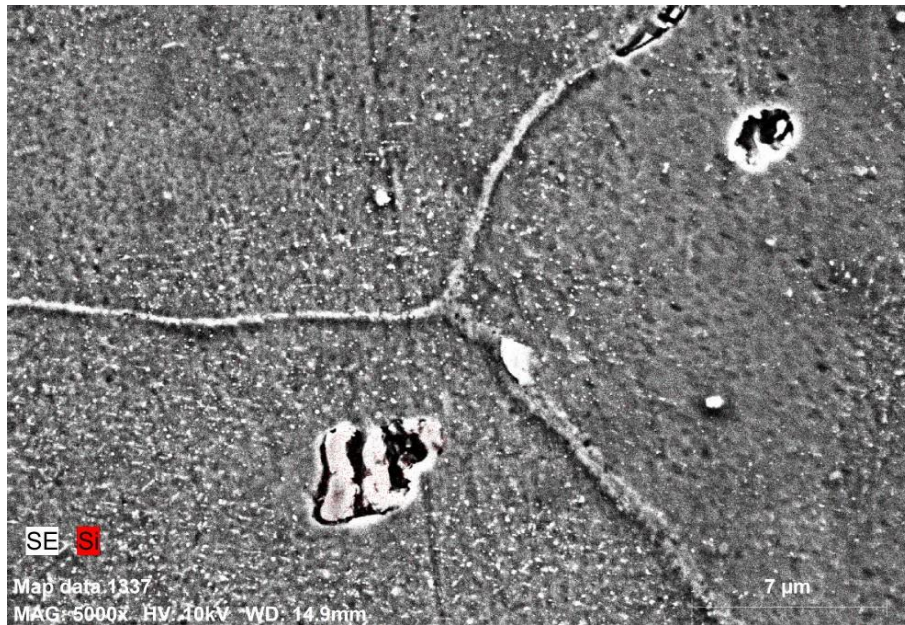
(b)



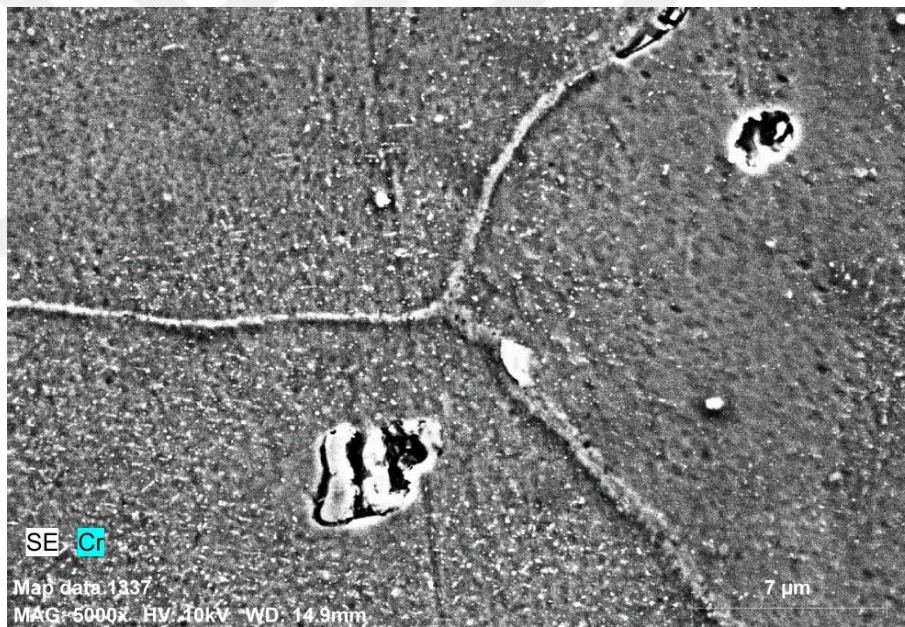
(c)



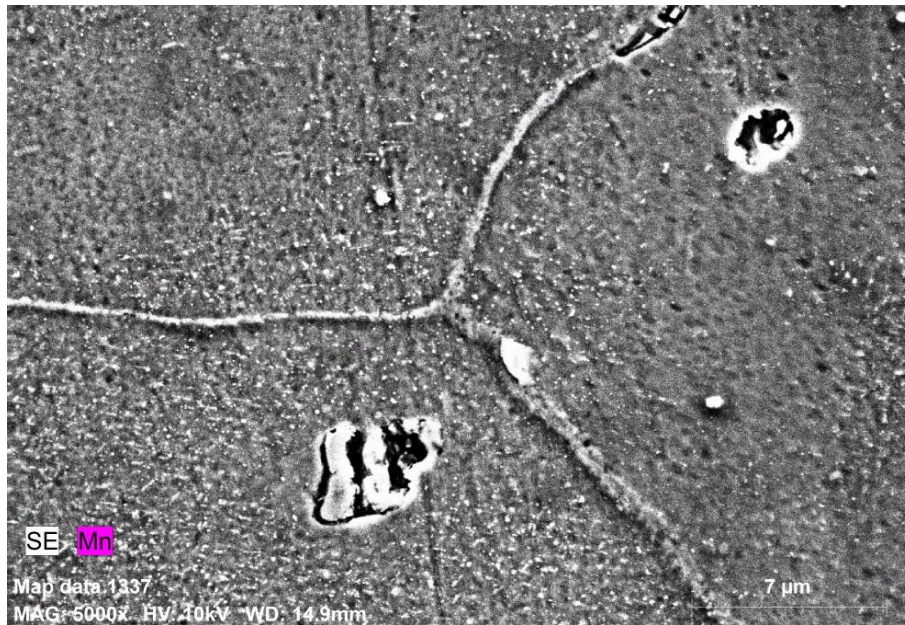
(d)



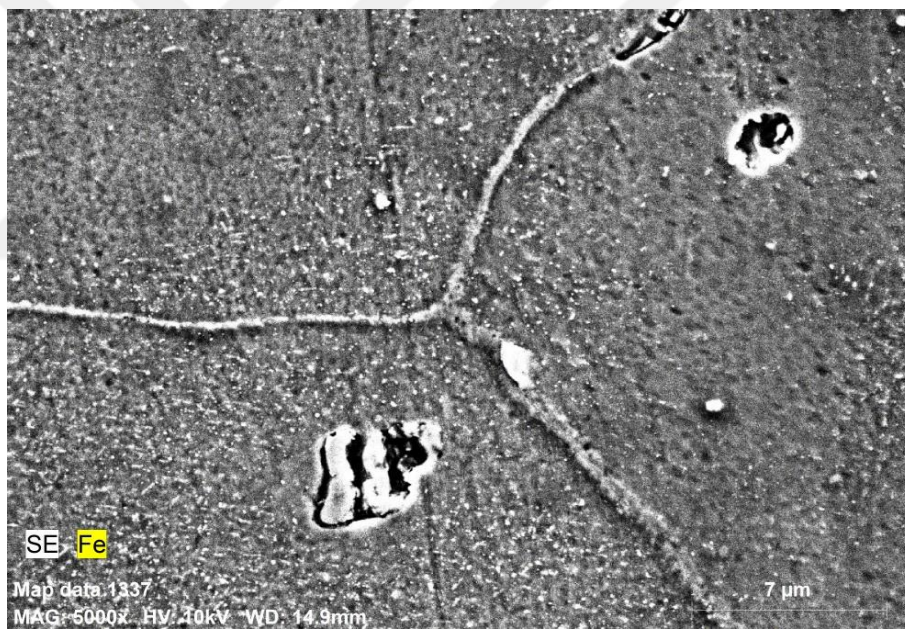
(e)



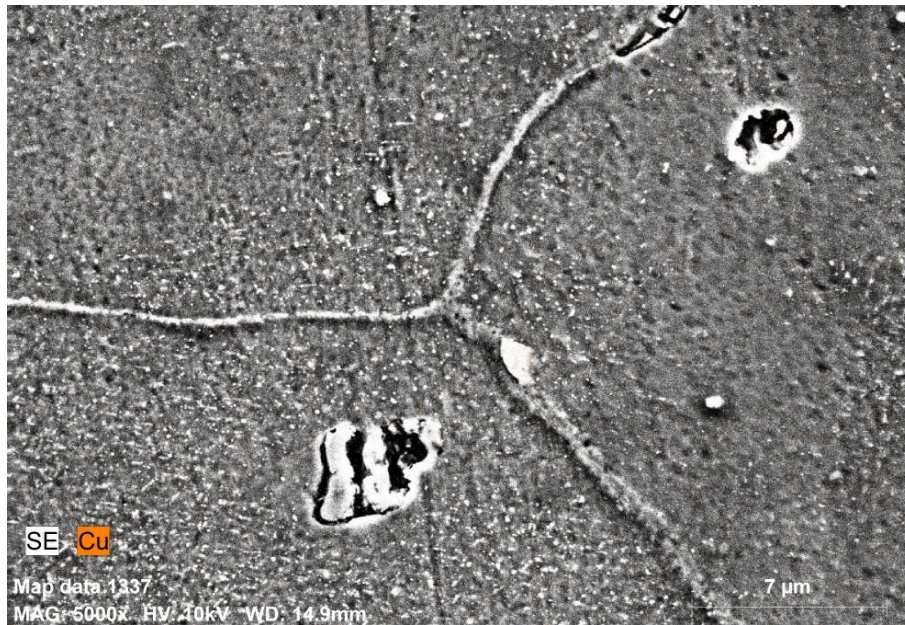
(f)



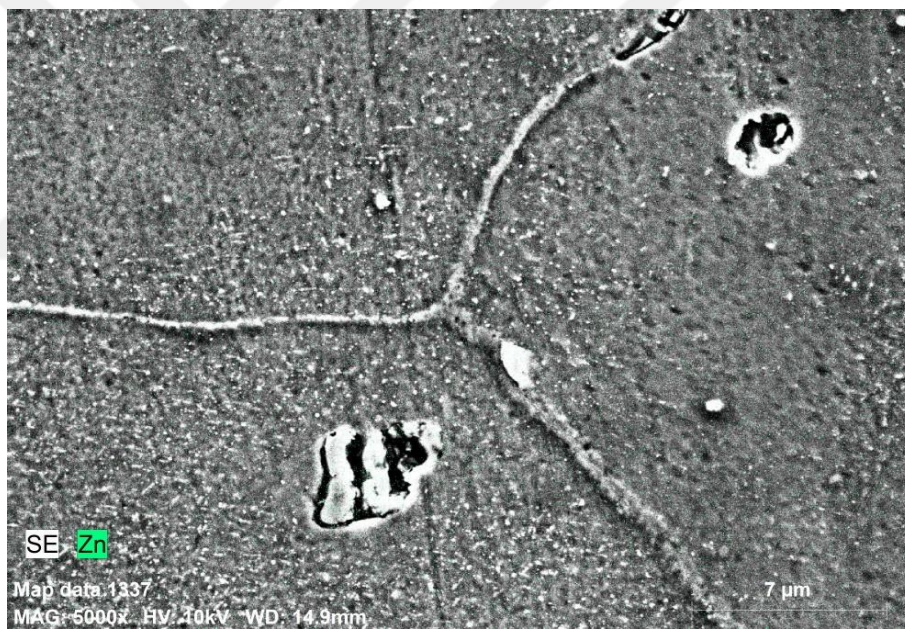
(g)



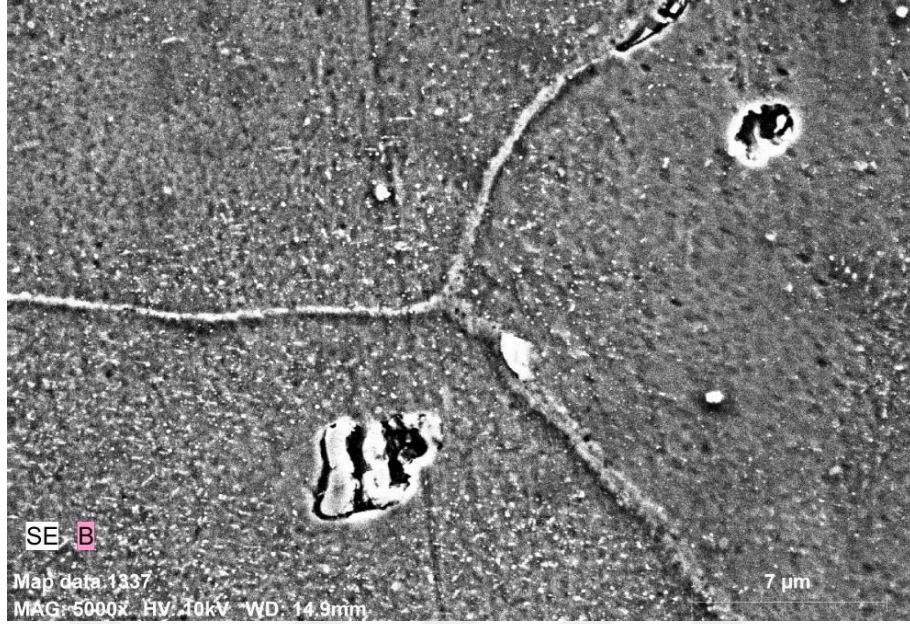
(h)



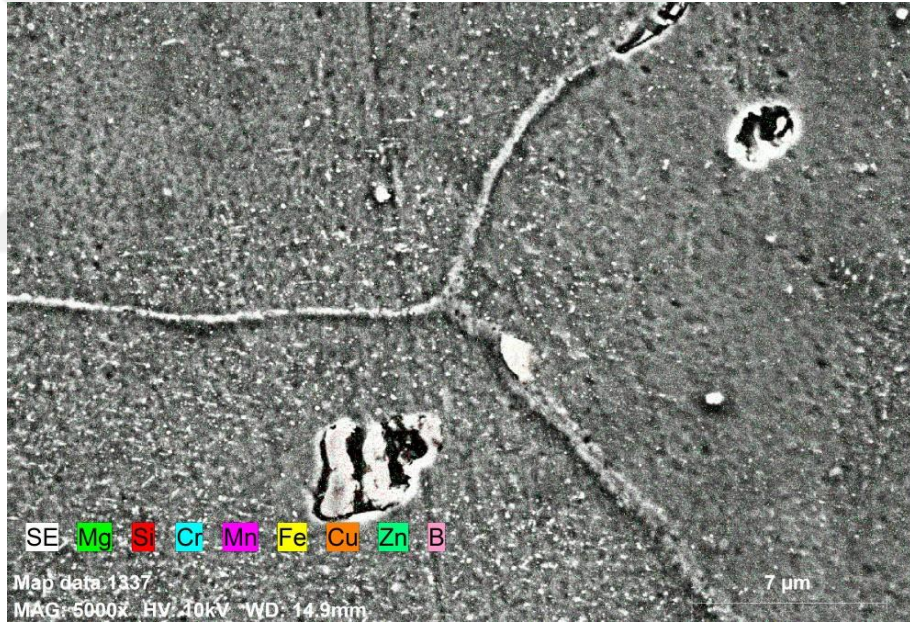
(i)



(j)

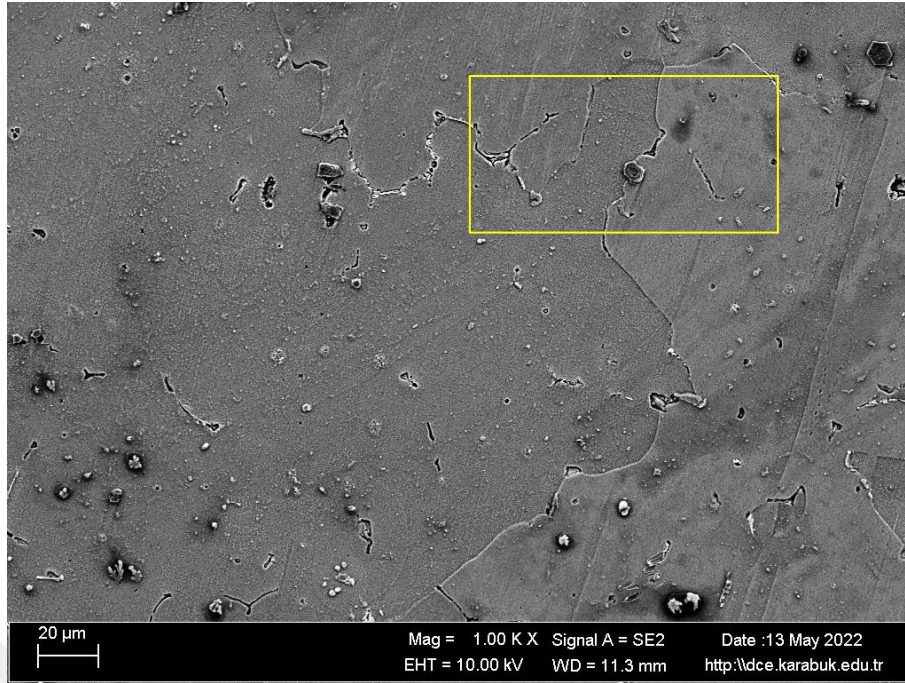


(k)



(l)

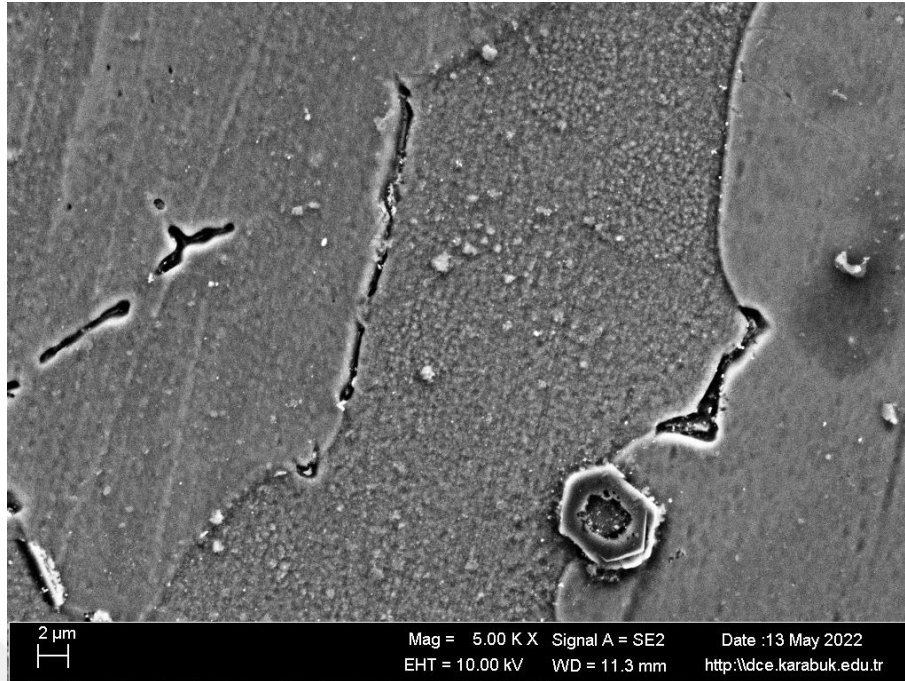
Şekil 5.50. %80 haddeli %15 borakslı Al7075 SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.50.a’da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.50.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) Mg elementinin mapping görüntüleri; (e) Si elementi mapping görüntüleri; (f) Cr elementinin mapping görüntüleri; (g) Mn elementinin mapping görüntüleri; (h) Fe elementinin mapping görüntüleri; (i) Cu elementinin mapping görüntüleri; (j) Zn elementinin mapping görüntüleri; (k) B elementinin mapping görüntüleri; (l) bütün elementlerin mapping görüntüleri.



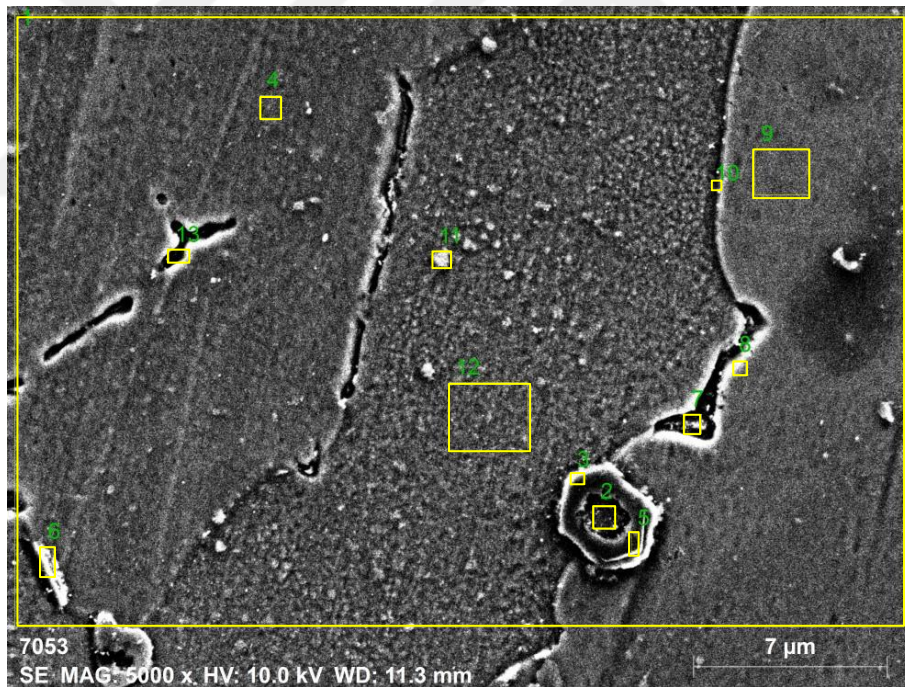
(a)



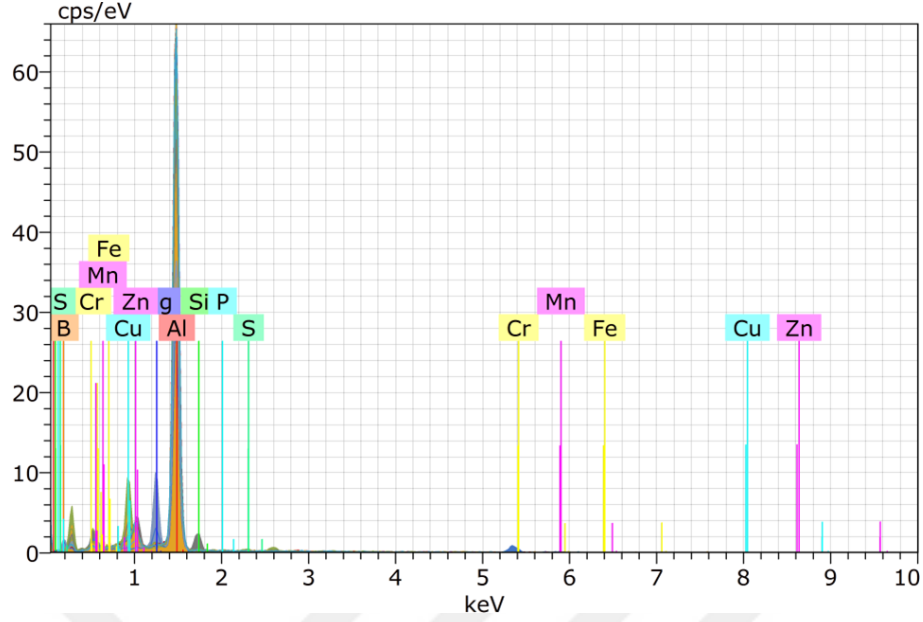
(b)



(c)



(d)



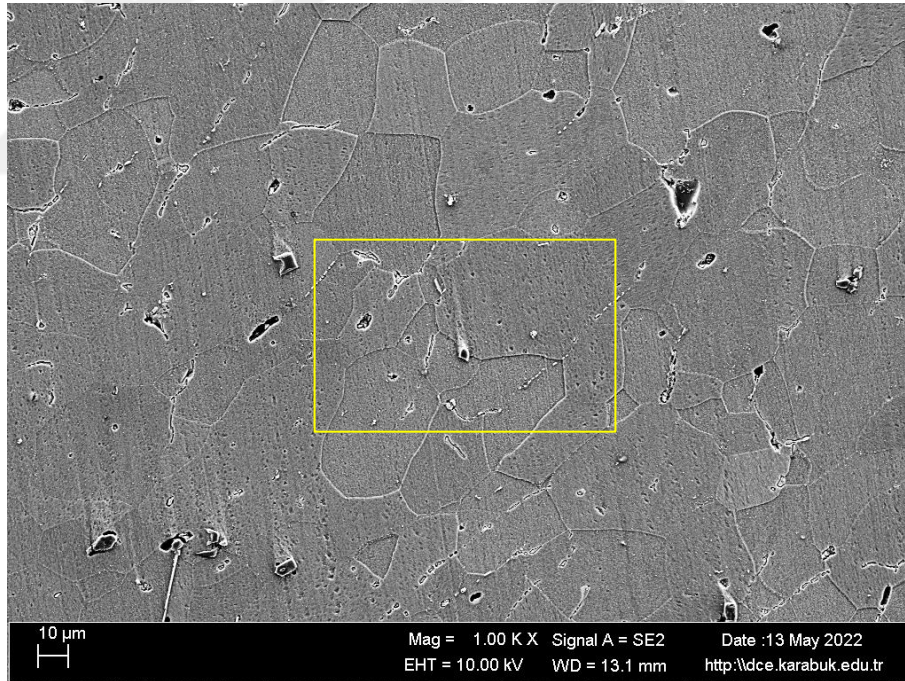
(e)

Şekil 5.51. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 numunenin SEM görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile alınan görüntü; (b) Şekil 5.51.a'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.51.b görüntüsünün 5 K X kadar büyütülmüş hali; (d) 5 K X yakınlaştırma ile alınan görüntünün EDX analizi; (e) Şekil 5.51.d'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği (f) EDX XRF analizi.

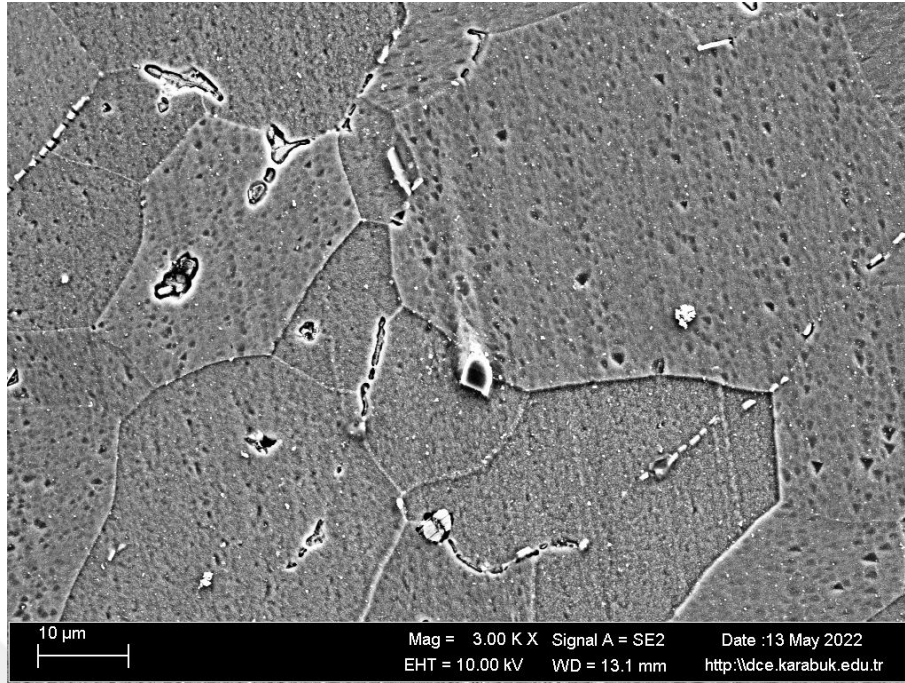
Çizelge 5.4. 72 yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı Al7075 için Şekil 5.51.d'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	16.84	0.66	71.22	0.09	0.00	0.04	0.00	0.93	0.00	3.62	6.60
2	19.18	1.05	68.69	0.00	0.04	0.04	0.33	0.19	0.00	4.61	5.85
3	51.66	8.16	36.01	0.11	0.04	0.09	0.57	0.08	0.20	1.15	1.91
4	15.77	0.84	72.47	0.00	0.14	0.09	0.00	0.00	0.76	3.34	6.58
5	49.21	2.87	31.50	0.00	0.06	0.00	13.64	1.42	0.04	0.65	0.62
6	15.12	0.88	61.92	4.87	0.00	0.02	0.00	0.30	0.00	7.82	9.08
7	22.68	0.42	45.87	0.13	0.08	0.36	0.00	0.00	0.00	23.92	6.55
8	12.30	0.75	75.98	0.01	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	3.73	7.09
9	10.57	0.73	77.70	0.03	0.03	0.17	0.19	0.00	0.00	3.51	7.08
10	12.04	0.81	76.47	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	3.49	7.07
11	16.70	0.55	67.93	0.07	0.00	0.08	0.00	0.56	0.00	7.40	6.71
12	12.67	0.71	76.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	3.74	6.82
13	16.33	0.62	62.76	0.09	0.15	0.11	0.00	1.19	1.52	11.81	5.41
Ort. değeri:	20.85	1.47	63.43	0.42	0.04	0.08	1.13	0.37	0.20	6.06	5.95
Sigma:	13.53	2.10	15.71	1.34	0.05	0.10	3.76	0.50	0.45	6.12	2.26
Sigma ort.:	3.75	0.58	4.36	0.37	0.01	0.03	1.04	0.14	0.13	1.70	0.63

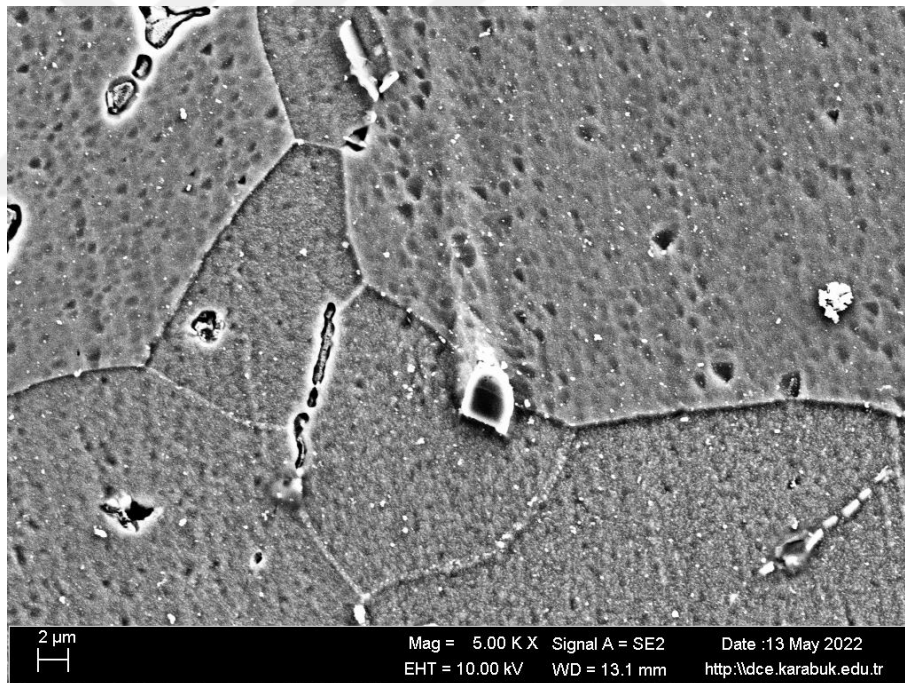
Şekil 5.51.d’de gösterilen EDX analizinin alanları incelenmiş ve Çizelge 5.4’de verilmiştir. Şekil 5.51.d’de gösterilen alanların spektral değerlerine bakıldığında B elementinin yoğun olarak 3 ve 5 numaralı alanlarda sırasıyla %51.66 ve %49.21 oranlarında bulunmaktadır. Aynı zamanda 3 ve 5 alanlarında Mg oranının yüksek olduğu görüldüğünden MgB₂ ve AlMgB₁₄ fazları oluştuğu görülebilir. En yüksek Cr oranı 5 numaralı alanda %13.64 olarak bulunmuştur. Bu alanda Cr ve B oranlarının yüksek olması CrB₂ alaşımının bulunduğu gösterebilir. Si %4.87 ve Zn %9.08 oranlarda en fazla 6 numaralı alanda bulunduğu gözlemlenmiştir. Al matris elementi en yüksek 9 numaralı bölgede %77.7 oranında bulunmaktadır. Ortalaması ise %63.43’tür. En yüksek Cu oranı 7 numaralı alanda %23.92 oranda gözlemlenmiştir. AlB₂ fazı 3 ve 5 alanlar haricindeki diğer alanlarda hemen hemen aynı oranda bulunmaktadır.



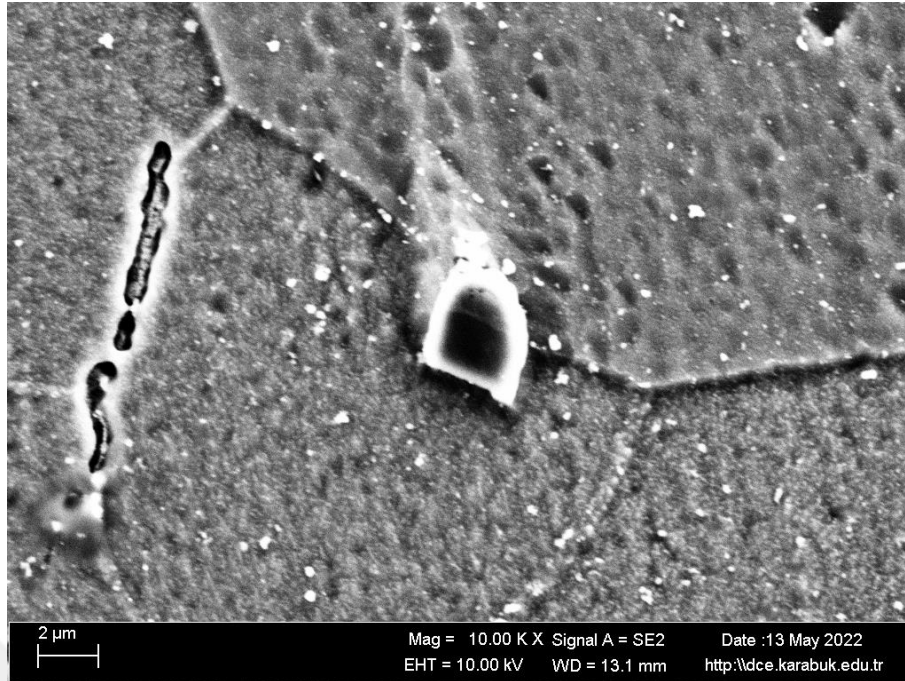
(a)



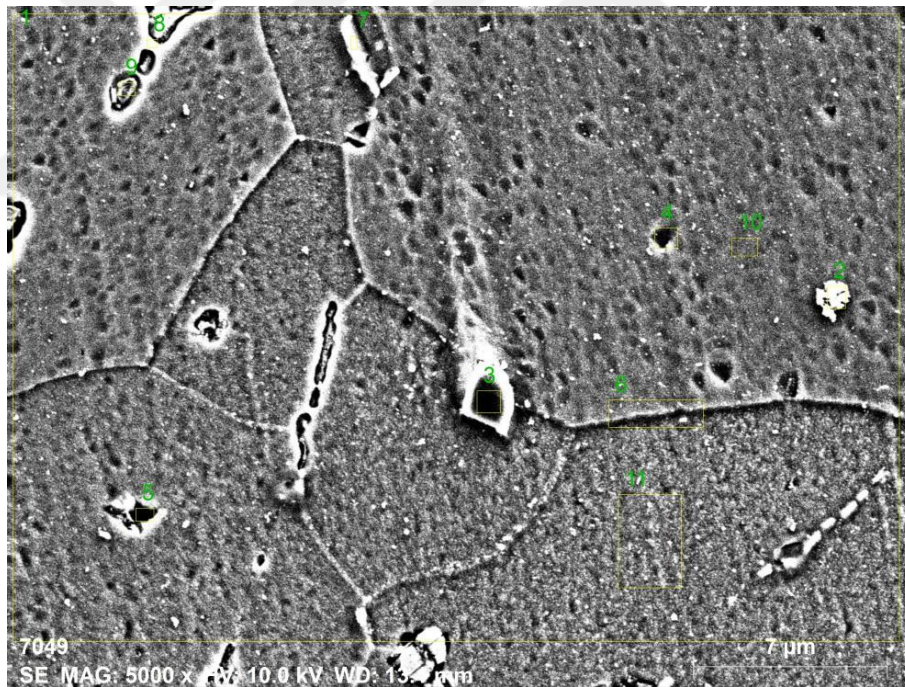
(b)



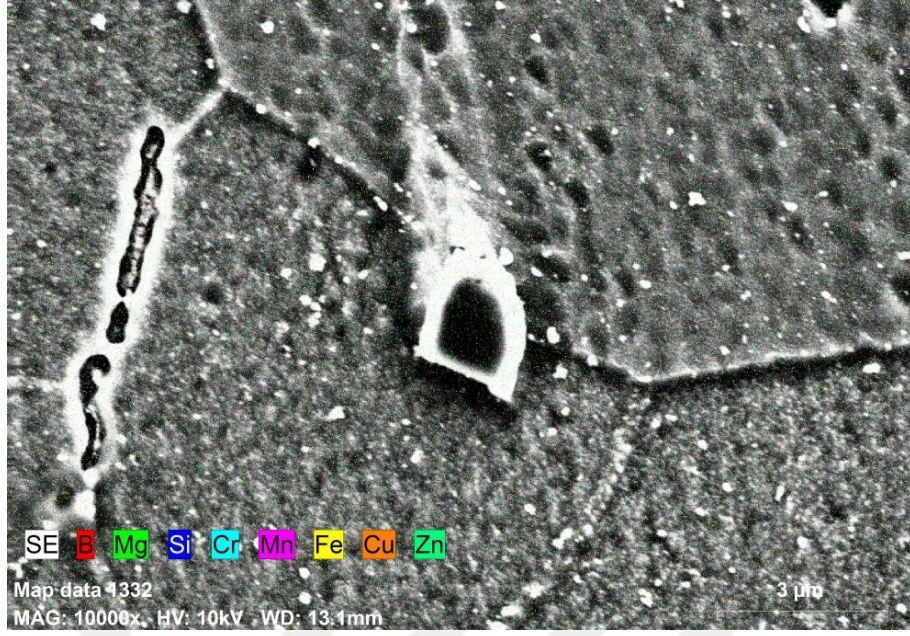
(c)



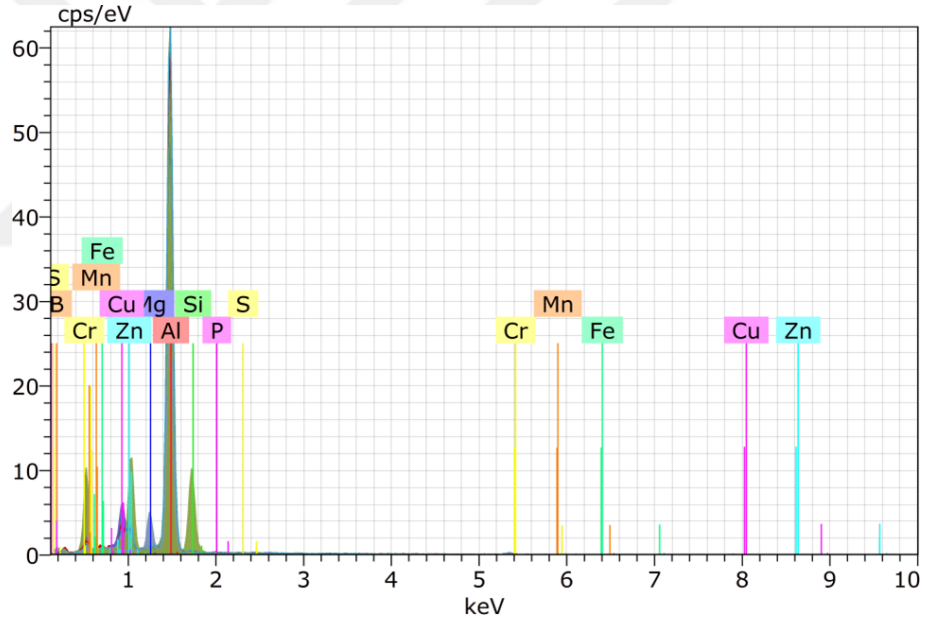
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 5.52. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütme ile SEM görüntüsü; (b) Şekil 5.52.(a)'da çizilen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.52.(b)'nin 5K X kadar büyütülmüş görüntü; (d) Şekil 5.52.(c) görüntünün 10 K X büyütmeyle görüntü; (e) Şekil 5.52.c'de 5 K X yakınlaştırma ile alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri. (g) Şekil 5.52.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği.

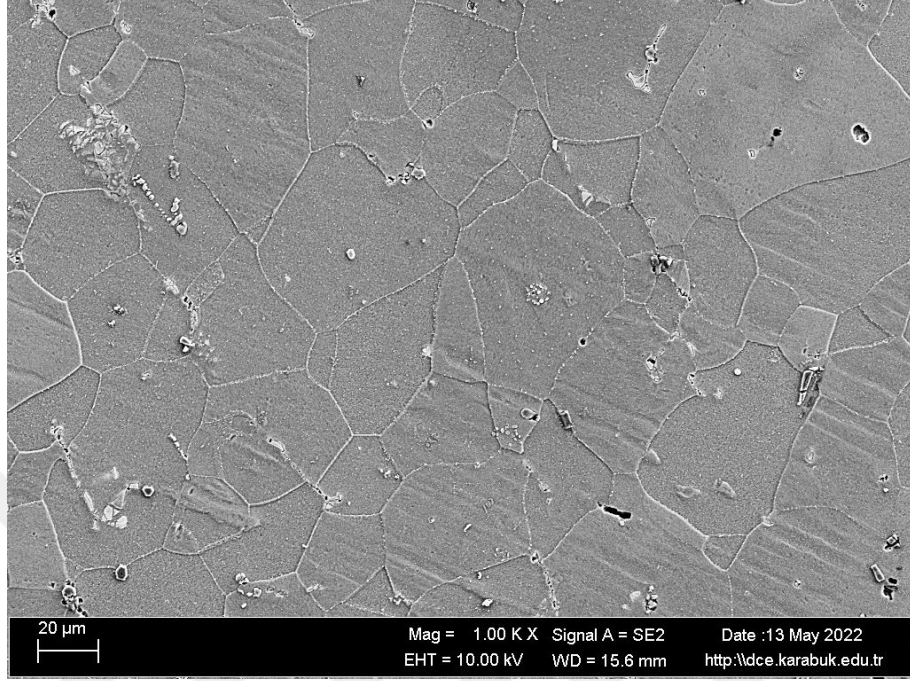
Şekil 5.52.a, 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 numunenin 1 K X büyütmeyle SEM görüntüsü gösterilmiştir., Şekil 5.52.a'da dikdörtgen ile işaretlenen bölgenin 3 K X büyütmeyle Şekil 5.22.b'de gösterilen görüntüyü temsil eder. Şekil 5.52.c'de ise Şekil 5.52.b görüntüsü 5 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.52.d'de ise Şekil 5.52.c'nin 10 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.52.c'de gösterilen 5 K X büyütmedeki görüntünün üzerinde EDX ve mapping için dikdörtgen alanlar belirlenerek Şekil 5.52.e'de gösterilmiş ve bu belirlenen alanların EDX analizi sonuç grafiği Şekil 5.52.g'de gösterilmiştir. Bütün elementlerin mapping görüntüleri Şekil 5.52.f'de verilmiştir. EDX analizinden elde edilen elementlerin oranları Çizelge 5.5.'de vermiştir.

Çizelge 5.5. 72 yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 için Şekil 5.52.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.

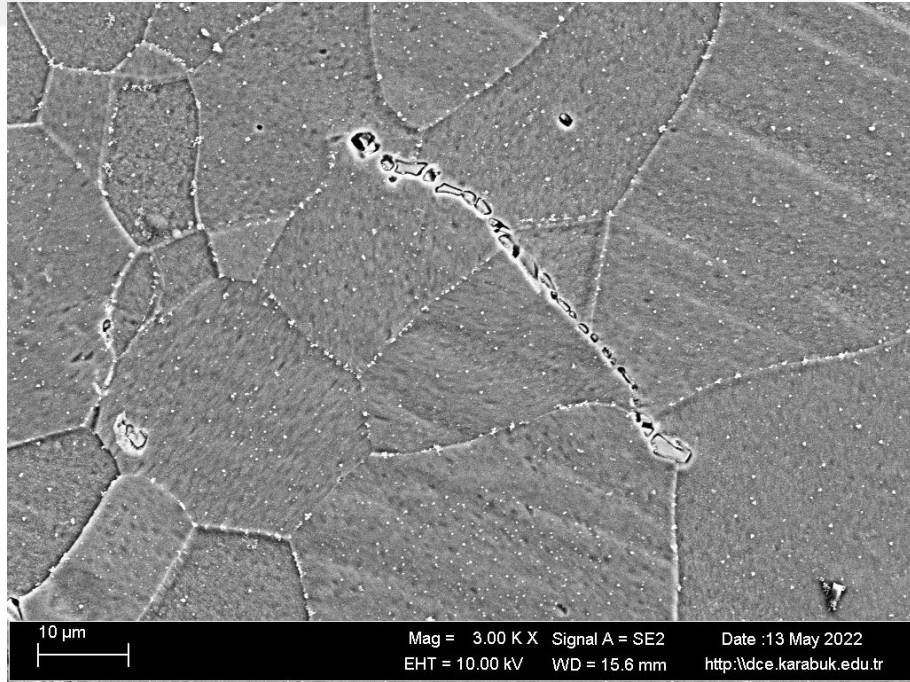
Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	9.24	0.72	76.89	0.38	0.01	0.13	0.00	0.00	0.37	4.61	7.65
2	12.07	0.63	77.59	0.26	0.07	0.00	0.00	0.00	0.01	4.37	4.99
3	45.49	6.10	41.82	0.03	0.00	0.00	5.14	0.43	0.00	0.50	0.49
4	8.93	0.78	78.05	0.07	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	4.42	7.51
5	7.37	0.71	70.81	0.57	0.08	0.00	0.21	0.04	0.00	13.58	6.62
6	7.87	0.82	78.65	0.10	0.01	0.09	0.00	0.33	0.00	4.90	7.23
7	9.23	0.70	49.28	18.62	0.05	0.12	0.06	0.23	0.00	1.17	20.54
8	14.25	0.65	69.53	0.24	0.00	0.02	0.27	0.15	0.46	8.00	6.43
9	11.34	0.64	66.50	0.11	0.17	0.00	0.00	0.00	0.07	14.95	6.22
10	6.83	0.81	80.10	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	4.34	7.70
11	5.93	0.87	79.89	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.73	7.40
Ort. değeri:	12.59	1.22	69.92	1.87	0.04	0.03	0.54	0.13	0.08	6.05	7.53
Sigma:	11.18	1.62	12.96	5.56	0.05	0.05	1.53	0.16	0.17	4.54	4.79
Sigma ort.:	3.37	0.49	3.91	1.68	0.02	0.02	0.46	0.05	0.05	1.37	1.44

Çizelge 5.5.'de görüldüğü gibi 3 numaralı alanda %45.49 oranda B elementinin yoğunlaştığı görülebilir. Aynı alanda da Mg oranını da yoğunlaştığı görüldüğünden MgB₂ ve AlMgB₁₄ fazları oluştuğu görülebilir. 3 numaralı alanın diğer bir özelliği de Cr yoğunluğunun yüksek olmasıdır. Bu alanda Cr ve Mg yoğun olması AlMg(Cr,B) bileşiğinin yoğun olarak bulunduğu ve Cr elementi ile birlikte B elementinin bu alanda yüksek olması da CrB bileşiklerinin de yoğun olarak bulunduğu göstergesidir. Zn 7 numaralı alanda 20.54 oranda yoğunlaşmıştır. 7 numaralı alanın da diğer bir özelliği

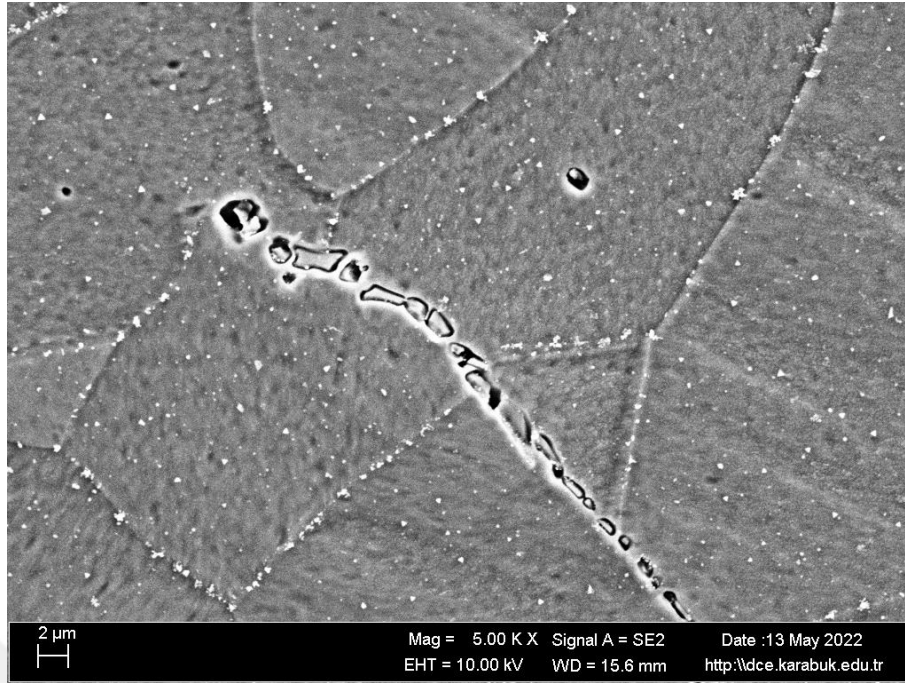
de yüksek Si oranına sahip olmasıdır. Bu alanda AlZnSi bileşiğinin oluştuğu görülebilir.



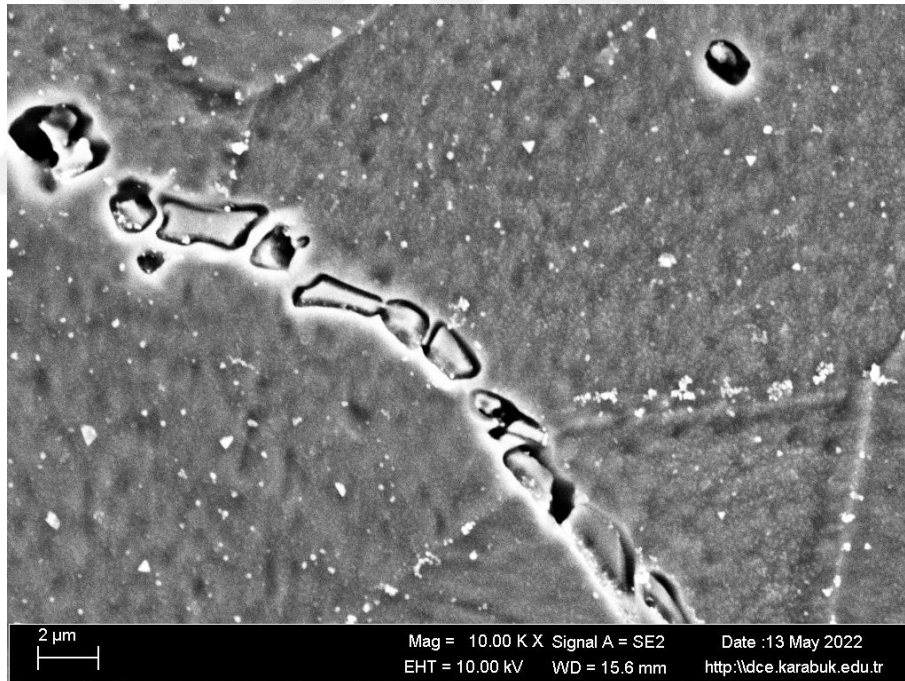
(a)



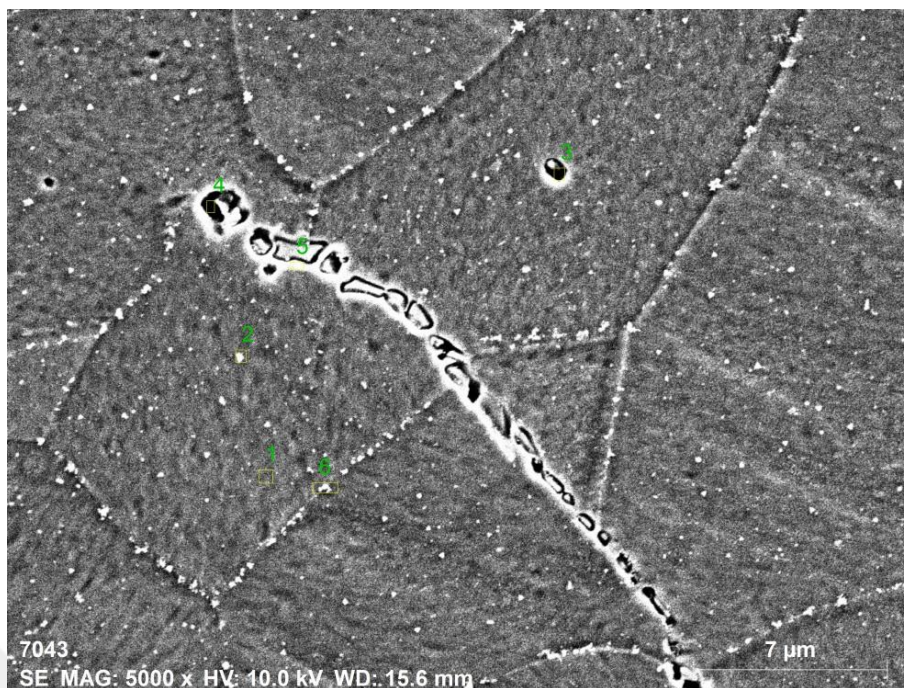
(b)



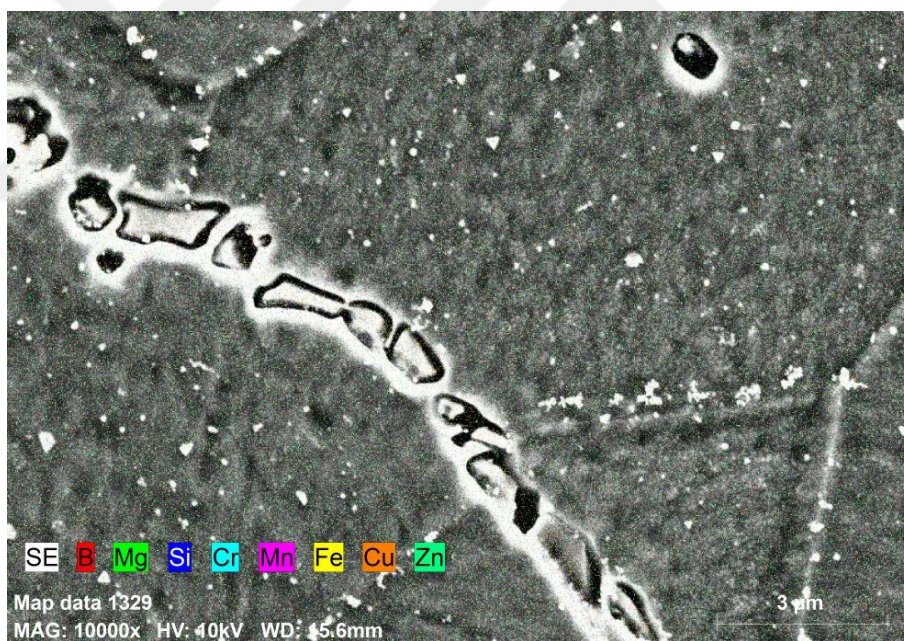
(c)



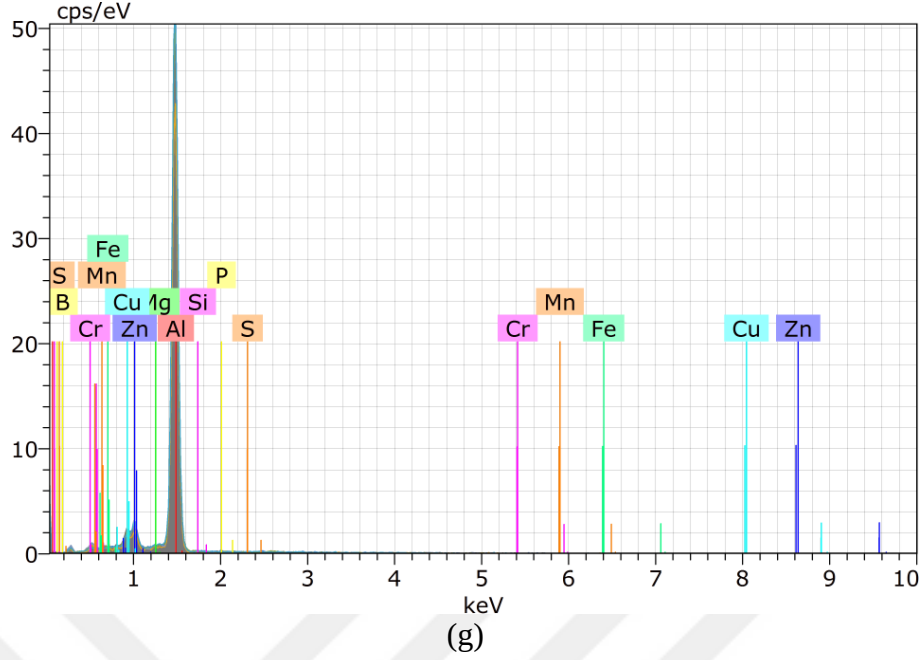
(d)



(e)



(f)



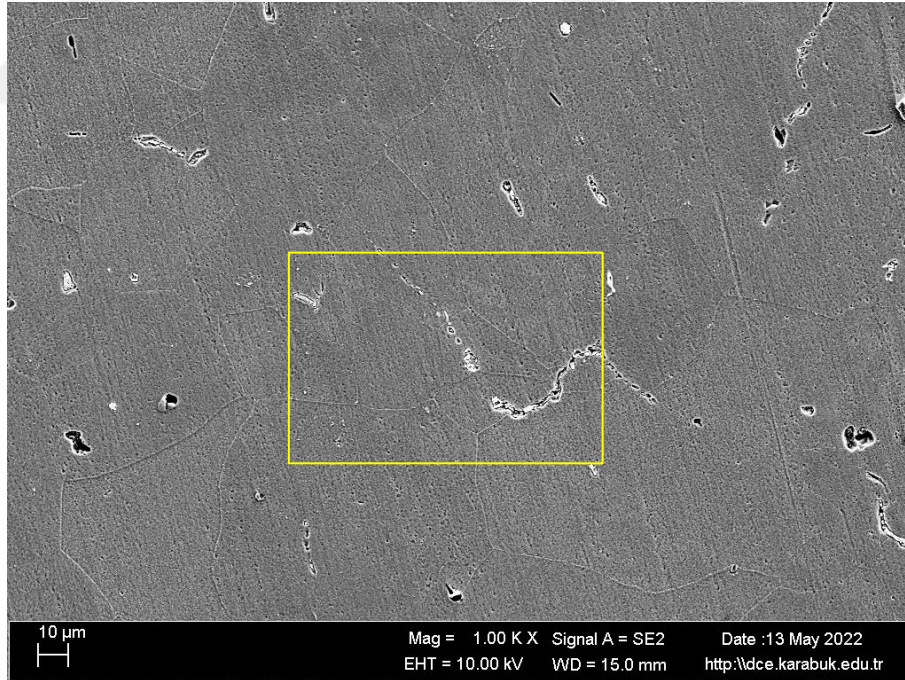
Şekil 5.53. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.53.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.53.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.53.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.53.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği.

Şekil 5.53.a, 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %15 borakslı Al7075 numunenin 1 K X büyütmeyle SEM görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.53.b'de ise numuneden 3 K X büyütmede görüntü alınmıştır. Şekil 5.53.c'de ise Şekil 5.53.b görüntüsü 5 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.53.d'de ise Şekil 5.53.c'nin 10 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.53.c'de gösterilen 5 K X büyütmedeki görüntünün üzerinde EDX ve mapping için dikdörtgen alanlar belirlenerek Şekil 5.53.e'de gösterilmiş ve bu belirlenen alanların EDX analizi sonuç grafiği Şekil 5.53.g'de gösterilmiştir. Bütün elementlerin mapping görüntüleri Şekil 5.53.f'de verilmiştir. EDX analizinden elde edilen sayısal değerleri Çizelge 5.6'da vermiştir.

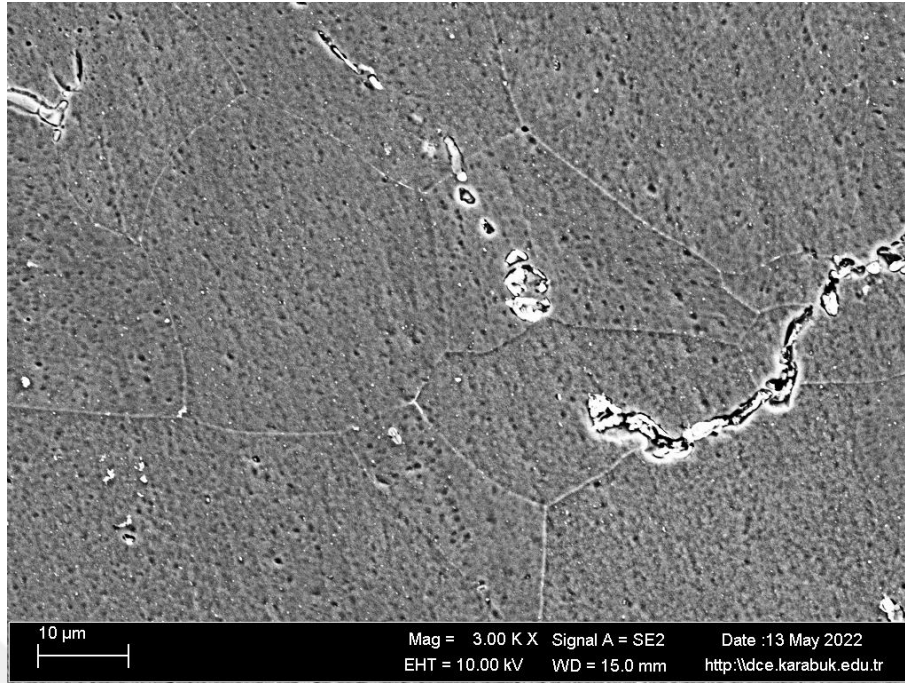
Çizelge 5.6. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %15 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.53.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	8.05	0.86	79.18	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.63	7.26
2	6.90	0.70	78.64	0.16	0.00	0.03	0.06	0.00	0.78	5.27	7.47
3	8.67	0.68	78.69	0.17	0.06	0.12	0.00	0.00	0.00	4.52	7.08
4	4.18	0.69	81.77	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.79	6.12	6.27
5	3.78	0.73	82.19	0.20	0.07	0.01	0.58	0.51	0.00	4.70	7.21
6	7.75	0.73	77.09	0.11	0.01	0.00	0.10	0.22	0.16	6.58	7.24
Ort. değer:	6.56	0.73	79.59	0.11	0.02	0.03	0.15	0.12	0.29	5.30	7.09
Sigma:	2.08	0.07	1.98	0.08	0.03	0.05	0.22	0.21	0.39	0.86	0.42
Sigma ort.:	0.85	0.03	0.81	0.03	0.01	0.02	0.09	0.09	0.16	0.35	0.17

%80 haddeli %15 borakslı yaşlandırılmış numune SEM analiz sonuçlarına bakıldığında fazlar ve elementler homojen olarak dağıldığı görülmüştür.



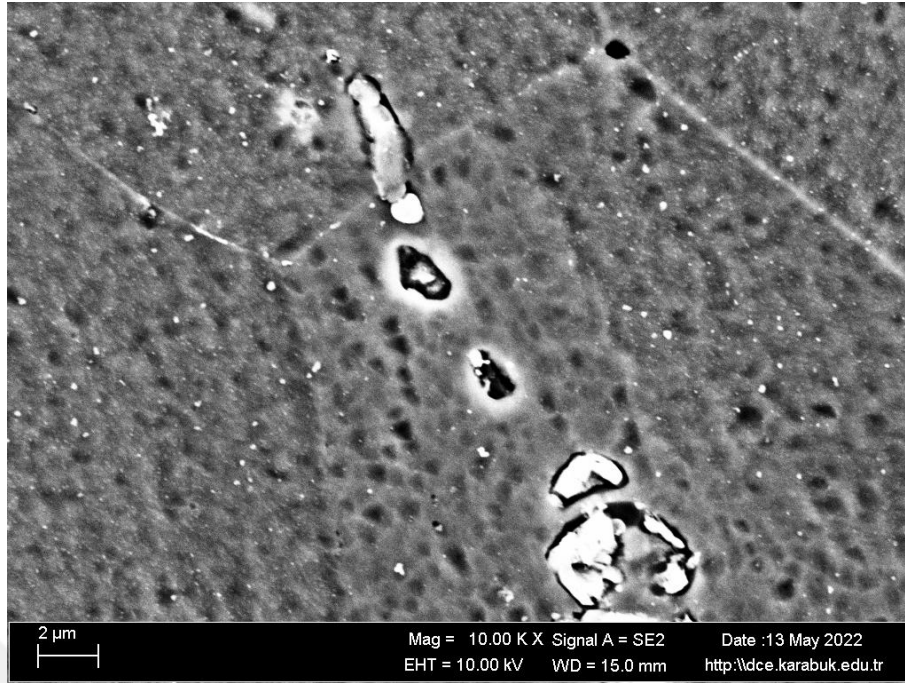
(a)



(b)



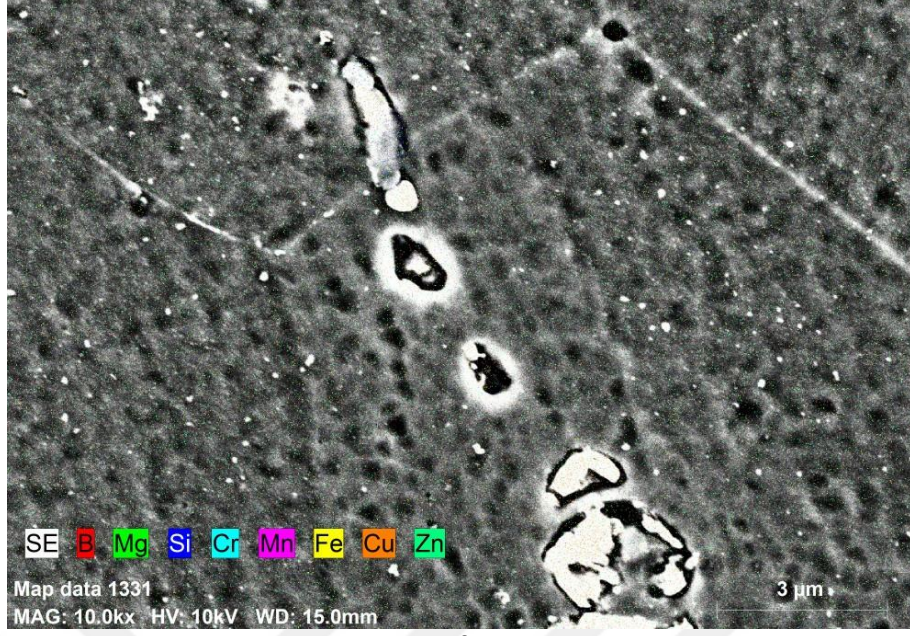
(c)



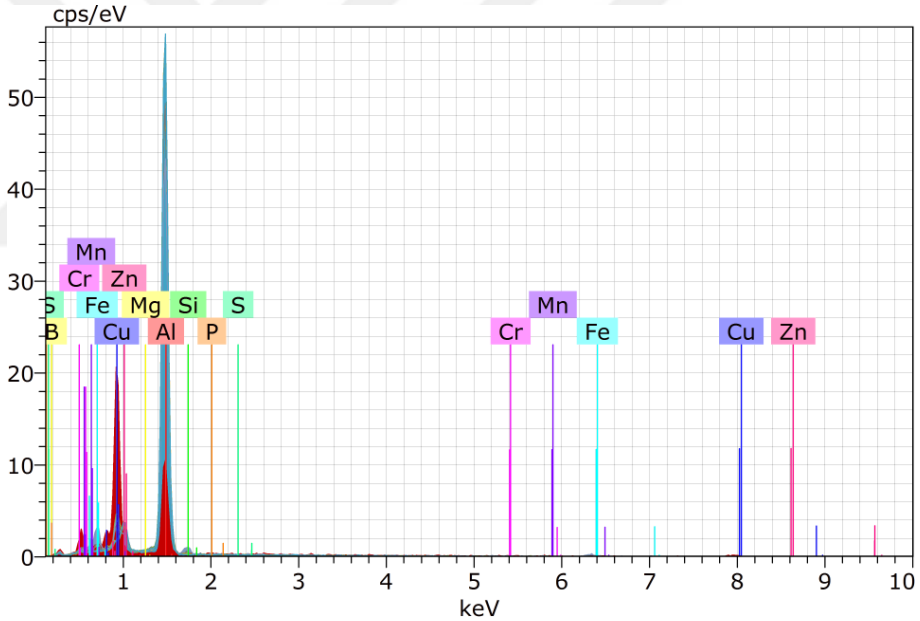
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 5.54. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.54.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.54.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.54.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.54.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği.

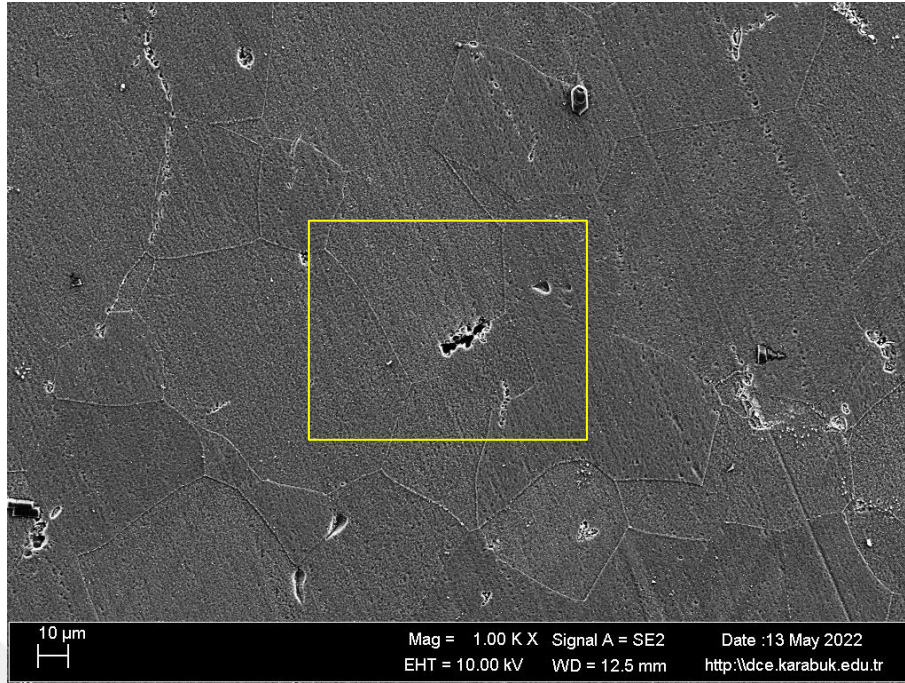
Şekil 5.54.a, 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 numunenin 1 K X büyütmeyle SEM görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.54.a'da

dikdörtgen ile işaretlenen bölgenin 3 K X büyütmeyle Şekil 5.54.b’de gösterilen görüntüyü temsil eder. Şekil 5.54.c’de ise Şekil 5.54.b görüntüsü 5 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.54.d’de ise Şekil 5.54.c’nin 10 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.54.c’de gösterilen 5 K X büyütmedeki görüntünün üzerinde EDX ve mapping için dikdörtgen alanlar belirlenerek Şekil 5.54.e’de gösterilmiş ve bu belirlenen alanların EDX analizi sonuç grafiği Şekil 5.54.g’de gösterilmiştir. Bütün elementlerin mapping görüntüleri Şekil 5.54.f’de verilmiştir. EDX analizinden elde edilen sayısal değerleri Çizelge 5.7’de verilmiştir.

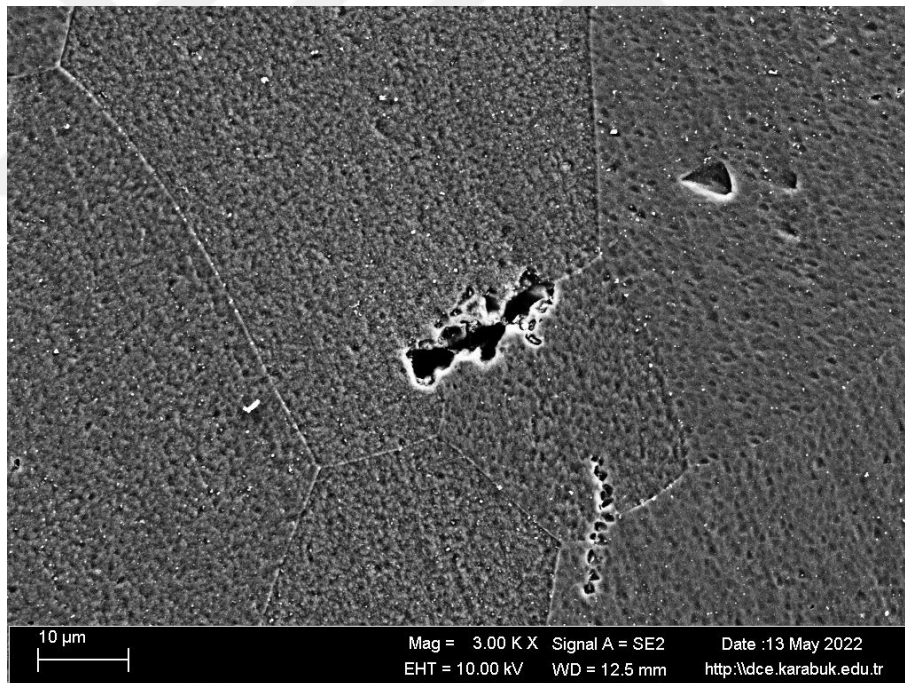
Çizelge 5.7. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıtıl işlem görmüş %50 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.54.e’deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alinlardan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	6.79	0.61	79.13	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.08	4.55	8.80
2	7.03	0.61	79.08	0.07	0.00	0.00	0.04	0.35	0.00	4.34	8.49
3	2.99	0.46	66.38	2.19	0.06	0.00	0.43	0.00	8.74	12.48	6.28
4	5.88	0.60	80.26	0.08	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	4.63	8.31
5	7.43	0.62	78.76	0.00	0.10	0.08	0.34	0.25	0.00	4.24	8.17
6	8.45	0.47	73.66	0.52	0.00	0.00	0.24	0.25	0.35	8.33	7.72
7	7.97	0.63	69.30	0.33	0.12	0.02	0.06	0.00	1.26	13.00	7.30
8	7.25	0.05	20.12	0.05	0.22	0.01	0.43	0.30	4.42	67.15	0.00
Ort. değer:	6.72	0.51	68.34	0.40	0.06	0.02	0.22	0.14	1.86	14.84	6.89
Sigma:	1.69	0.20	20.14	0.74	0.08	0.03	0.17	0.16	3.16	21.45	2.89
Sigma ort.:	0.60	0.07	7.12	0.26	0.03	0.01	0.06	0.05	1.12	7.58	1.02

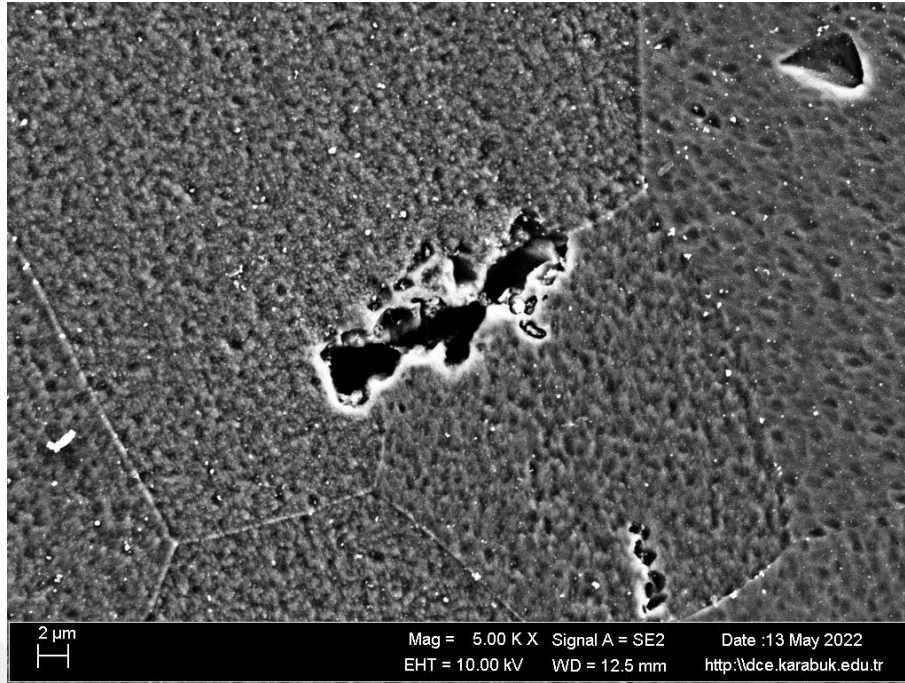
Cu hariç diğer bütün elementler homojen olarak birbirine yakın olanlarda dağıldığı Çizelge 5.7’ye bakarak görülmüştür. Mg oranı %30 borakslı numunelerde %15 borakslı numunelerle karşılaştırıldığında daha az olduğu hem spektral analiz hem de SEM analizinde yapılan spektral analizde fark edilmiştir. SEM analizi yapılırken Cu’nun topaklaştığı fark edilmiştir. Bu topaklaşma ve Mg’nin oksitlenmesi sertliği düşürdüğü düşünülmüştür.



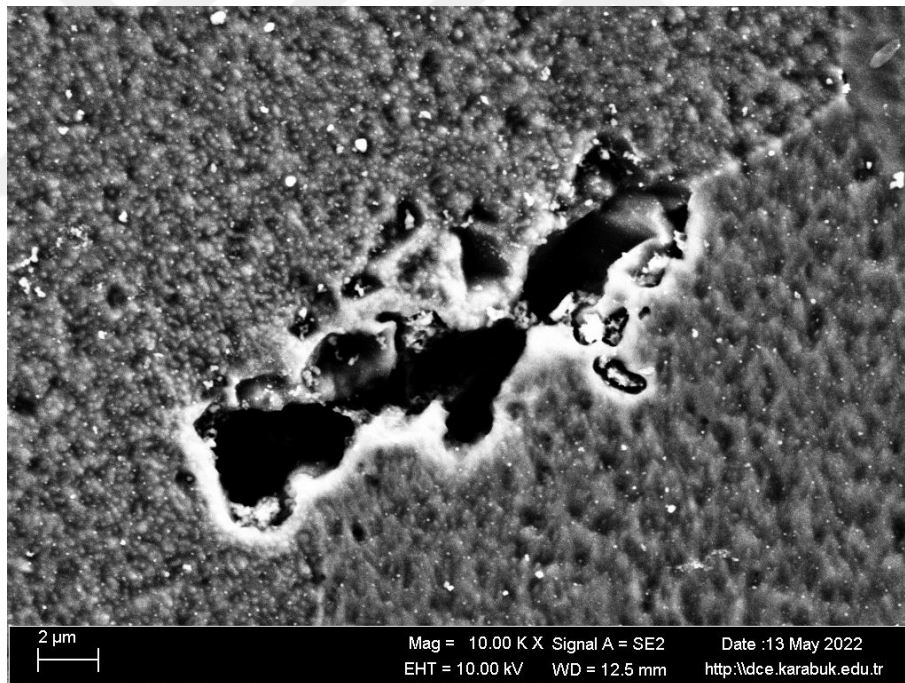
(a)



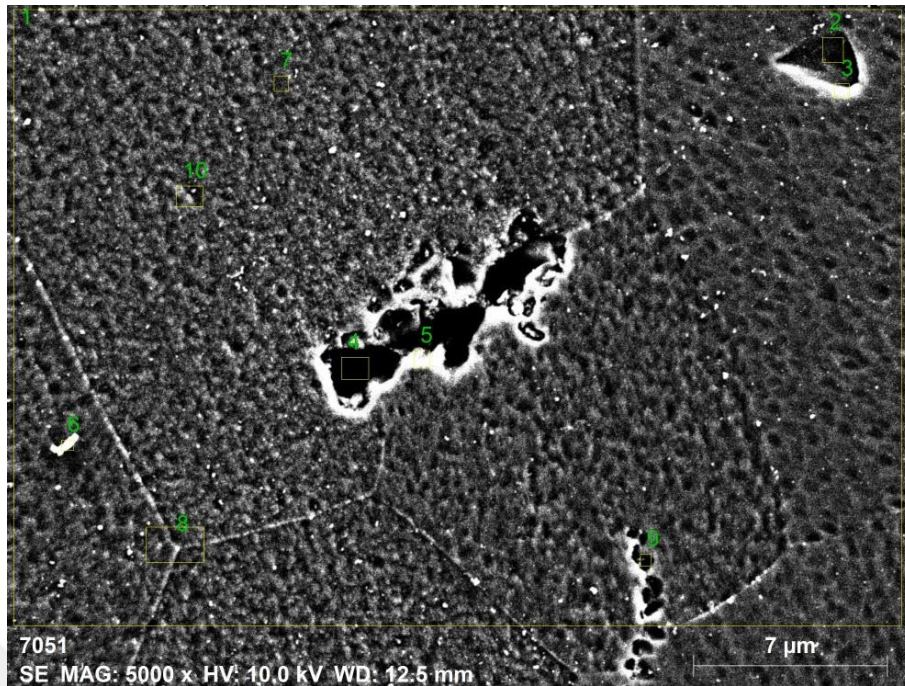
(b)



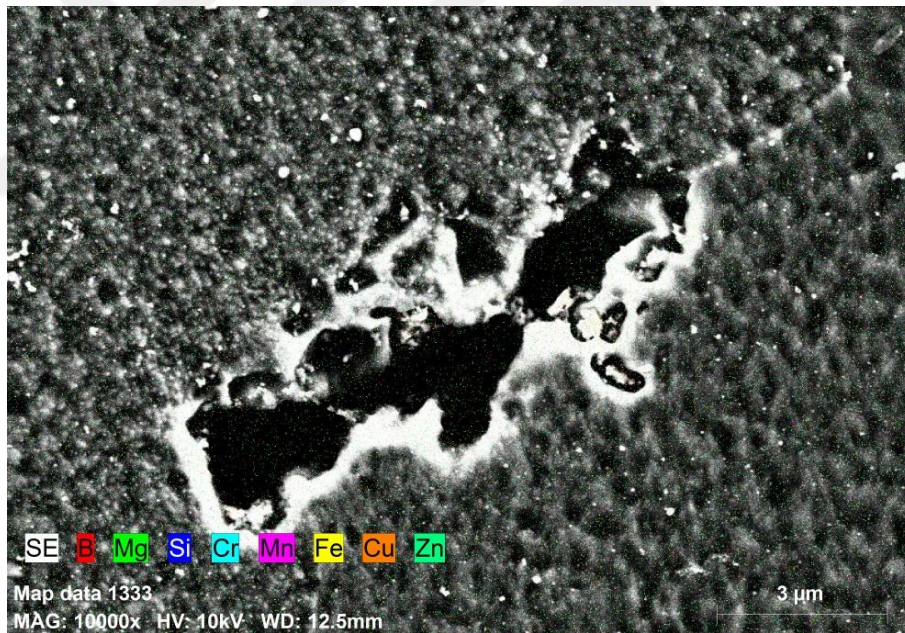
(c)



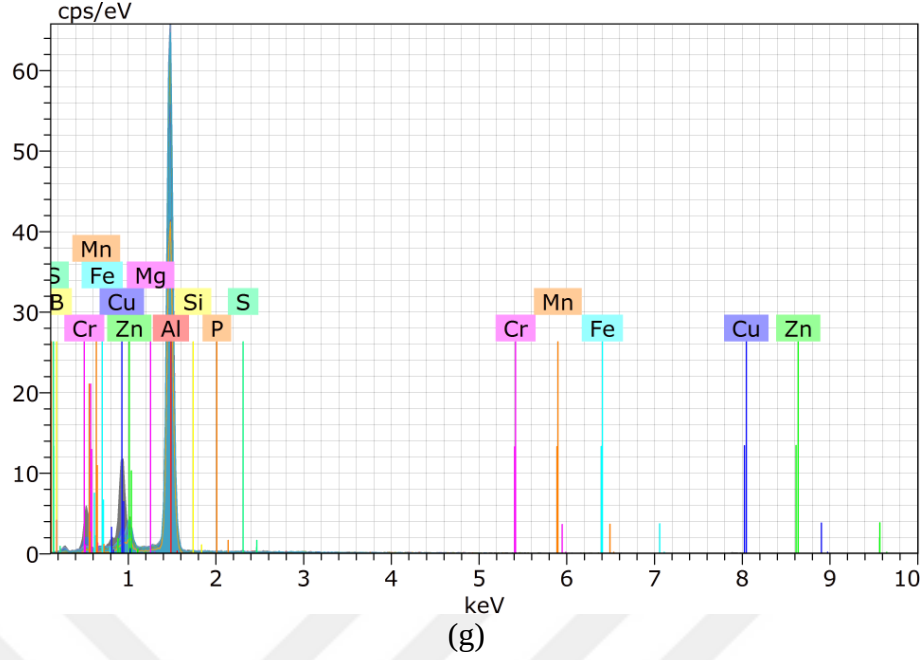
(d)



(e)



(f)



Şekil 5.55. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin SEM ve EDX analiz görüntüleri; (a) 1 K X büyütmeyle alınan görüntü; (b) Şekil 5.55.a'da belirlenen dikdörtgen alandan 3 K X büyütmeyle alınan görüntü; (c) Şekil 5.55.b'den 5 K X büyütmeyle alınan görüntü; (d) Şekil 5.55.c'den 10 K X büyütmeyle alınan görüntü; (e) Şekil 5.55.b'deki 5 K X büyütmeyle alınan görüntünün EDX analizi; (f) bütün elementlerin mapping görüntüleri; (g) Şekil 5.55.e'deki EDX görüntüsünün elementel eşleşmesi grafiği.

Şekil 5.55.a, 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %50 haddeli %15 borakslı Al7075 numunenin 1 K X büyütmeyle SEM görüntüsü gösterilmiştir. Şekil 5.55.a'da dikdörtgen ile işaretlenen bölgenin 3 K X büyütmeyle Şekil 5.55.b'de gösterilen görüntüyü temsil eder. Şekil 5.55.c'de ise Şekil 5.55.b görüntüsü 5 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.55.d'de ise Şekil 5.55.c'nin 10 K X büyütmeyle gösterilmiştir. Şekil 5.55.c'de gösterilen 5 K X büyütmedeki görüntünün üzerinde EDX ve mapping için dikdörtgen alanlar belirlenerek Şekil 5.55.e'de gösterilmiş ve bu belirlenen alanların EDX analizi sonuç grafiği Şekil 5.55.g'de gösterilmiştir. Bütün elementlerin mapping görüntüleri Şekil 5.55.f'de verilmiştir. EDX analizinden elde edilen sayısal değerleri Çizelge 5.8'de vermiştir.

Çizelge 5.8. 72 saat yaşlandırılmış T6 ısıt işlem görmüş %80 haddeli %30 borakslı Al7075 mumunenin Şekil 5.55.e'deki görüntüden dik dörtgen ile belirlenen alınlardan alınmış spektral analiz sonuçları.

Spektrum	B	Mg	Al	Si	P	S	Cr	Mn	Fe	Cu	Zn
1	11.45	0.63	75.06	0.15	0.00	0.07	0.00	0.00	0.83	4.04	7.77
2	8.45	0.51	78.40	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.71	3.89	7.79
3	15.70	0.66	71.78	0.09	0.00	0.00	0.07	0.00	0.22	4.07	7.40
4	8.91	0.10	80.31	0.00	0.12	0.00	0.00	2.25	0.16	3.29	4.85
5	15.89	0.52	68.78	0.20	0.16	0.00	0.60	0.00	0.00	7.14	6.70
6	13.98	0.47	51.69	0.09	0.02	0.15	0.00	0.00	0.00	28.20	5.40
7	12.59	0.62	75.09	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	3.89	7.76
8	13.76	0.58	73.52	0.00	0.11	0.05	0.15	0.30	0.47	3.48	7.57
9	12.54	0.72	75.20	0.00	0.00	0.02	0.20	0.00	0.00	4.42	6.89
10	11.77	0.65	75.54	0.04	0.00	0.06	0.02	0.00	0.00	4.14	7.78
Ort. değer:	6.72	0.51	68.34	0.40	0.06	0.02	0.22	0.14	1.86	14.84	6.89
Sigma:	1.69	0.20	20.14	0.74	0.08	0.03	0.17	0.16	3.16	21.45	2.89
Sigma ort.:	0.60	0.07	7.12	0.26	0.03	0.01	0.06	0.05	1.12	7.58	1.02

Yukardaki bütün sonuçlara bakıldığında haddeleme oranı arttıkça yaşlandırma işlemiyle biriket daha iyi bir elementel homojen dağılımı elde edildiği görülmüştür. Çizelge 5.8'e bakıldığında %30 borakslı malzemenin bor oranı beklenildiği gibi %15 borakslı malzemeden daha yüksek olduğu görülebilir.

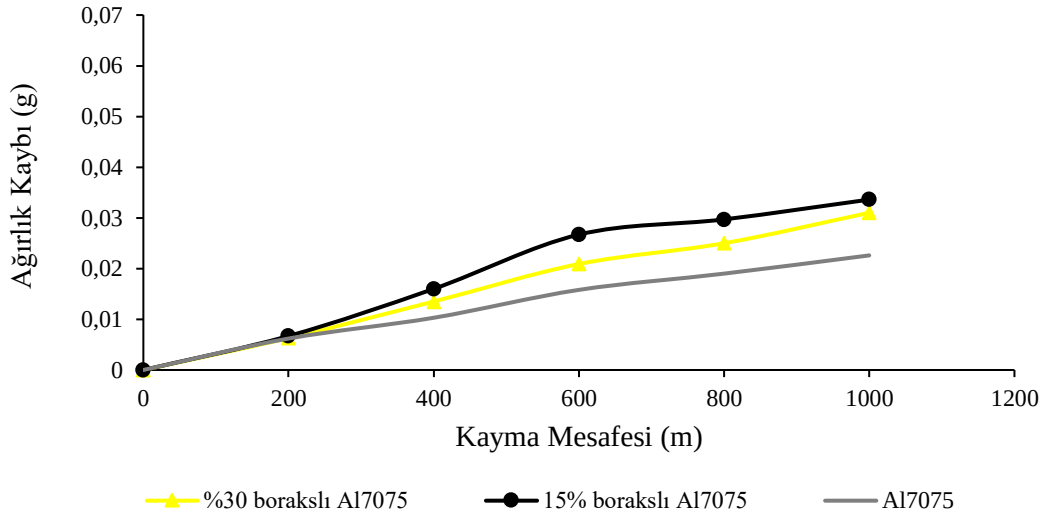
5.5. AŞINMA KARAKTERİSTİĞİ

Haddeleme ve T6 ısıt işlem öncesi homojenleştirilmiş malzemelere uygulanan kuru aşınma deneyinde kayma mesafesine bağlı olarak kaydedilen ağırlık kayıpları Çizelge 5.9 ile gösterilmiştir.

Çizelge 5.9. Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.

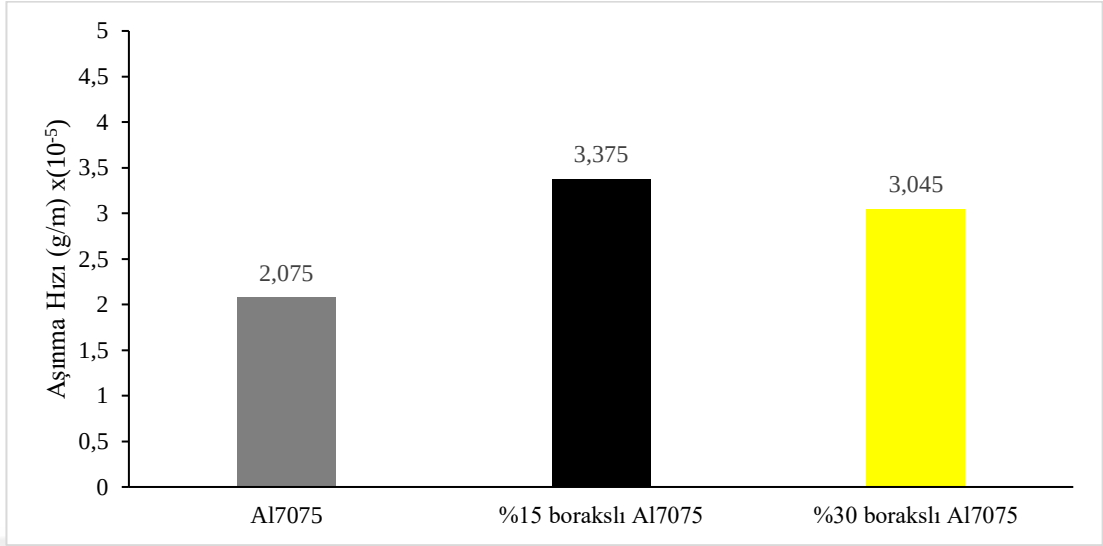
Kayma Mesafesi (m)	Al7075	15% borakslı Al7075	%30 borakslı Al7075
0	0	0	0
200	0.0062	0.0067	0.0063
400	0.0103	0.016	0.0135
600	0.0158	0.0267	0.0209
800	0.019	0.0297	0.025
1000	0.0226	0.0336	0.031

Her numune için her tamamlanan adımdan sonra bulunan ağırlık kayıplarını toplayarak elde edilen toplam değere göre açıklanmaktadır. Elde edilen toplam değer 1000 metredeki yani son adımdaki kümülatif değeri temsil etmektedir. Çizelge 5.9’da değerleri verilen numuneler arasında ağırlık kaybı en yüksek yani aşınma direnci en düşük olan numune %15 borakslı numunedir. 0.0336 g toplam ağırlık kaybına sahiptir. Bu numuneler arasında toplam ağırlık kaybı en düşük olan yani aşınma direnci en yüksek olan numune toplam 0.0226 g ağırlık kaybına sahip boraks ilavesi içermeyen Al7075 ana malzeme numunesidir. Boraks ilavesinin artırılmasıyla toplam ağırlık kaybının düştüğü ve dolayısıyla aşınma direncinin arttığı %30 borakslı toplam ağırlık kaybına bakarak söylenebilir. %15 borakslı numunenin toplam ağırlık kaybı 0.0336 g’ken boraks oranı arttırıldığında bu değer 0.031 g’a düştüğü gözlemlenmiştir.



Şekil 5.56. Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.

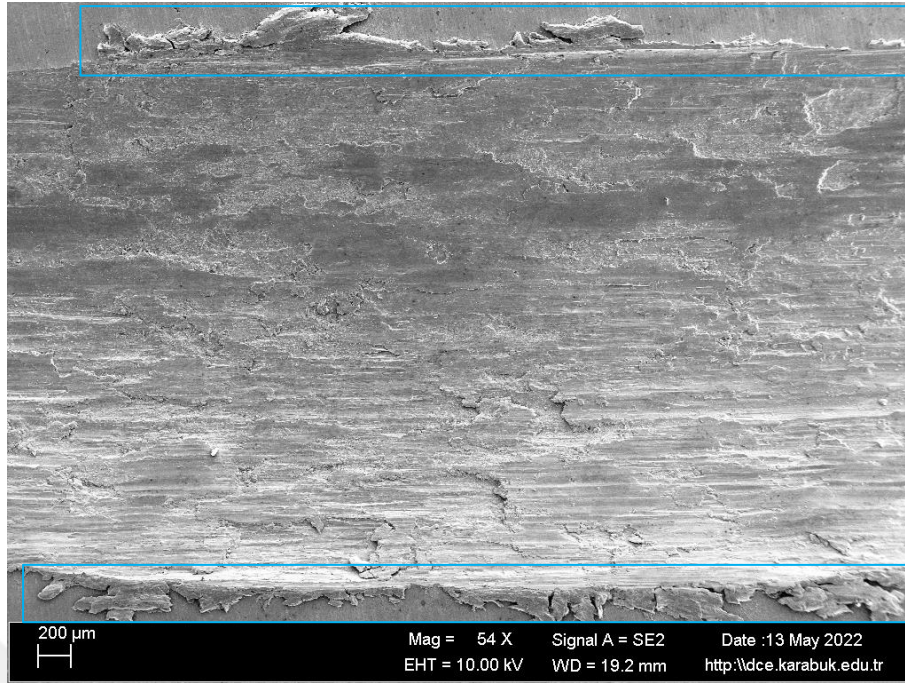
Şekil 5.56’da Haddeleme ve T6 ısıl işlem öncesi homojenleştirilmiş malzemelere uygulanan kuru aşınma meydana gelen ağırlık kayıplarının eğrileri gösterilmiştir. Her üç numunede ilk adımdan sonra elde edilen ağırlık kayıplarını birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Son adımlara doğru giderken ağırlık kaybı en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye sıralayacak olursak “(%15 borakslı Al7075) > (%30 borakslı Al 7075) > (Al 7075)” şeklinde sıralanabilir. Sıralanan bu numunelerin eğri eğimleri alınarak aşınma hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan aşınma hızlarının sonuçları da Şekil 5.57 ile gösterilmiştir.



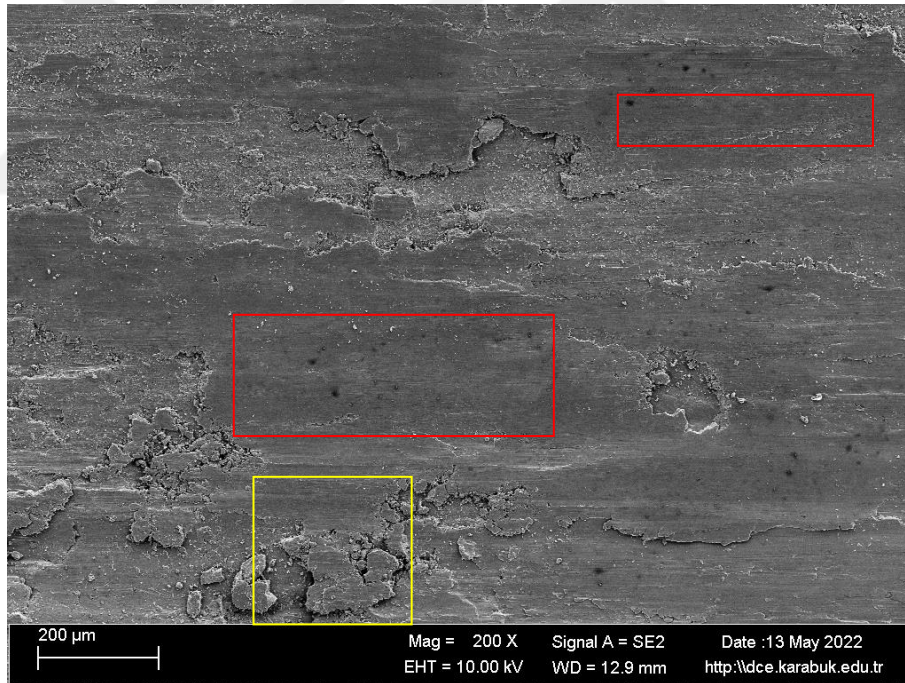
Şekil 5.57. Haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.

Şekil 5.57'ye bakarak %15 boraklı Al7075 numunesi en yüksek aşınma hızına sahip olduğu görülmüştür. Aşınma hızı değeri 3.375×10^{-5} g/m'dir. %30 boraklı Al7075 numunesinin aşınma hızı değeri ise 3.045×10^{-5} g/m'dir. Al7075 numunesinin aşınma hızı değeri ise 2.075×10^{-5} g/m'dir. Aşınma hızı sonuçlarına göre en hızlı aşınan numune %15 boraklı Al7075 en yavaş aşınan numune ise Al7075 numunesidir. Aşınma hızı değeri boraks ilavesinin artmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.

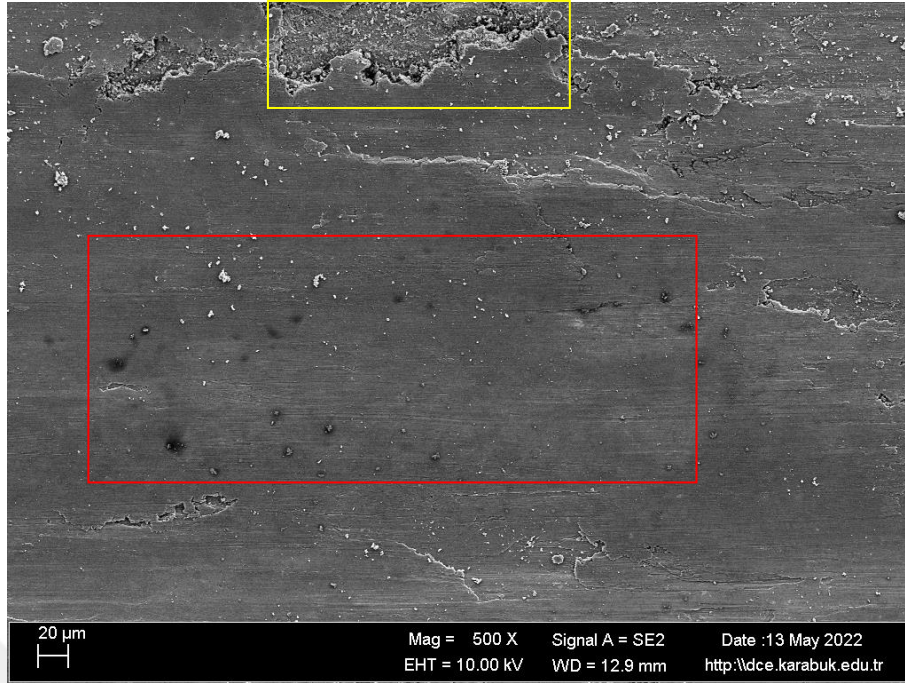
Al7075 numunesinin kuru aşınma testlerinden sonra aşınan alanın 54 X, 200 X, 500 X ve 1000 X büyütmede SEM cihazında görüntüleri ve mapping analizi alınmış ve Şekil 5.58'de gösterilmiştir. Adhasif aşınma alanları kırmızı dikdörtgenlerle abrasif aşınma alanları ise sarı dikdörtgenlerle gösterilmiştir. SEM görüntülerine bakarak numunenin aşınma alanının abrasif aşınmadan ziyade adhasif aşınma alanları daha çok olduğu görülmüştür. Aşınma sırasında aşınan alanda akış meydana gelmektedir. Akan parçalar gevreklediğinde kopmaktadır. Plastik deformasyonun oluşmasından dolayı kırılmalar meydana gelmektedir. Şekil 5.58. a' da mavi dikdörtgen ile gösterilen alanda bu kırılmalar görülmüştür. Bu tür mekanizmalar SEM görüntüsü alınan bütün numunelerde meydana geldiği gözlemlenmiştir.



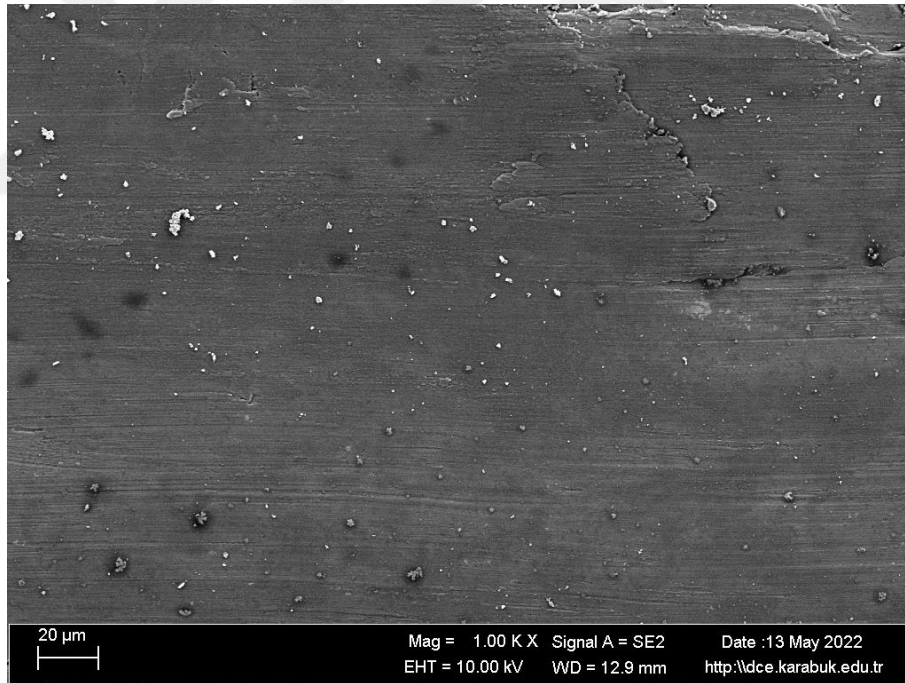
(a)



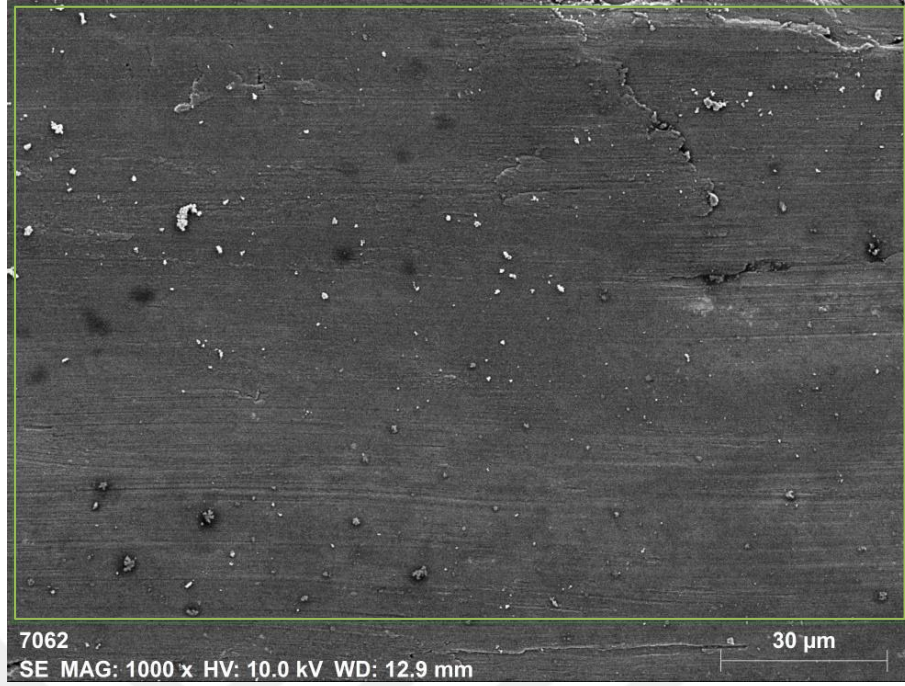
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.58. Al7075 aşınan numunelerin SEM görüntüleri; (a) 54 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1 K X büyütme. (e) 1 K X'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.58.e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.

%50 ve %80 haddeleme oranında mekanik deformasyonun aşınma direncine olan etkisini incelemek için de %30 borakslı Al7075 ve %15 borakslı Al7075 numunelerine haddeleme işleminden sonra kuru aşınma testine tabi tutulmuşlardır. Çizelge 5.10'da

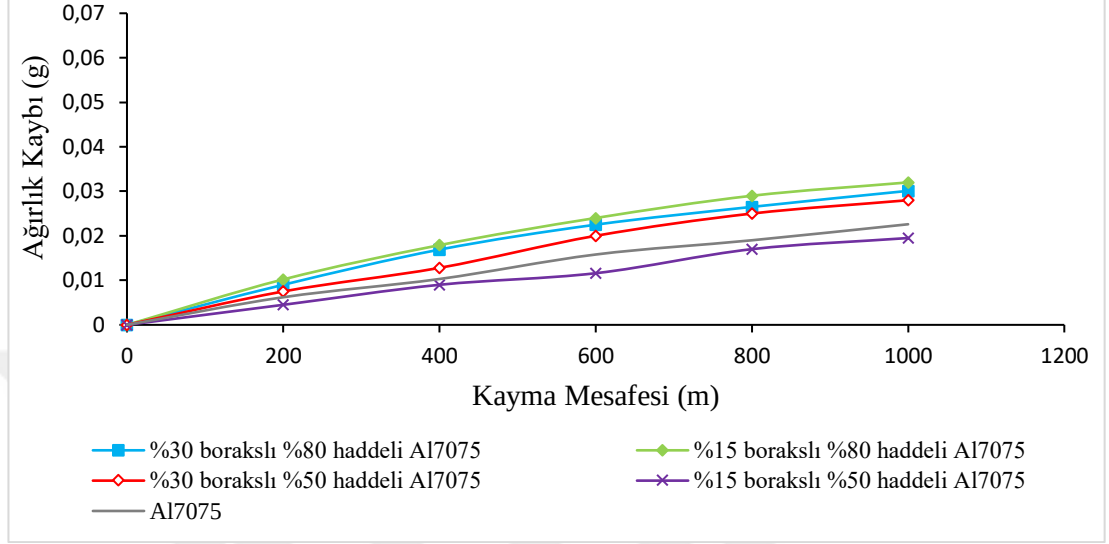
tamamlanan her aşınma adımından sonra numunelerin ağırlık kayıpları ve bu ağırlık kayıplarının toplamı hesaplanarak verilmiştir.

Çizelge 5.10. Haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.

Kayma Mesafesi (m)	Al7075	%15 borakslı %50 haddeli Al7075	%15 borakslı %80 haddeli Al7075	%30 borakslı %50 haddeli Al7075	%30 borakslı %80 haddeli Al7075
0	0	0	0	0	0
200	0.0062	0.0045	0.0102	0.0075	0.009
400	0.0103	0.009	0.0179	0.0128	0.0173
600	0.0158	0.0116	0.024	0.02	0.0225
800	0.019	0.017	0.027	0.025	0.0265
1000	0.0226	0.0195	0.031	0.028	0.0301

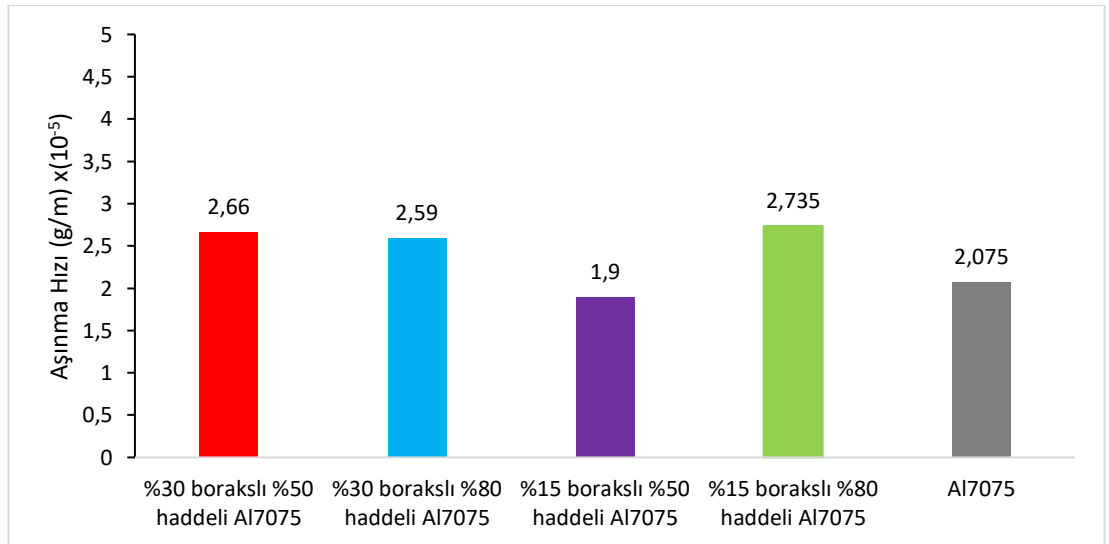
Çizelge 5.10’da verilen toplam ağırlık kayıplarına bakıldığında %15 borakslı numune %50 oranında haddelendiğinde toplam ağırlık kaybını 0.0336 g’den 0.0195 g’a düşerek haddelenmiş numunelerin arasında en düşük ağırlık kaybının sergilediği yani en yüksek aşınma dayanımını gösterdiği ana matris Al7075 malzemesinden de daha yüksek aşınma dayanımı gösterdiği gözlemlenmiştir. Aynı malzeme %80 oranına kadar haddelendiğinde ise ağırlık kaybı 0.031 g’a ulaşarak haddelenmiş numuneler arasında en düşük aşınma direncinin sergilediği görülmüştür. %30 borakslı numune %50 oranında haddelendiğinde ise ağırlık kaybı 0.031 g’dan (haddelenmeden önceki ağırlık kaybı) 0.028 g’a kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Haddelene oranı %80’e çıktığında ise ağırlık kaybının 0.0301 g’a kadar arttığı gözlemlenmiştir. %15 borakslı ve %30 borakslı her iki malzemede de %50’ye kadar haddelene oranında aşınma direncinin arttığı %80’a kadar haddelene oranında ise düştüğü gözlemlenmiştir. haddelenmiş numunelerin en yüksek ağırlık kaybına sahip numuneden en düşük ağırlık kaybına sahip numuneye kadar sıralayacak olursak “(%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075)” şeklinde sıralanabilir.

Şekil 5.59’da %50 ve %80 haddelendirme oranı uygulandıktan sonra numunelerin ve ana matris malzemesinin kuru aşınma deneyinin ardından her adımda oluşan ağırlık kayıplarının grafiği gösterilmiştir.



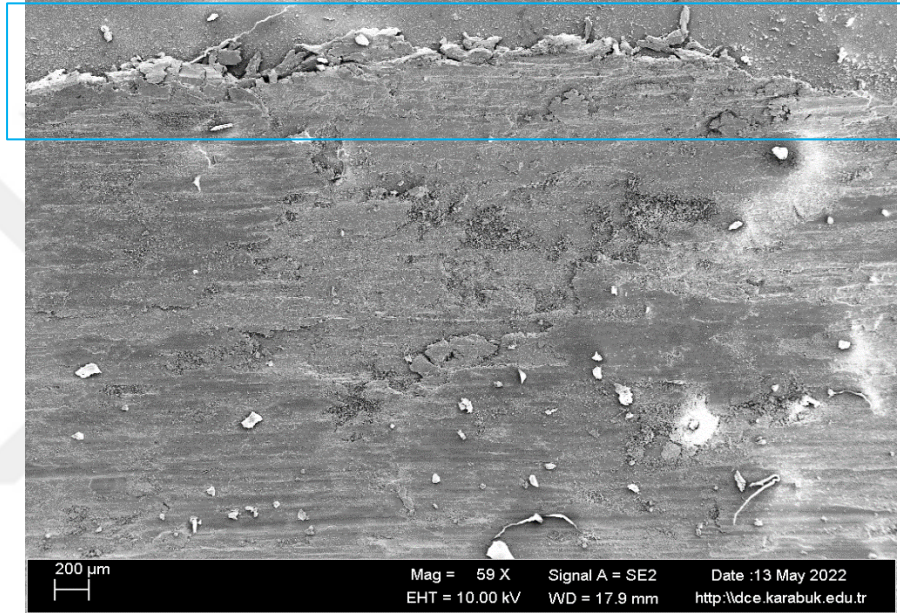
Şekil 5.59. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.

Şekil 5.60’da %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş numuneler ile ana matris Al7075 numunesinin aşınma eğrilerinin eğimlerinden alınan aşınma hızlarının grafiği gösterilmiştir.

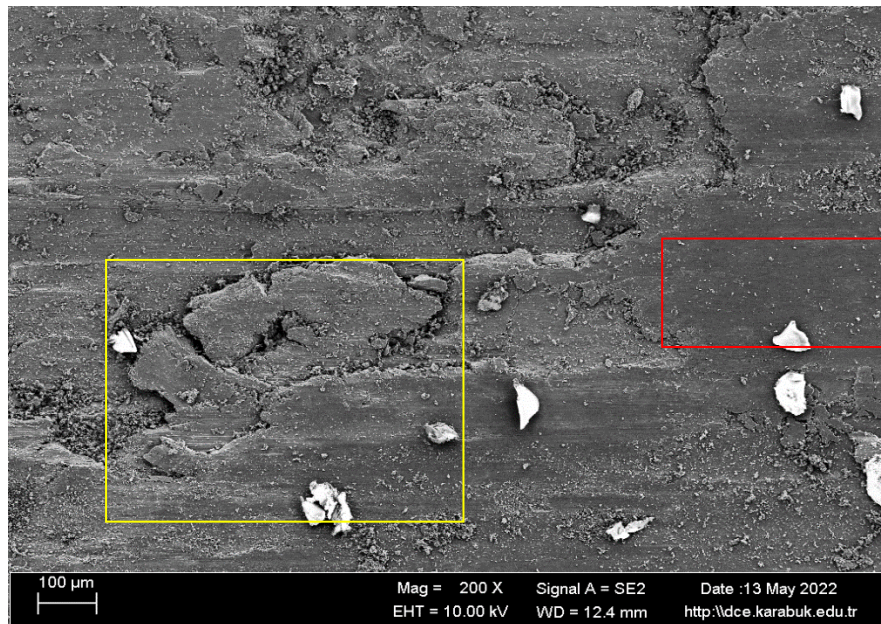


Şekil 5.60. Haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.

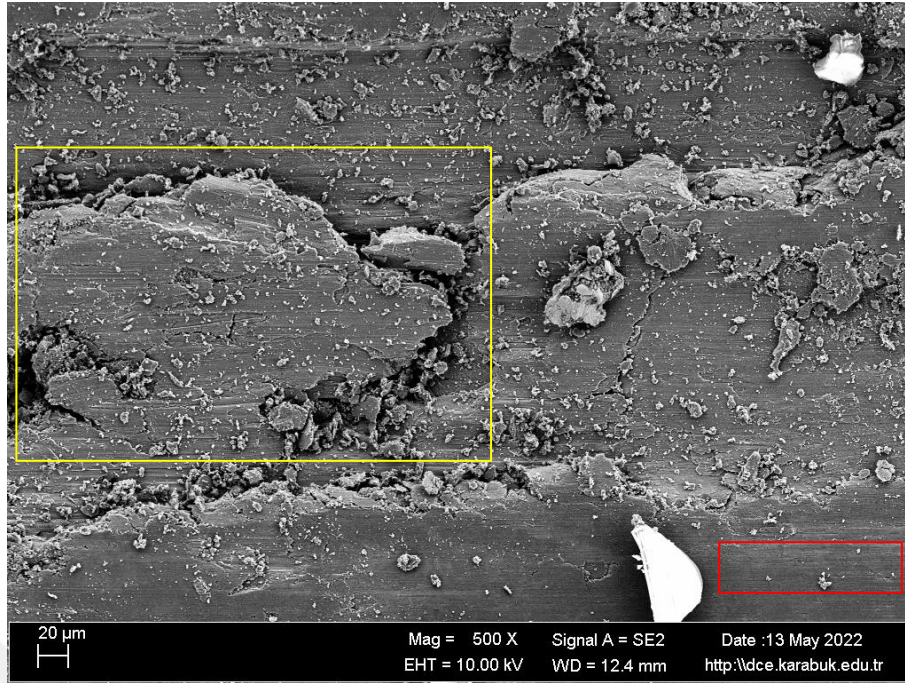
Şekil 5.60'da görüldüğü gibi %30 borakslı %50 haddelenmiş numunenin ağırlık kaybı %30 borakslı %80 haddelenmiş numuneden daha düşük olmasına rağmen aşınma hızı daha yüksektir. Bu hıza da 600 m aşınma mesafesinden sonra arttığı gözlemlenmiştir. %15 borakslı %50 haddeme işlemi uyguladıktan sonra numunelere uygulanan aşınma testi sonrası alınan görüntüler Şekil 5.61'de gösterilmiştir. Şekil 5.61. d'de ve Şekil 5.61.e'de abrazif yapı aşınma noktaları sarı ve adezif yapı aşınma noktaları kırmızı alanlar ile gösterilmiştir.



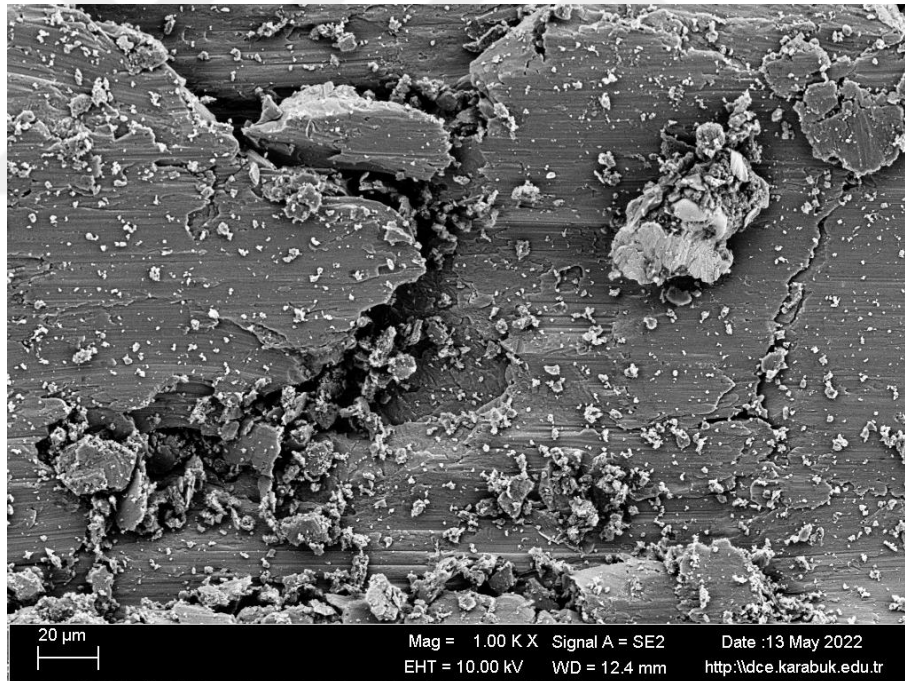
(a)



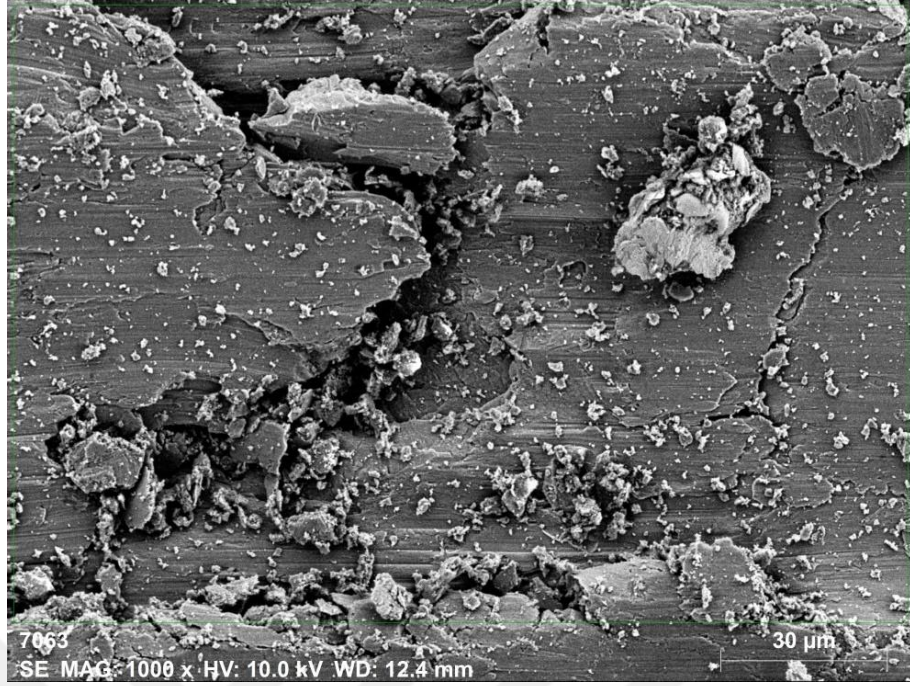
(b)



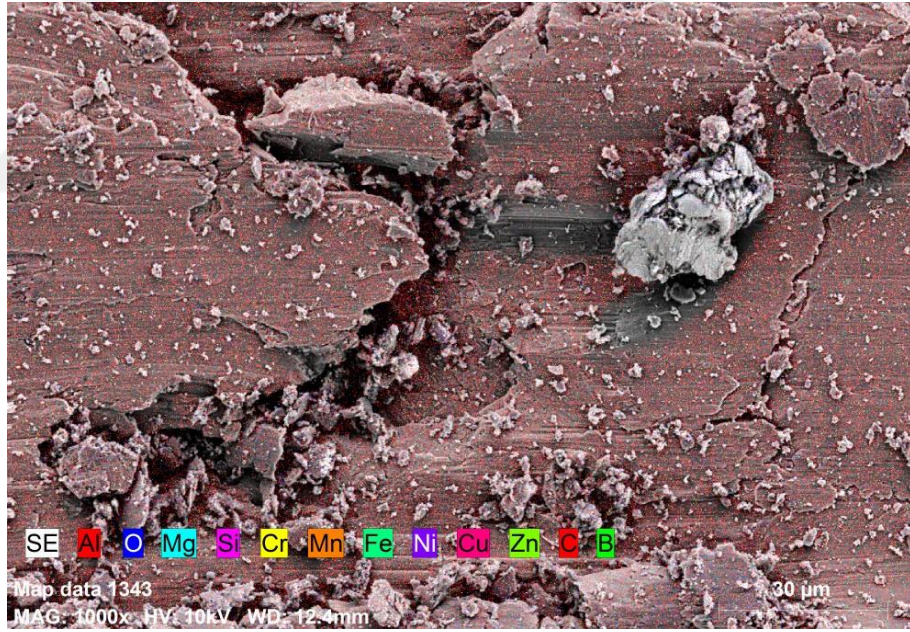
(c)



(d)

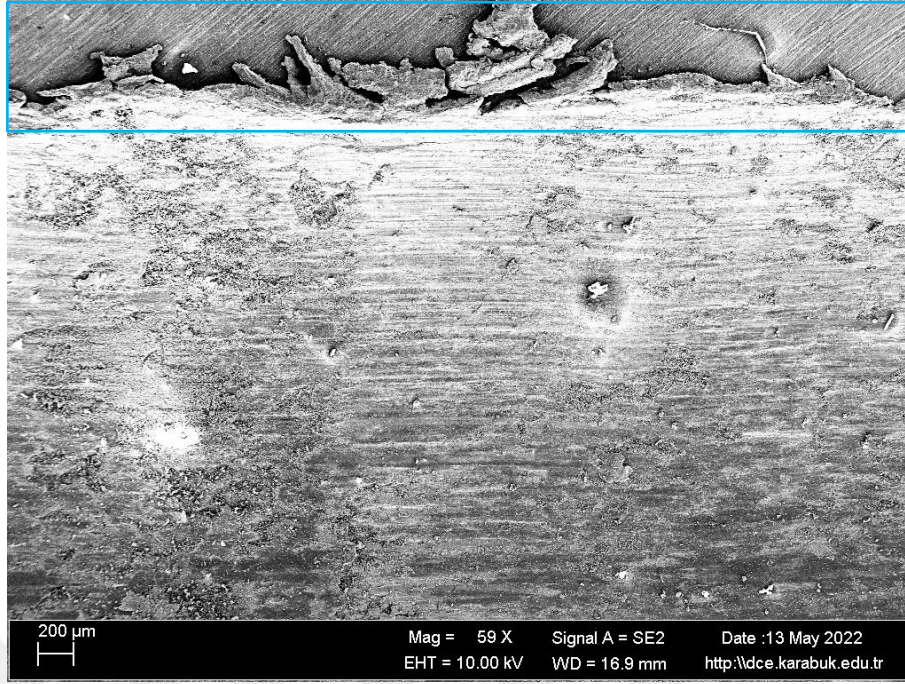


(e)

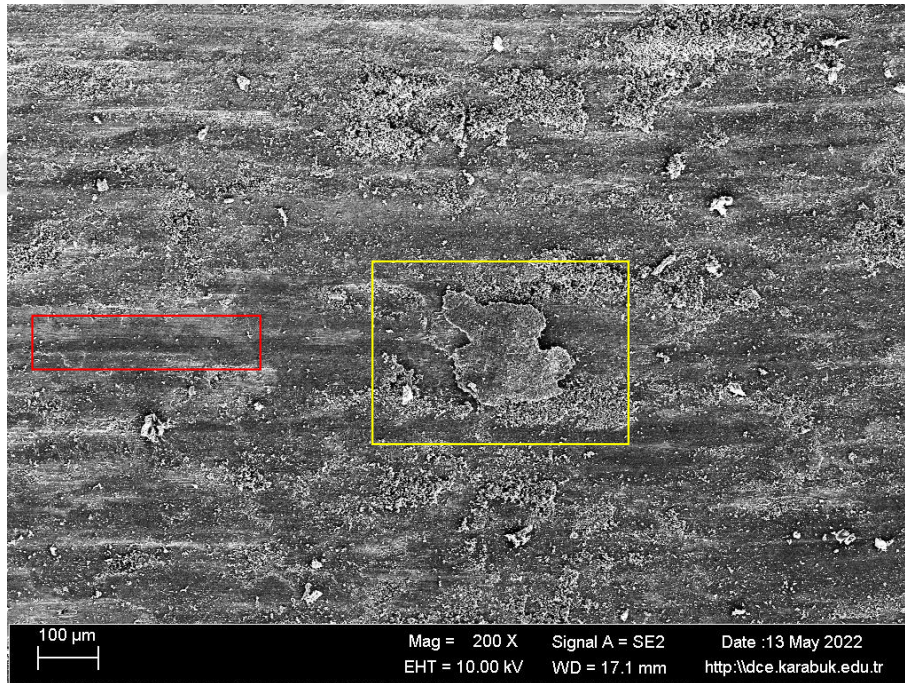


(f)

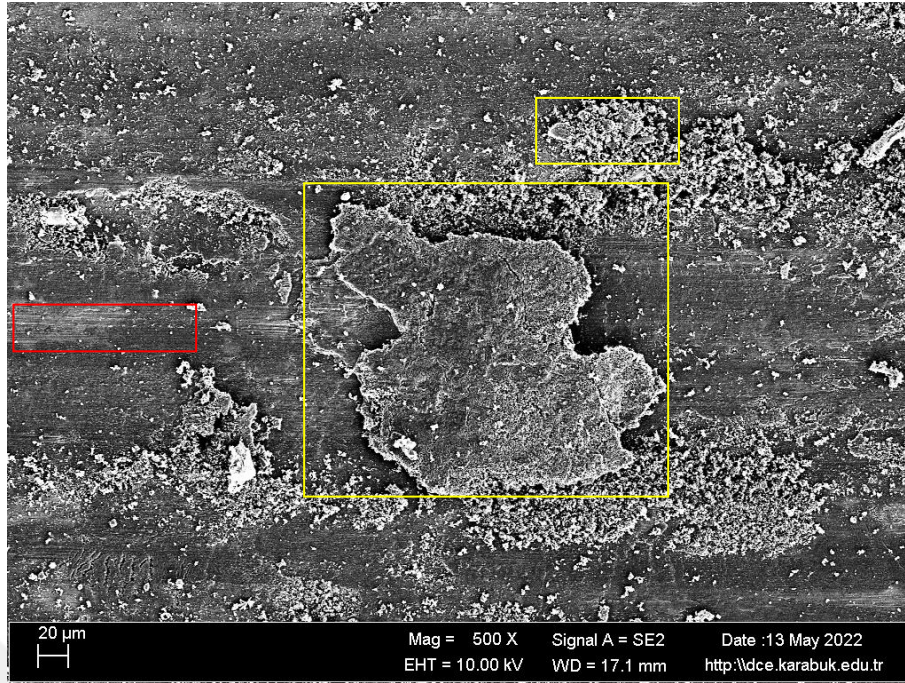
Şekil 5.61. %15 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntüsü; (f) Şekil 5.61 e'daki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.



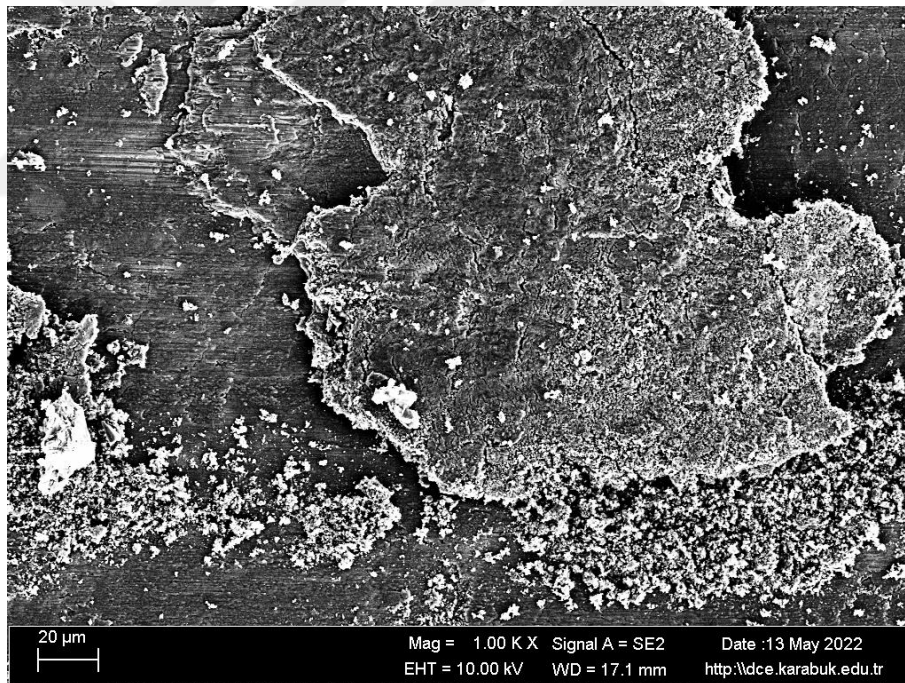
(a)



(b)



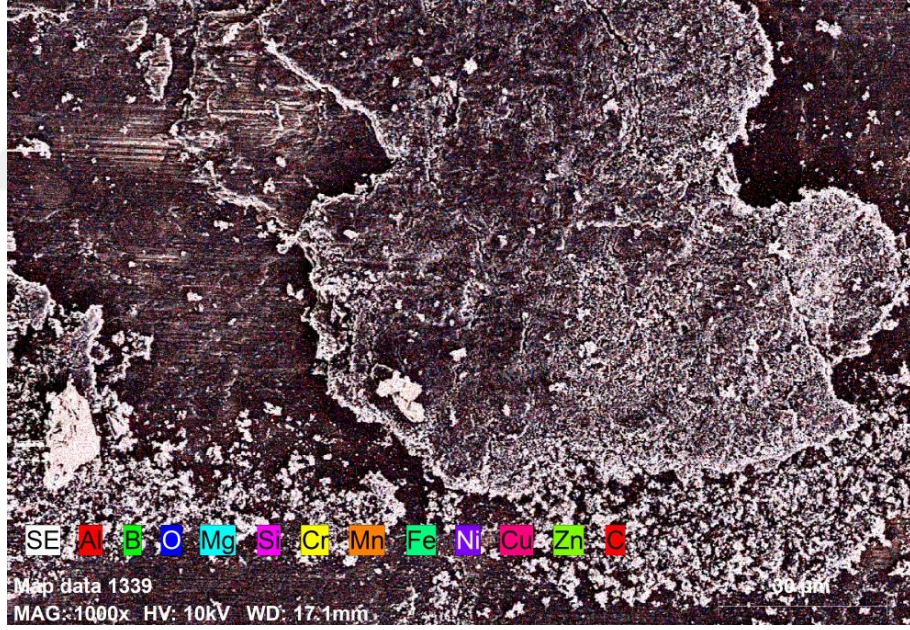
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.62. %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200X büyütme; (c) 500X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.62.e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.

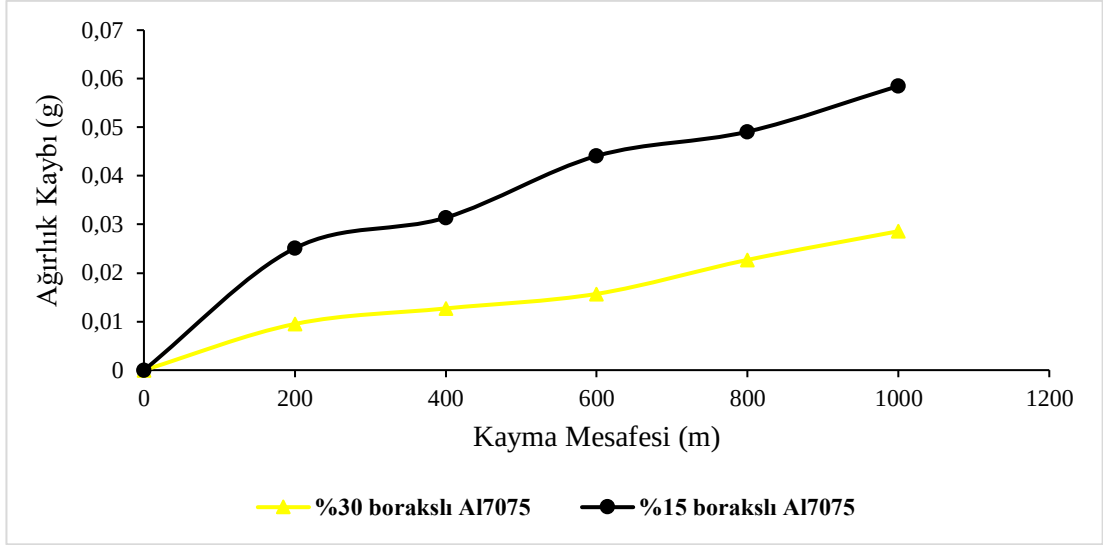
Şekil 5.62.a'da aşınma izi kenarında çizilen mavi dikdörtgen ile belirlenen alanda görülen kırılmaların Şekil 5.61.a'da belirlenen mavi dikdörtgende görülen kırılmalardan daha fazla ve daha büyük olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.11’de T6 ısıt işlem uyguladıktan sonra her adımdan sonra hesaplanan ağırlık kayıpları ve bu ağırlık kayıplarının toplamaları verilmiştir. T6 ısıt işlemi uyguladıktan sonra en yüksek ağırlık kaybı 0.0585 g olarak %15 borakslı numunede olduğu ve bu ağırlık kaybının boraks ilavesinin %30 kadar arttırılmasıyla 0.0286 g’a kadar düştüğü gözlemlenmiştir. T6 ısıt işlem görmeyen numunelerle karşılaştırıldığında %30 borakslı numunenin T6 ısıt işleminden sonra ağırlığının düştüğü %15 borakslı numunenin ise ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. %30 borakslı numunenin ağırlık kaybı 0.031 g’dan 0.0286 g’a kadar düştüğü, %15 borakslı numunenin ise ağırlık kaybının 0.0336 g’dan 0.0585 g’a yükseldiği görülmüştür.

Çizelge 5.11. T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.

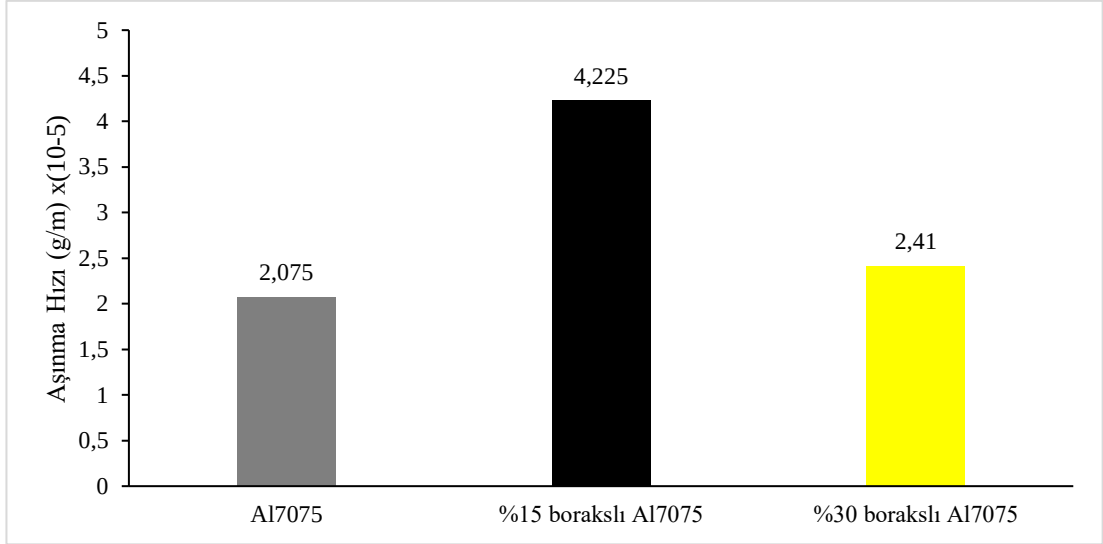
Kayma Mesafesi (m)	Al7075	15% borakslı Al7075	%30 borakslı Al7075
0	0	0	0
200	0.0062	0.0251	0.0095
400	0.0103	0.0314	0.0127
600	0.0158	0.0441	0.0157
800	0.019	0.0491	0.0227
1000	0.0226	0.0585	0.0286

Şekil 5.63’de T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin ve ana matris malzemesinin kuru aşınma deneyinin ardından her adımda oluşan ağırlık kayıplarının grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.63. Haddelenmemiş T6 ısıt işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.

Şekil 5.64’de, Şekil 5.63’deki eğrilerden alınan eğimleri kullanarak bulunan T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin aşınma hızları grafiği gösterilmiştir. Haddelenmemiş bu numuneler arasında T6 ısıt işleminden sonra en yüksek aşınma hızına sahip olan numune %15 borakslı numunedir. Aşınma hızı 4.225×10^{-5} g/m olarak bulunmuştur. Boraks ilavesinin oranı %15’den %30’a arttırıldığında aşınma hızının 4.225×10^{-5} g/m’den 2.41×10^{-5} g/m’a kadar düştüğü görülmüştür. Şekil 5.64 ile verilen T6 ısıt işlem görmüş olan numunelerin aşınma hızları ile Şekil 5.57 ile verilen T6 ısıt işlem görmemiş numunelerin aşınma hızları karşılaştırıldığında ise %30 borakslı numune T6 ısıt işlem ile aşınma hızının 3.045×10^{-5} g/m’den 2.41×10^{-5} g/m’a düştüğü yani %20 olarak pozitif yönde bir değişikliğin yaşandığı, %15 borakslı numuneler ise T6 ısıt işlemi ile aşınma hızının 3.375×10^{-5} g/m’den 4.225×10^{-5} g/m’a kadar yükseldiği yani %20 oranında negatif yönde bir değişiklik yaşandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.64. Haddelenmemiş T6 ısıt işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.

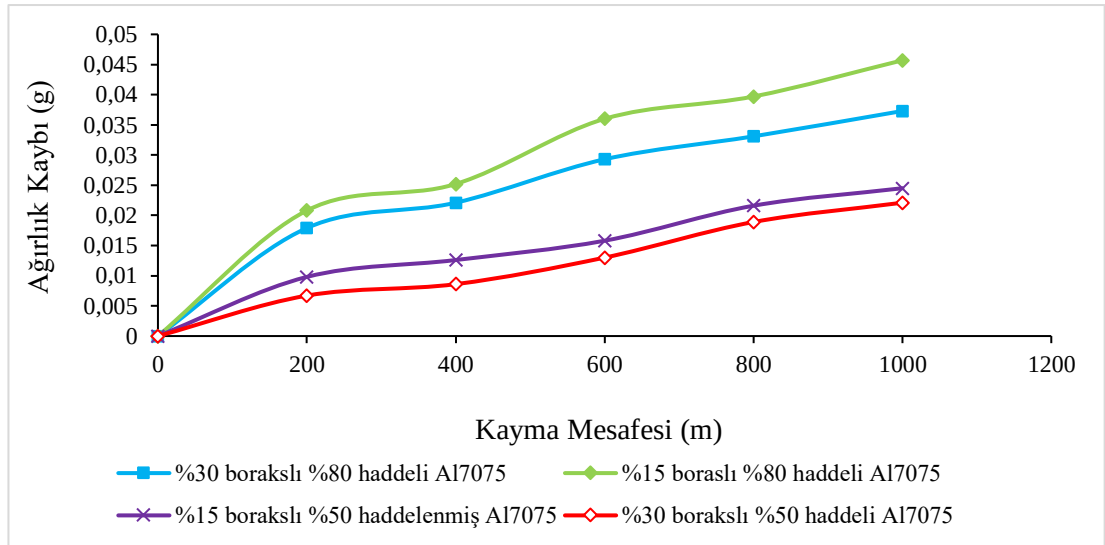
%50 ve %80 oranlarında haddelenmiş malzemelere T6 ısıt işlem uygulandıktan sonra her adımdan sonra hesaplanan ağırlık kayıpları Çizelge 5.12.'de verilmiştir. Bu numuneleri en fazla ağırlık kaybeden numuneden başlayarak en az ağırlık kaybeden numuneye kadar sıralayacak olursak “(%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi)” şeklinde sıralayabiliriz. Haddeleme oranı %50'den %80'e arttığında ağırlık kaybının da arttığı hem %30 borakslı hem de %15 borakslı numunelerde gözlemlenmiştir. Bu sonucu da Çizelge 5.9'da T6 ısıt işlem görmeyen haddelenmemiş numunelerin ağırlık kayıpları, Çizelge 5.7'de sonuçları verilen T6 ısıt işlem görmeyen haddelenmiş numuneler ağırlık kayıplarıyla karşılaştırıldığında gözlemlenmiştir. Çizelge 5.12'de T6 ısıt işlem görmüş numunelerin verilen ağırlık kayıplarının toplamaları Çizelge 5.10'da verilen T6 ısıt işlem görmemiş numunelerle karşılaştırıldığında %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numune hariç bütün numunelerin ağırlık kayıplarının T6 ısıt işlemiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir. Çizelge 5.11'de verilen T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin toplam ağırlık kayıplarının, Çizelge 5.12.'de verilen önce haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numunelerin toplam ağırlık kayıplarıyla karşılaştıracak olursak, %30 borakslı %50 oranına kadar haddeleme işlemi uygulandıktan sonra T6 ısıt işlem uygulanmasıyla birlikte numunenin toplam ağırlık kaybının 0.0286 g'dan 0.0221 g'a kadar düştüğü, haddeleme oranı %80'e kadar

arttırıldığında ise 0.0373 g'a kadar arttığı yani aşınma direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ağırlık kaybı değerleri yani çizelgede bulunan %15 borakslı numune %50 oranında haddeme işlemi uyguladıktan sonra T6 ısıt işlem uygulamasıyla toplam ağırlık kaybının 0.0585 g'dan 0.0245 g'a kadar düştüğü, %80'e kadar haddelenmesiyle ise 0.0245 g'dan 0.0457 g'a kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.12. T6 ısıt işlem görmüş haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları.

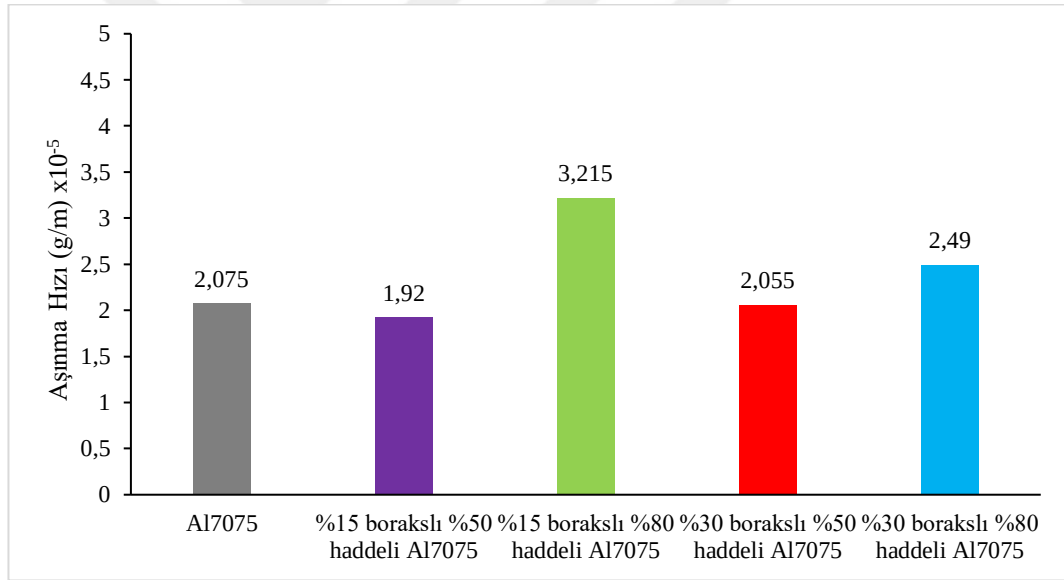
Kayma Mesafesi (m)	Al7075	%15 borakslı %50 haddeli Al7075	%15 borakslı %80 haddeli Al7075	%30 borakslı %50 haddeli Al7075	%30 borakslı %80 haddeli Al7075
0	0	0	0	0	0
200	0.0062	0.0098	0.0208	0.0067	0.0179
400	0.0103	0.0126	0.0252	0.0086	0.0221
600	0.0158	0.0158	0.036	0.013	0.0293
800	0.019	0.0216	0.0397	0.0189	0.0331
1000	0.0226	0.0245	0.0457	0.0221	0.0373

Şekil 5.65. %50 ve %80 haddeme oranında mekanik deformasyon uygulamasının ardından T6 ısıt işleme tabi olan numunelerin ağırlık kayıplarının eğrilerinin grafiği gösterilmiştir.

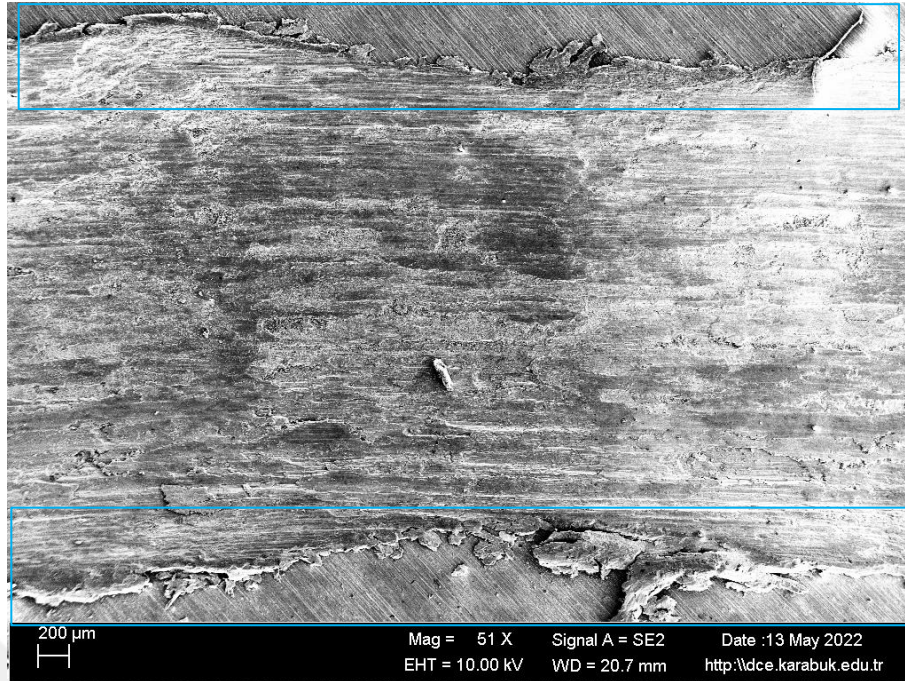


Şekil 5.65. T6 ısıt işlem görmüş %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında oluşan ağırlık kayıpları grafiği.

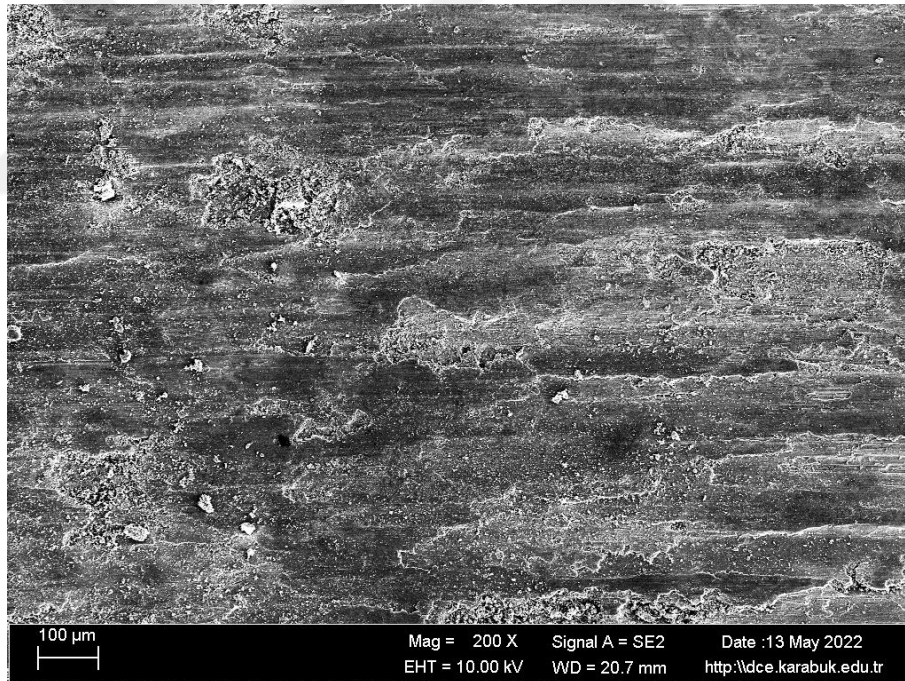
Şekil 5.65’de verilen eğrilerin eğimlerinden elde edilen aşınma hızı sonuçları Şekil 5.66’da gösterilmiştir. Şekil 5.66’da görüldüğü gibi en yüksek aşınma hızı $3.215 \text{ g/m} \times 10^{-5}$ olarak %15 boraks ilaveli %80 oranında haddelenmiş ve ardından T6 ısıtıl işlem görmüş numunede bulunduğu, en düşük aşınma hızı ise $1.92 \text{ g/m} \times 10^{-5}$ olarak %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş ve ardından T6 ısıtıl işlem görmüş numunede bulunduğu ve oradan da %15 boraks ilaveli numunenin %50 haddeleme oranından %80 haddeleme oranına kadar çıktığında T6 ısıtıl işlem uygulanmasıyla aşınma direncinin %40.3 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı sonuç %30 boraks ilaveli numunde bulunmuştur. %30 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş olan numunenin ağırlık kaybı %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş numuneden %10 oranında daha olmasına rağmen % 6.7 oranında daha yüksek aşınma hızına sahip olduğu gözlemlenmiştir.



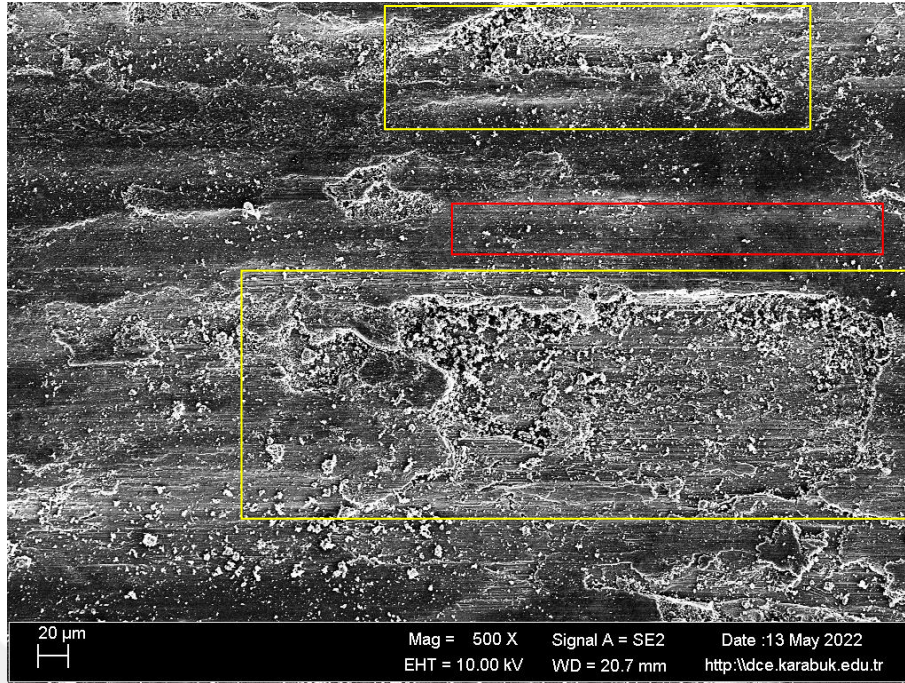
Şekil 5.66. Haddelenmemiş T6 ısıtıl işlem görmüş numunelerin kuru aşınma deneyi sonrasında aşınma hızları sonucu.



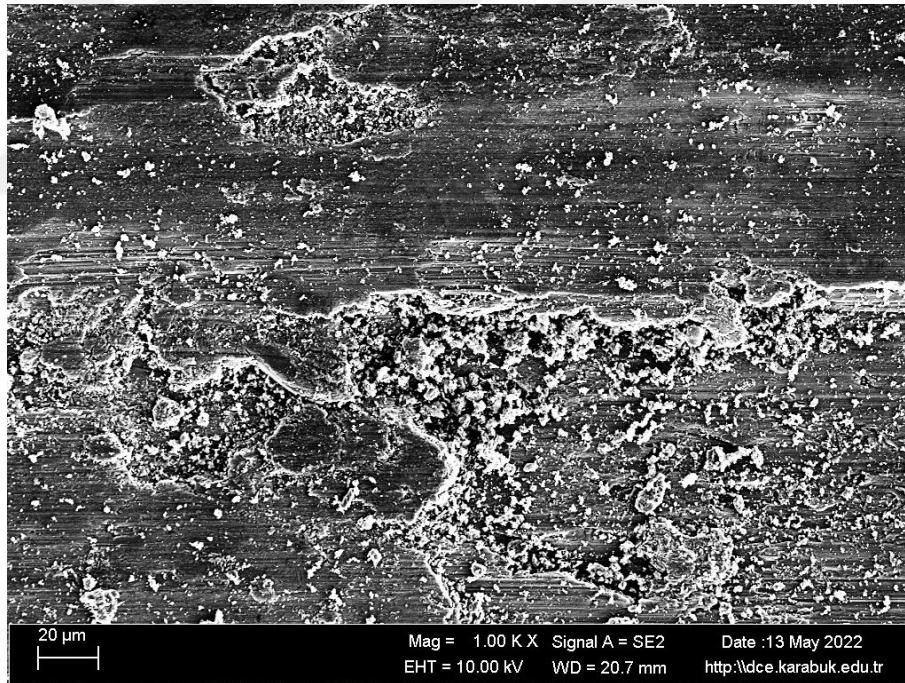
(a)



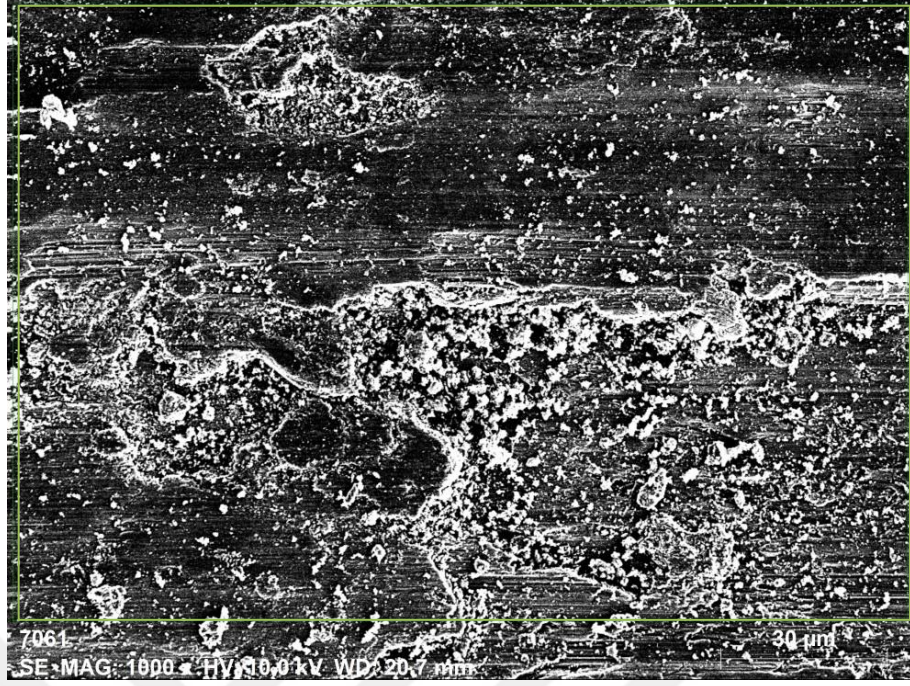
(b)



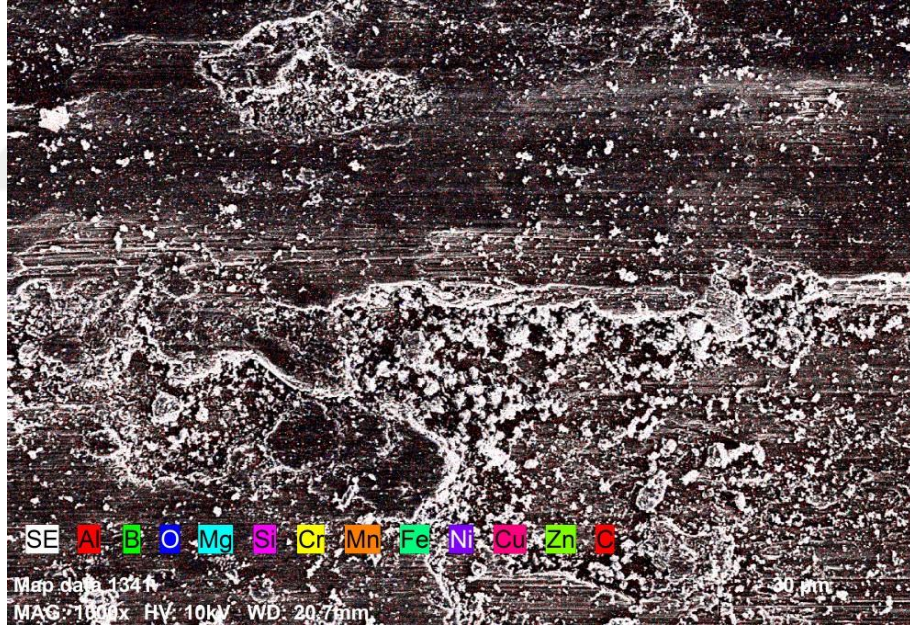
(c)



(d)

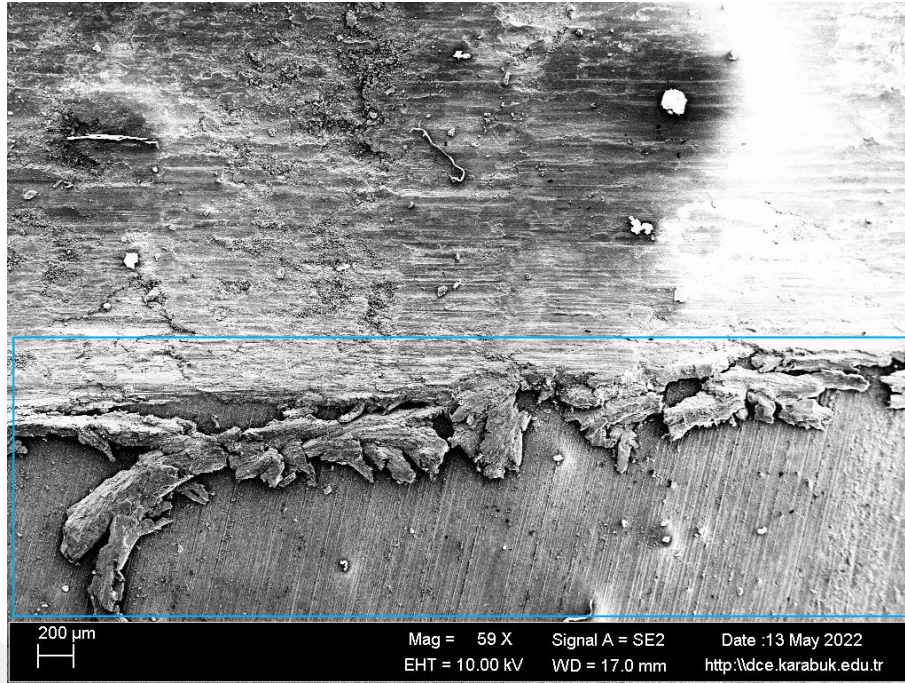


(e)

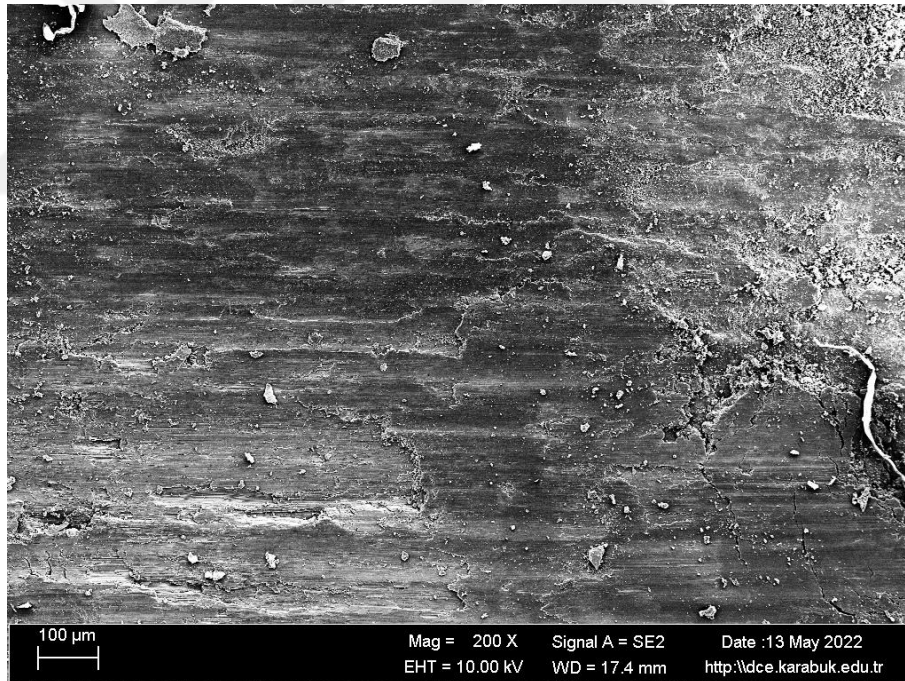


(f)

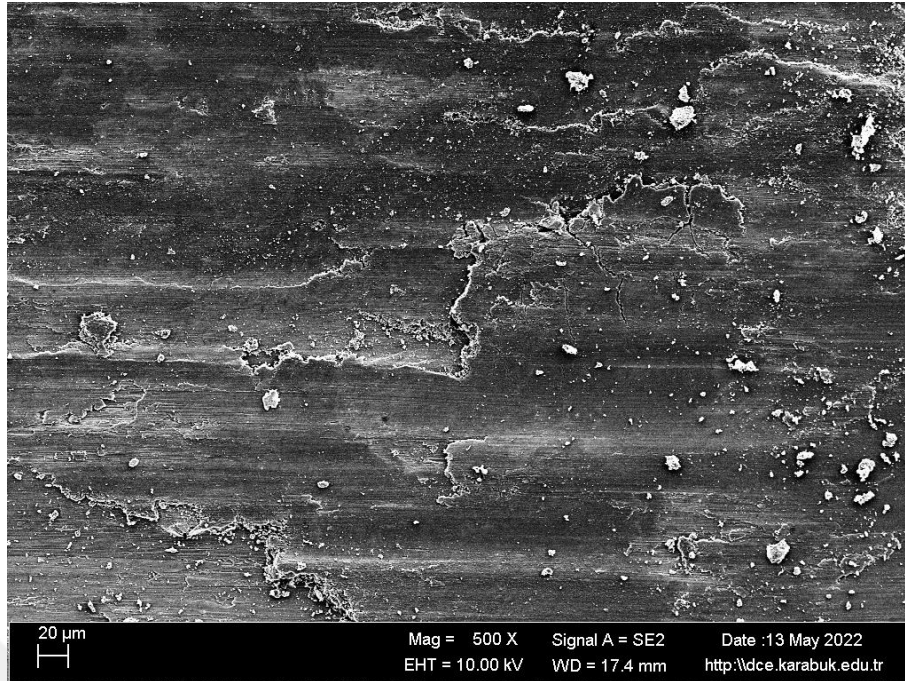
Şekil 5.67. T6 ısıt işlem görmüş %15 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 51 X büyütme; (b) 200 X büyütme; (c) 500 X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntüsü; (f) Şekil 5.67 e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.



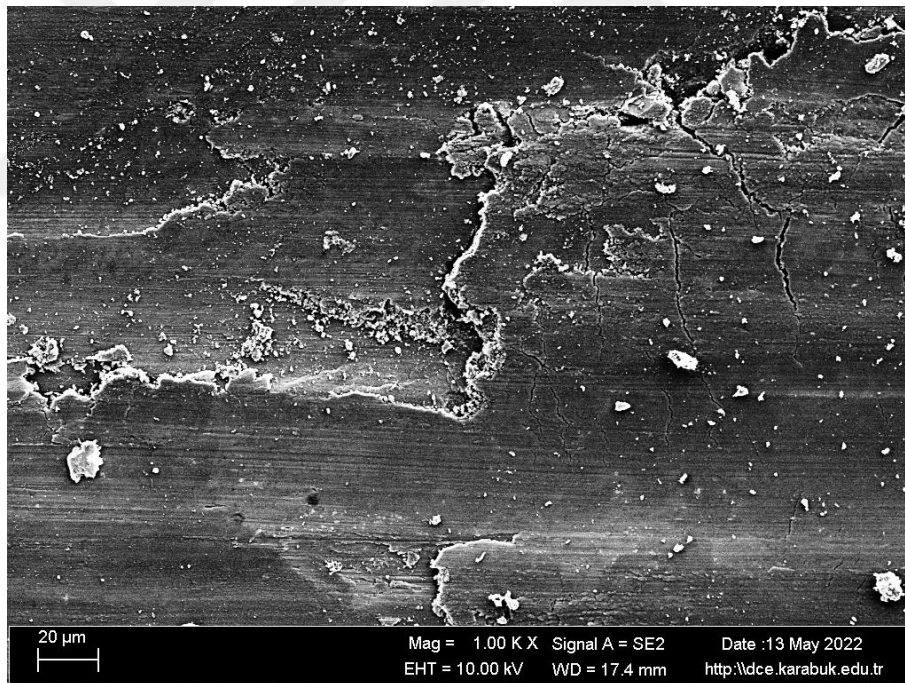
(a)



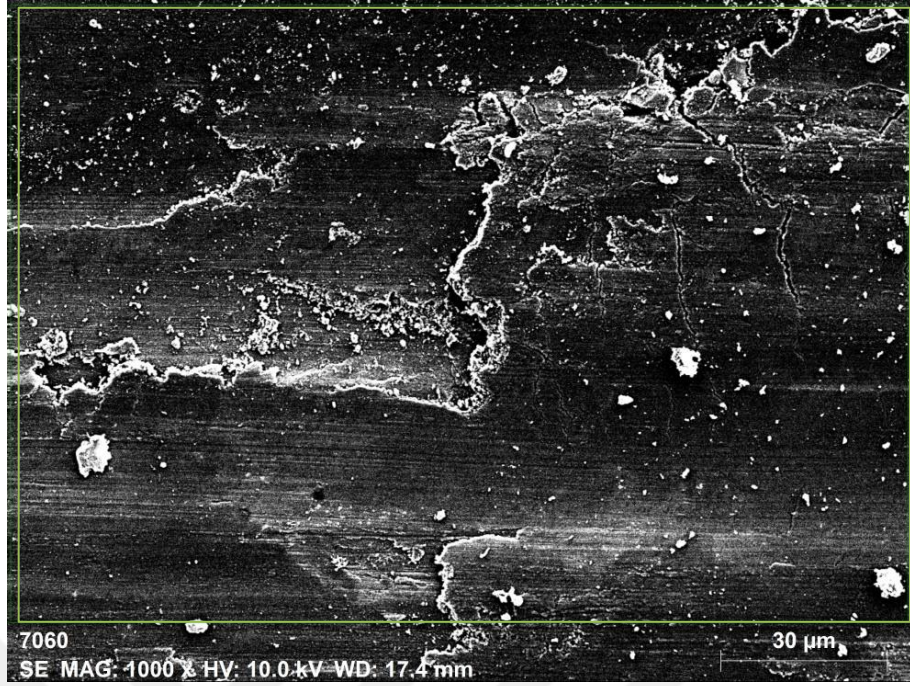
(b)



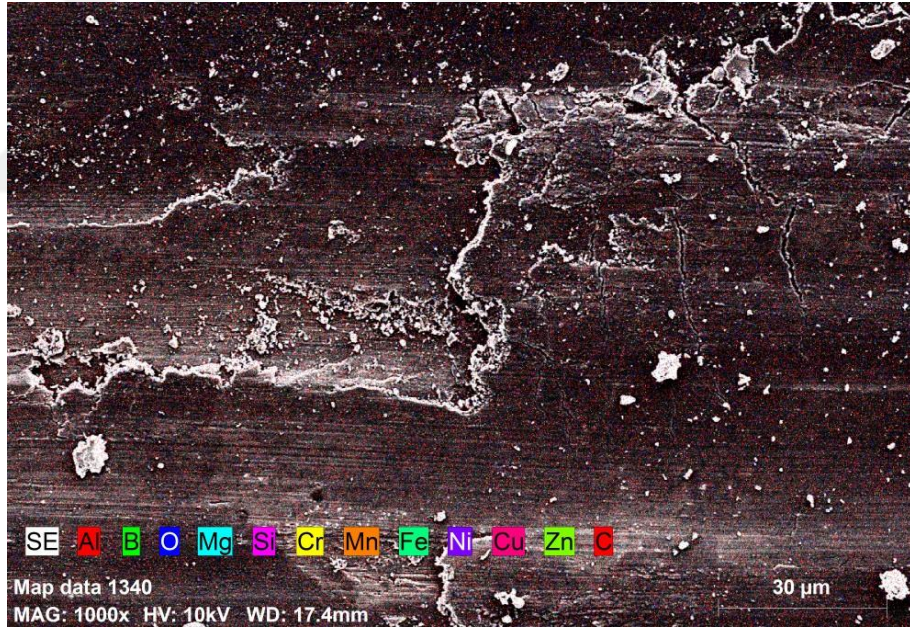
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil 5.68. T6 ısıt işlem görmüş %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numunenin aşınma SEM görüntüleri; (a) 59 X büyütme; (b) 200 X büyütme; (c) 500 X büyütme; (d) 1kX büyütme. (e) 1kX'te görüntü EDX analizi görüntürü; (f) Şekil 5.68 e'deki EDX görüntüsünün elementel mapping büyütmesi.

5.6. KOROZYON KARAKTERİSTİĞİ

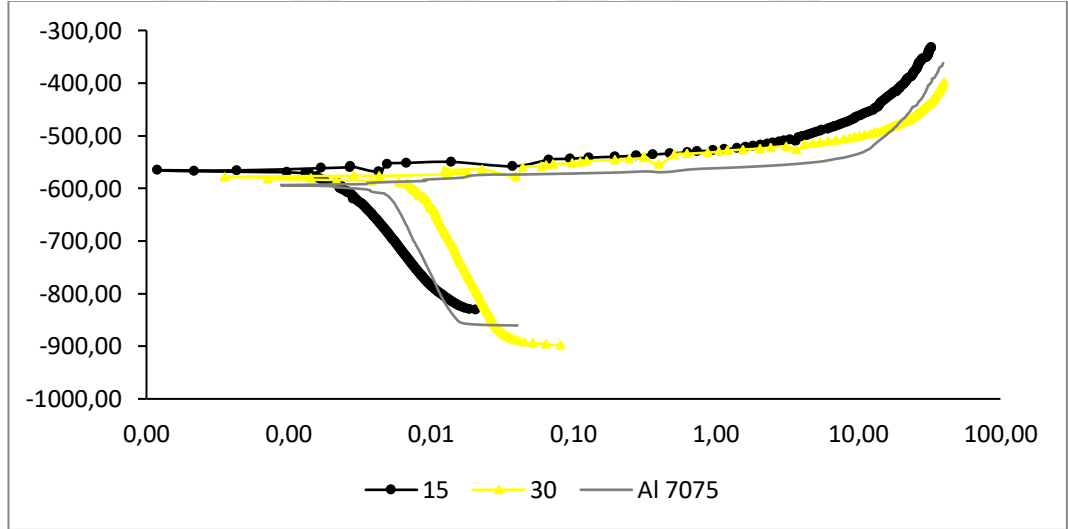
Numunelerin korozyon karakteristiğini incelemek için potansiyodinamik polarizasyon deneyi uygulanmıştır. Elektrolit olarak beher içerisine %3.5 NaCl içerikli saf su eklenmiştir. Deneyde kullanılacak yüzey haricindeki yüzeyler epoksi malzemesi ile kaplanmış ardından korozyona maruz kalacak yüzey zımpara makinası kullanarak sırasıyla 60-150-220-400-800-1200-1600-2500 mesh zımpara ile parlatılıp temizlendikten sonra 5mm delik çapına sahip sıvı geçirmeyen ve yalıtkan malzeme ile kaplanmıştır. Numunenin 5mm çapındaki delik yüzey haricindeki bütün yüzeyleri yalıtıldığından emin olunduktan sonra beher içerisine numune yerleştirilmiştir. Deney oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk ortalama 2.7 g/cm^3 olarak alınmıştır. Numunede açılan delik alan sıvı içerisinde olduğundan emin olmak gerekir. Deneyde sıvı içerisinde olan numune çalışma elektrotu olarak, karbon elektrot çalışma elektrotuna karşı elektrot görevi görür ve doymuş kalomel elektrot (SCE) referans elektrot olarak kullanılır. Korozyon deneyi zamanı içerisinde doymuş kalomel elektrot (referans elektrot) ve çalışma elektrodu arasında geçen korozyon potansiyellerinin değişimleri mV olarak ölçülür. Bilgisayar ortamında bu kayıt edilen değerlerin okuyabilmek için GAMRY model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat içerisinde DC105 korozyon analizini kullanılmıştır. E_{corr} yani denge potansiyeline ulaştıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri katodikten anodik değerlere doğru kayıt altına alınır. Tafel eğrileri sonuçlar kullanılarak I_{corr} yani korozyon akım yoğunluğu ve E_{corr} yani korozyon potansiyeli hesaplanmıştır.

İncelemelerin sonuçları her numune için 3 farklı deney yapıp ortalamalar alındıktan sonra yorumlanmıştır.

Tafel eğrisi, bir elektrokimyasal hücredeki elektrotlar arasındaki potansiyel ve akım arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafikdir. Bu grafikte, elektrot yüzeyindeki akım yoğunluğu potansiyel değişimine karşı gösterilir. Tafel eğrisi, katodik ve anodik eğrilerden oluşur. Bu eğriler, elektrokimyasal reaksiyonların yönünü ve hızını belirlemek için kullanılır. Katodik eğri, elektrolit içindeki metal yüzeyine pozitif bir potansiyel uygulandığında, elektrot yüzeyindeki akım yoğunluğunu belirleyen bir grafikdir. Bu eğri, metalin elektrokimyasal olarak indirgenmesini gösterir ve Tafel

eğrisinde negatif potansiyel bölgesinde yer alır. Anodik eğri ise, elektrolit içindeki metal yüzeyine negatif bir potansiyel uygulandığında, elektrot yüzeyindeki akım yoğunluğunu belirleyen bir grafiktir. Bu eğri, metalin elektrokimyasal olarak oksitlenmesini gösterir ve Tafel eğrisinde pozitif potansiyel bölgesinde yer alır.

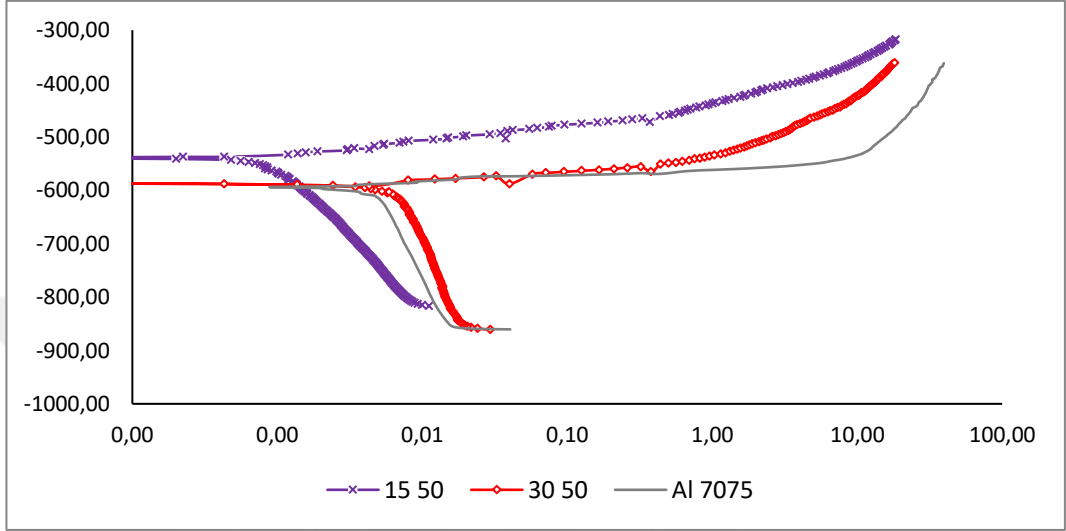
Korozyon durumunu anlamak için, Tafel eğrisindeki iki eğri arasındaki farka bakılır. Eğer katodik eğri, anodik eğriden daha yüksek bir akım yoğunluğu ile karakterize edilirse, metalin korozyona uğradığı ve elektrokimyasal olarak indirgendiği anlaşılr. Bu durumda, korozif ajanlar tarafından indirgenen oksijen, hidrojen veya diğer redüktörlerin tüketilmesi sonucu yüzeydeki potansiyel düşer ve akım yoğunluğu artar. Aksi takdirde, anodik eğri, katodik eğriden daha yüksek bir akım yoğunluğu ile karakterize edilirse, metalin pasif hale geldiği ve elektrokimyasal olarak oksitlendiği düşünülebilir. Bu durumda, pasif filmin oluşumu ile birlikte metal yüzeyinde bir oksit tabakası oluşur ve bu tabaka yüzeyi korur [95–98].



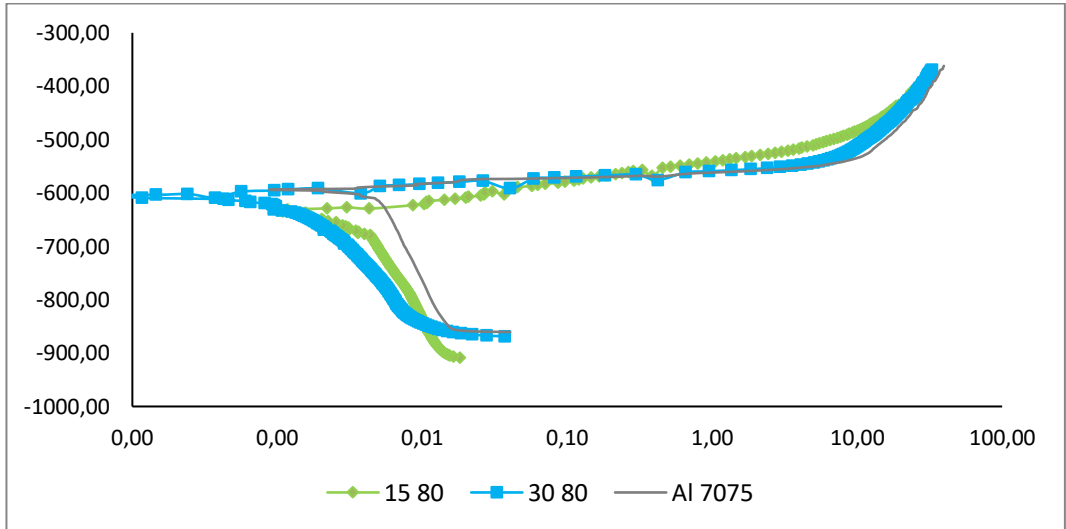
Şekil 5.69. T6 ısıt işlem görmemiş haddelenmemiş numunelerin korozyon deneyi sonuçları.

Şekil 5.69'da T6 ısıt işlem görmemiş haddelenmemiş %15 ve %30 boraks ilaveli Al7075 numuneler ile boraks ilavesiz Al7075 numunesinin potansyodinamik korozyon deneyi sonuçlarını elde etmek için yapılan Tafel eğrileri gösterilmiştir.

%50 oranında haddelenen %15 ve %30 boraks ilaveli numuneler Şekil 5.70’de, %80 oranında haddelenen %15 ve %30 boraks ilaveli numuneler ise Şekil 5.71’de gösterilmiştir. Al7075 numunesinin polarizasyon eğrisi bütün şekillerde karşılaştırmak amacıyla eklenmiştir.



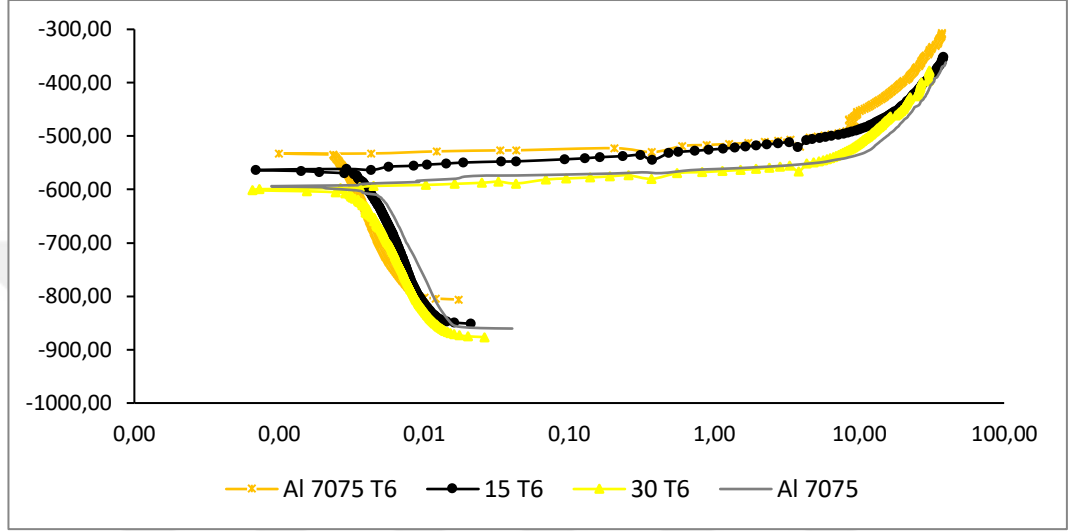
Şekil 5.70. T6 ısıt işlem görmemiş %50 haddelenmiş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.



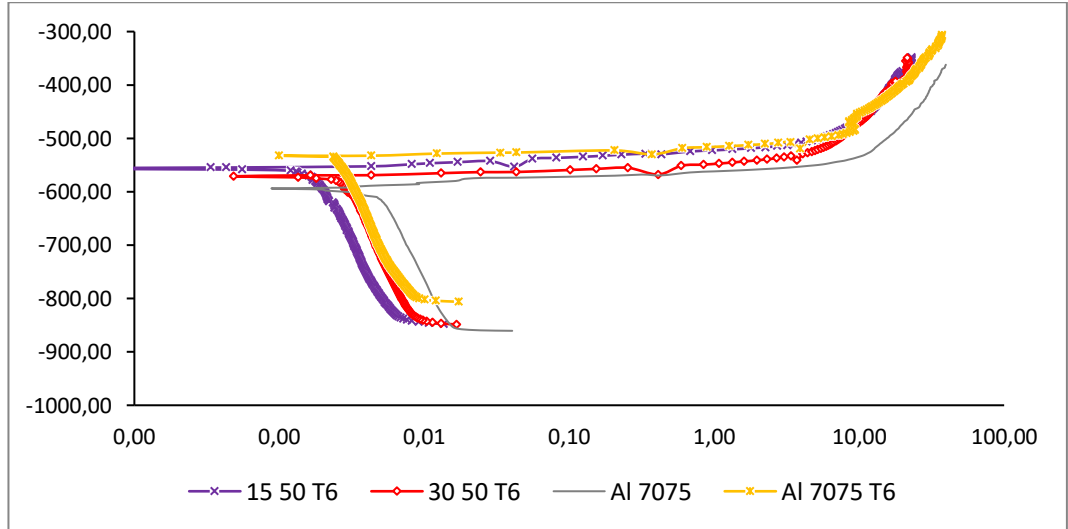
Şekil 5.71. T6 ısıt işlem görmemiş %80 haddelenmiş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.

Haddelenmemiş %15 ve %30 boraks ilaveli Al7075 numuneler ve Al7075 boraks ilavesiz numunesi T6 ısıt işleminden sonra korozyon davranışını incelemek için

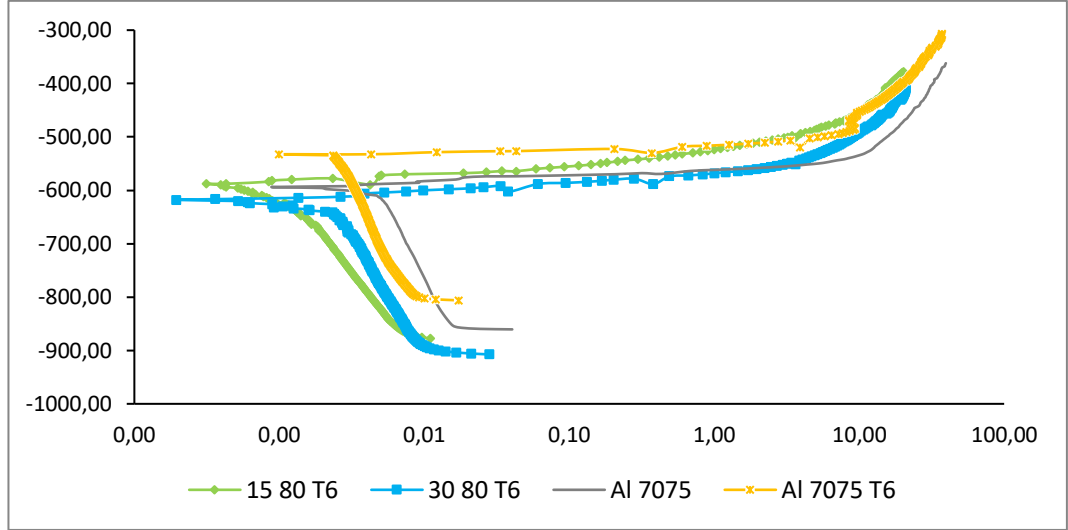
kullanılan polarizasyon eğrileri Şekil 5.72’de gösterilmiştir. Farklı oranlarında haddelenmiş ardından ısıt işlem görmüş olan %15 ve %30 oranlarında boraks ilaveli ve ilavesiz numunelerin polarizasyon eğrileri sırasıyla %50 oranında haddelenmiş numuneler Şekil 5.73’de %80 oranında haddelenmiş olan numuneler ise Şekil 5.74’de gösterilmiştir.



Şekil 5.72. Haddelenmemiş T6 ısıt işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.



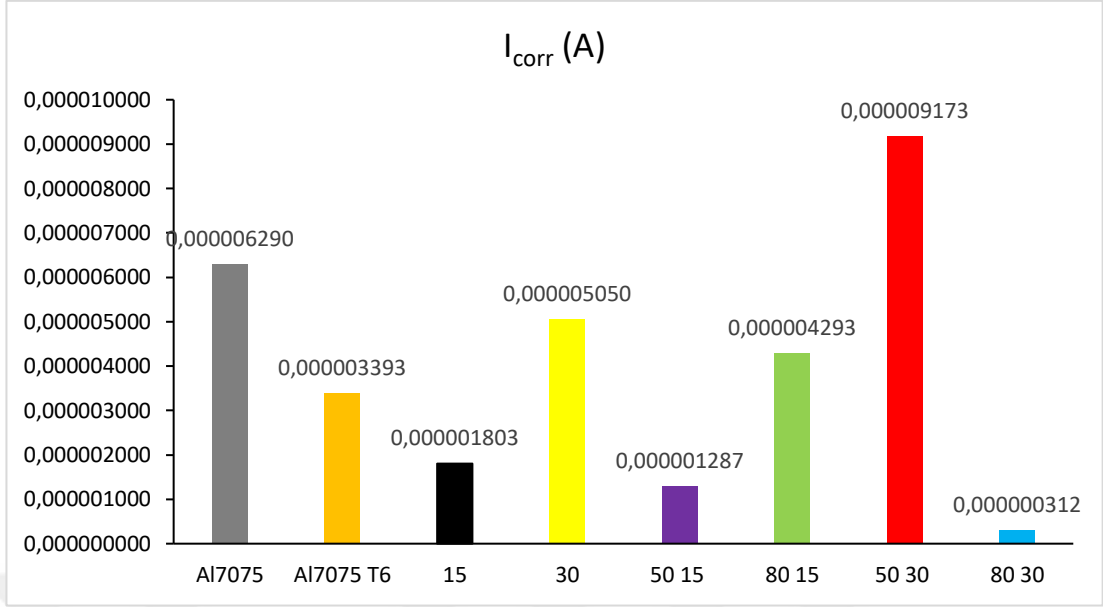
Şekil 5.73. %50 haddelenmiş T6 ısıt işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.



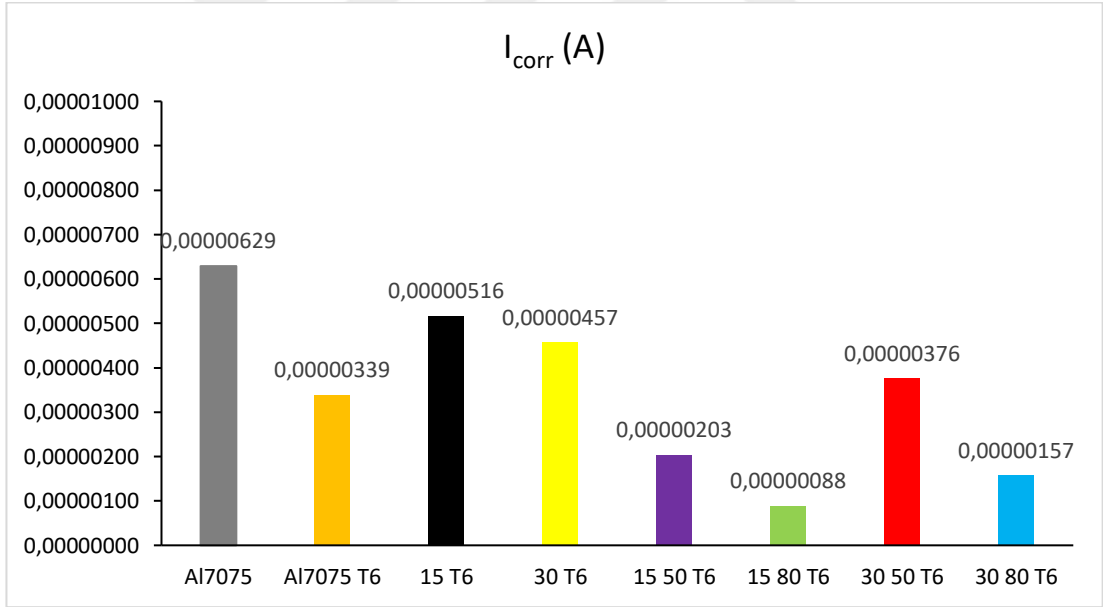
Şekil 5.74. %80 haddelenmiş T6 ısıt işlem görmüş numunelerin korozyon deneyi sonuçlarının polarizasyon eğrileri.

Genel olarak bütün Tafel eğrilerine bakıldığında malzemelerin anodik eğrisinin eğimi düşük ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Anodik eğrilerin eğimine bakıldığında ilk başta oldukça düşük olduğu yani akım hızının yüksek ve dolayısıyla korozyon direncinin düşük olduğu ancak belirli bir noktadan sonra eğrinin sıfıra doğru arttığını ve dolayısıyla akım hızının azaldığını ve daha sonra durduğunu görülmüştür. Bu sonuç oldukça küçük korozyonların elde edildiğinin göstergesidir.

Korozyon akım yoğunluğu I_{corr} Tafel eğrisinin katodik ve anodik eğrilerinin 3 farklı yerinden alınıp ortalamaları aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



Şekil 5.75. T6 ısıt işlem görmemiş numunelerin I_{corr} (korozyon akım yoğunluğu) değerleri.



Şekil 5.76. T6 ısıt işlem görmüş numunelerin I_{corr} (korozyon akım yoğunluğu) değerleri.

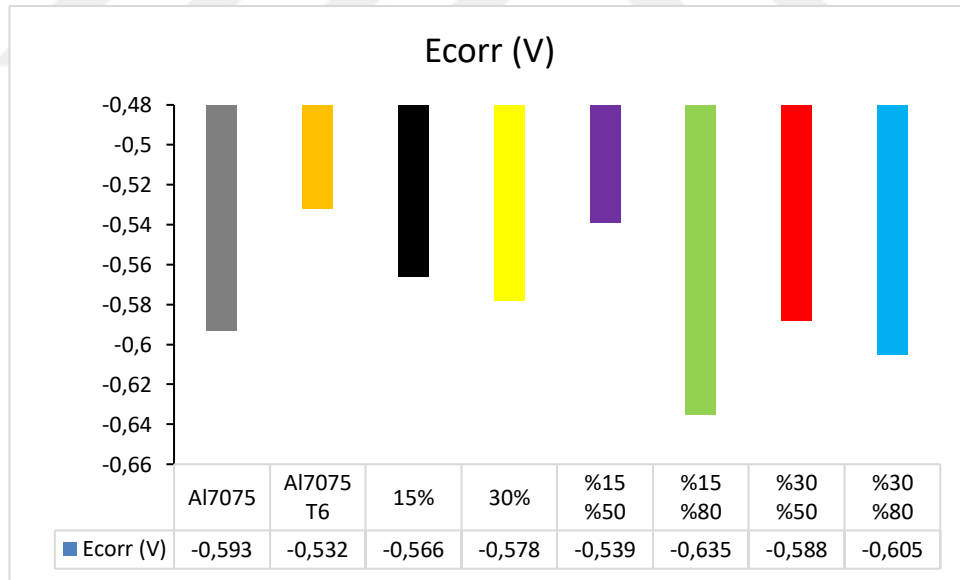
Numunelerin korozyon direnci, I_{corr} yani akım yoğunluğu veya akım hızı değeri azaldıkça artmaktadır. I_{corr} artmasıyla numunelerin korozyon direnci azalmaktadır. T6 ısıt işlem görmemiş olan numuneler Şekil 5.75’de T6 ısıt işlem görmüş olan numuneler ise Şekil 5.76’da I_{corr} akım yoğunluğu değerleri verilmiştir. T6 ısıt işlem görmemiş

olan numunelerin I_{corr} akım yoğunluğu değerlerine bakıldığında %30 boraks ilaveli ve %50 oranında haddelenmiş olan numunenin 0.000009173 A değeri ile en fazla I_{corr} değerine yani korozyon hızına sahip olduğu görülmektedir. Bu değer T6 ısıtma işlemi ile 0.00000376 A'ya kadar azalmıştır. Yani T6 ısıtma işlemi bu numunenin korozyon direncinde iyileşme sağlamıştır. Bu iyileşmeyi de T6 ısıtma işleminden önce 0.000004293 A I_{corr} değerine sahip %15 borakslı %80 oranında haddelenmiş numunenin T6 ısıtma işleminden sonra 0.00000088 A I_{corr} değerine kadar azalmasıyla görülmüştür aynı durum fakat çok daha az oranda T6 ısıtma işleminden önce 0.000005050 A I_{corr} değerine sahip olan %30 boraks ilaveli Al7075 numunesinin T6 ısıtma işleminden sonra 0.00000457 A'ya kadar düşmesiyle yaşanmıştır. 0.000000312 A değerinde en yüksek korozyon direncine yani en az I_{corr} değerine sahip olan %30 boraks ilaveli %80 haddelenmiş numuneneye bakıldığında ise T6 ısıtma işleminden sonra korozyon direncinin azaldığı akım hızının yani I_{corr} değerinin 0.00000157 A'ya kadar arttığı görülmüştür. Diğer numunelere bakıldığında T6 ısıtma işleminden önce 0.000001803 A I_{corr} değerine sahip %15 boraks ilaveli numunenin T6 ısıtma işlemi ile 0.00000516 A I_{corr} değerine kadar arttığını aynı şekilde fakat daha az oranda T6 ısıtma işleminden önce 0.000001287 A I_{corr} değerine sahip %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş olan numunenin T6 ısıtma işlemiyle 0.00000203 A'ya kadar arttığı yani korozyon dayanımının düştüğü görülmüştür.

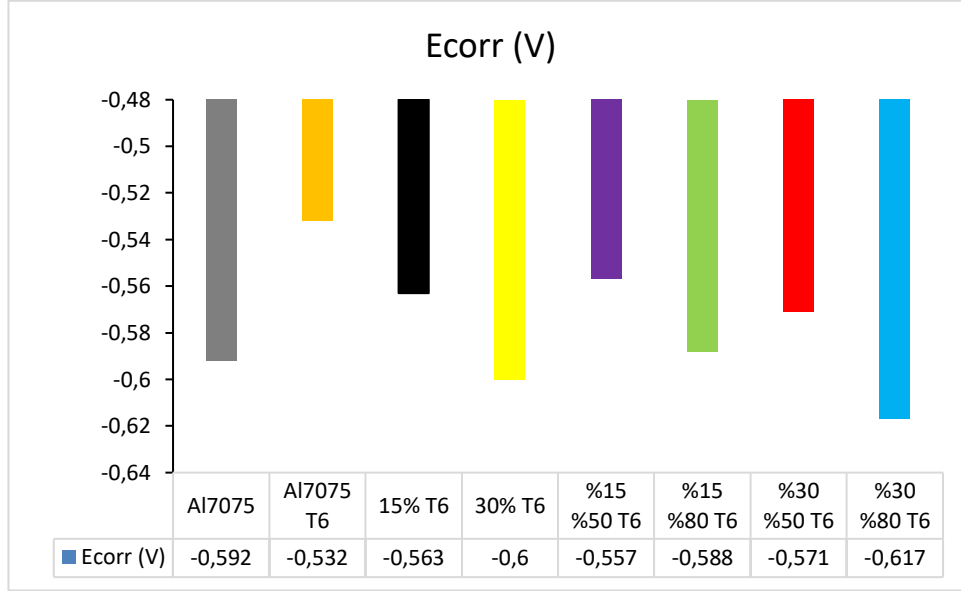
T6 ısıtma işleminden önce analiz sonucunda bulunan bütün I_{corr} değerlerine bakıldığında %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesi hariç bütün numunelerin korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) değerlerinin, 0.00000629 A değerine sahip T6 ısıtma işlemi görmemiş ana matris Al7075 malzemesinin numunesinden daha düşük olduğu görülmüştür. T6 ısıtma işleminden sonra %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesinin I_{corr} değeri 0.000009173 A'dan 0.00000376 A'ya kadar düştüğünden T6 ısıtma işleminden sonra bütün numunelerin I_{corr} değerleri T6 ısıtma işlemi görmemiş Al7075 ana matris malzemesinden daha düşük olduğu yani bütün malzemelerin ana malzemeye göre korozyon direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Al7075 ana matris malzemesinin T6 ısıtma işleminden sonra I_{corr} değerinin 0.00000629 A'dan 0.00000339 A'ya kadar düştüğü gözlemlenmiştir. T6 ısıtma işleminden sonraki numunelere bakıldığında da deformasyon görmüş yani haddelenmiş olan numuneler deformasyon görmemiş olan numunelerden daha düşük I_{corr} değerine yani daha yüksek korozyon

direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir. %30 borakslı ve %15 borakslı her iki malzemenin haddeleme oranı arttıkça direncinin arttığını da görülmüştür. %15 borakslı malzeme %30 borakslı malzemeden haddeleme oranı artmasıyla birlikte daha çok korozyon direncinin arttığı gözlemlenmiştir.

I_{corr} değerlerine bakılarak T6 ısıtılmasından önce korozyon direnci en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye doğru sıraladığımızda “(%30 borakslı %80 haddeli) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%15 borakslı Al7075) > (%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075)” şeklinde sıralanabilir. T6 ısıtılmasından sonra korozyon direnci en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye doğru sıraladığımızda ise “(%15 borakslı %80 haddeli) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%30 borakslı Al7075) > (%15 borakslı Al7075)” şeklinde sıralanabilir.



Şekil 5.77. T6 ısıtılmasından görmüş numunelerin E_{corr} (korozyon akım potansiyeli) değerleri.



Şekil 5.78. T6 ısıt işlem görmemiş numunelerin E_{corr} (korozyon akım potansiyeli) değerleri.

E_{corr} yani korozyon akım potansiyeli potansiyodinamik polarizasyon deneyinde akımların geçmesi gereken engel şeklinde açıklanabilir. Malzemelerin E_{corr} değerlerinin negatif olması korozyonda aktif yönde bariyer gücünün düşük olduğu anlamına gelir. E_{corr} değerlerinin pozitif olması ise korozyonda asil yönde olduğunu ve bariyer gücünün yüksek olduğu anlamına gelir. E_{corr} pozitifeye doğru yaklaştıkça akımın geçilmesi gereken engel artar engel artarsa akım yoğunluğu veya akım hızı (I_{corr}) azalır azalırsa da korozyon direnci artar. E_{corr} pozitiflikten uzaklaştıkça da akımın geçmesi gereken engel azalır yani korozyon direnci düşer. Unutulmaması gereken şu ki korozyon hızını tanımlayan asıl parametre E_{corr} korozyon akım potansiyeli değil I_{corr} korozyon akım hızıdır.

T6 ısıt işlem görmüş numuneler Şekil 5.77 ile, T6 ısıt işlem görmemiş numuneler ise Şekil 5.78 ile gösterilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen T6 ısıt işlemi uygulamadan önce ve uyguladıktan sonraki E_{corr} değerlerine bakıldığında bütün numunelerin değerleri negatif yönde olduğu görülmüştür. Numunelerin bütün potansiyel değerlerinin birbirine yakın olduğu T6 ısıt işlem görmemiş olan numunelerde -0.635 ile -0.539 V arasında değiştiği T6 ısıt işlem uyguladıktan sonra ise bu aralıkta -0.617 ile -0.557 V'a değiştiği görerek tespit edilmiştir.

Bu malzemenin korozyonda aktif yönde olduğu gösterir ancak I_{corr} değerlerine bakıldığında μA cinsinden bulunduğundan bu aktifliğin düşük olduğu anlaşılabilir.



BÖLÜM 6

SONUÇLAR

Bu çalışmada %15 boraks ilaveli Al7075, %30 Boraks ilaveli Al7075 malzemeler üretilmiş ve bu malzemelere soğuk haddeleme ve T6 ısıt işlem uygulanmıştır. Üretilen malzemenin spektral analizini, mikro yapı incelemesi, sertlik ölçümü, SEM analizi, XRD analizi, kuru aşınma karakteristiği deneyi, potansyodinamik polarizasyon korozyon deneyi yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir.

1. Spektral analiz sonuçlarına bakıldığında Al 7075'ye %15 Boraks ilavesiyle Mg oranı %2.5 dan %0.15 e düştüğü, % 30 Boraks ilavesiyle ise Mg oranı %2.5 den % 0,04 a düştüğü görülmüştür. Bunun nedeni boraktaki B_2O_3 'ün 3Mg ile birleşmesi sonucunda magnezyumun oksitlenmesi (3MgO oluşturması) ve saf bor açığa çıkmasıdır. %30 boraks ilavesinden %0.54 bor elde edildiğini %15 boraks ilavesinden ise %0.47 bor elde edildiğini görülmüştür.
2. Al7075 alaşımına ağırlıkça %30 boraks ilavesi ile ortalama tane boyutunu 111 μm 'den 172 μm 'ye arttığını, %15 boraks ilavesiyle ortalama tane boyutunu 111 μm 'den 130 μm 'ye arttığını gözlemlenmiş ve oradan da boraks ilavesi arttıkça ortalama tane boyutunun büyüdüğünün sonucuna varılmıştır.
3. T6 ısıt işlem uygulandığında Al7075 numunesinin ortalama tane boyutu 111 μm 'den 106.6 μm 'ye kadar azaldığı, %15 boraks ilaveli Al7075 numunesinin ise ortalama tane boyutu 130 μm 'den 105.6 μm 'ye, %30 boraks ilaveli Al7075 numunesinin ise ortalama tane boyutu 172 μm 'den 166 μm 'ye azaldığı gözlemlenmiştir. T6 ısıt işlem uygulanmadan önce en küçük tane boyutu 111 μm olarak Al7075 numunesinde bulunurken, T6 ısıt işlem uygulanmasının ardından en küçük tane boyutu %15 boraks ilaveli numunede 105.6 μm olarak bulunmuştur.

4. %50 ve %80 soğuk haddeme işleminin ardından T6 ısıt işleml uygulanmasıyla T6 ısıt işleml görmüş ve görmemiş (%15 ve %30 boraks ilaveli) bütün numunelerin tane boyutunun düştüğü ve Al7075 (T6 ısıt işleml görmüş ve görmemiş olan) malzemesinin tane boyutundan daha küçük tane boyutu elde edildiği gözlemlenmiştir.
5. Haddeme işleminin ardından T6 ısıt işleme maruz kalmış numuneler ile haddelenmeden sadece T6 ısıt işleme maruz kalan numuneler karşılaştırıldığında, %15 boraks ilaveli numune %50 oranında haddelenmesinin ardından T6 ısıt işleml uygulanmasıyla ortalama tane boyutunun (33 μm) sadece T6 ısıt işleml gören %15 boraks ilaveli numunenin tane boyutundan (105.6 μm) % 43.7 oranında küçölme olduğı, %80 deformasyon ise tane boyutunu etkilemediği görölmüştür.
6. %30 boraks ilaveli numune %50 oranında haddelenmesinin ardından T6 ısıt işleml uygulanmasıyla ortalama tane boyutunun (105.6 μm) , sadece T6 ısıt işleml gören %30 boraks ilaveli numunenin tane boyutundan (33 μm) %68.7 oranında küçölme olurken, %30 boraks ilaveli numune %80 oranında haddelenmesinin ardından T6 ısıt işleml uygulanmasıyla bu oran %72.7 olmuştur. T6 ısıt işleml gören numunelerde haddeme oranı arttıkça tane boyutu küçöldüğü %30 boraks ilaveli malzemede görölmüştür.
7. %15 boraks ilaveli (%50 ve %80) haddelenmiş malzemelerin yapay yaşlandırma süresinin arttırılmasıyla sertliğinin azaldığı yani yaşlanma kabiliyetlerinin olmadığı görölmüştür. %30 boraks ilaveli malzemelerde ise sadece %80 haddelenmiş numunenin yaşlanma kabiliyetinin olduğı görölmüştür.
8. T6 ısıt işleml uygulanmadan önce haddelenmiş ve haddelenmemiş numunelerin arasında en yüksek sertlik değeri 84.11 HB olarak %15 borakslı %80 oranında haddelenmiş numunede bulunurken, en düşük sertlik değeri 65,54 HB olarak %30 borakslı %50 oranında haddelenmiş numunede bulunmuştur.
9. %30 ve %15 boraks ilaveli numuneler ana Al7075 numunesinin sertlik değerleriyle karşılaştırıldığında %15 boraks ilavesi sertliği 81.64 HB'den 83.76 HB'ye kadar %2.5 oranında arttırırken, %30 boraks ilavesi ise sertliği 81.64 HB'den 66 HB'ye kadar %19 oranında düşürmüştür.

10. %15 borakslı numunenin sertliğini uygulanan %50 oranında haddemeleme işlemiyle 83.76 HB'den 79.22 HB'ye kadar %5.4 oranda düşerken, %80 oranına kadar haddelenmesiyle ise 84.11 HB'ye kadar %4.2 oranda arttığı görülmüştür.
11. %30 borakslı numunelerin sertliğini ise uygulanan %50 haddeme oranı ile 66 HB'den 65.54 HB'ye kadar % 0.7 oranda düşerken, %80 oranına kadar haddelenmesiyle ise 70.89 HB'ye kadar %7 oranda arttığı görülmüştür.
12. Boraks ilaveli haddelenmemiş numunelerin Brinell sertlik değerleri T6 ısıtım işlemi uygulanmasıyla düştüğü gözlemlenmiştir. 83.76 HB sertlik değerine sahip %15 borakslı numunenin T6 ısıtım işlemi uygulanmasıyla 67.76 HB sertlik değerine kadar % 19.1 oranından düştüğü gözlemlenmiştir. Bu oran %30 borakslı numunede %1.5 oluşmuştur.
13. T6 ısıtım işlemi uygulandıktan sonra en yüksek sertlik değeri 74.83 HB olarak %30 boraks ilaveli %80 oranında haddelenmiş numunede bulunduğu, en düşük sertlik değeri ise 65 HB olarak %30 borakslı numunede olduğu gözlemlenmiştir.
14. Haddemeleme işleminin ardından T6 ısıtım işleminin uygulanması haddelenmiş ancak T6 ısıtım işlemi görmemiş numunelere göre karşılaştırıldığında %15 boraks ilaveli numunelerde sertliği düşürürken %30 boraks ilaveli numunelerde arttırmıştır. %50 haddemeleme işlemi uygulamasının ardından uygulanan T6 ısıtım işleminin %15 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini %15.4 oranında düşürdüğü, %30 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini ise %10.4 oranında arttırdığı görülmüştür. %80 haddemeleme işlemi uygulamasının ardından ise uygulanan T6 ısıtım işleminin %15 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini %14 oranında azalttığı, %30 boraks ilaveli numunenin sertlik değerini ise %5.3 arttırdığı görülmüştür.
15. Mapping ve SEM görüntülerine bakıldığında ilave edilen bor elementinin tane sınırlarında bulunduğu gözlemlenmiştir.
16. Borun yoğun olduğu bölgelerde magnezyumun da yoğun olduğu görülmüştür. MgB_2 ve $AlMgB_{14}$ fazları oluştuğu görülebilir.
17. B elementinin yoğun olduğu alanlarda da Cr un da yoğun olduğu gözlemlenmiştir bu da CrB alaşımının bulunduğu gösterebilir.

18. Mg oranı %30 borakslı numunelerde %15 borakslı numunelerle karşılaştırıldığında daha az olduğu hem spektral analiz hem de SEM analizinde yapılan spektral analizde fark edilmiştir.
19. %30 borakslı numunelerin EDX sonuçlarına bakıldığında, Cu hariç diğer bütün elementler homojen olarak birbirine yakın olanlarda dağıldığı görülmüştür.
20. Haddelenmemiş ve ısıtılmış işlem görmemiş boraks ilaveli ve boraks ilavesiz numuneler arasında ağırlık kaybı en yüksek dolayısıyla aşınma direnci en düşük 0.0336 g olarak toplam ağırlık kaybı ile %15 boraks ilaveli numune sergilemiştir. Boraks ilavesinin artırılmasıyla toplam ağırlık kaybında düşüş dolayısıyla aşınma direncinde artış %30 boraks ilaveli numunede 0.031 g toplam ağırlık kaybı ile meydana gelmiştir.
21. Haddelenmemiş ve ısıtılmış işlem görmemiş boraks ilaveli ve boraks ilavesiz numuneler arasında toplam ağırlık kaybı en düşük olan yani aşınma direnci en yüksek olan numune toplam 0.0226 g ağırlık kaybına sahip boraks ilavesi içermeyen Al7075 ana malzeme numunesidir.
22. Ağırlık kaybı en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye sıralayacak olursak “(%15 borakslı Al7075) > (%30 borakslı Al 7075) > (Al 7075)” şeklinde sıralanabilir.
23. %15 borakslı Al7075 numunesi en yüksek aşınma hızına sahip olduğu görülmüştür. Aşınma hızı değeri 3.375×10^{-5} g/m'dir. %30 borakslı Al7075 numunesinin aşınma hızı değeri ise 3.045×10^{-5} g/m'dir. Al7075 numunesinin aşınma hızı değeri ise 2.075×10^{-5} g/m'dir.
24. Kuru aşınma deneyi sonucunda aşınma direnci yüksek bulunan numunelerin aşınma izinin SEM görüntülerine bakıldığında abrasif bölgelerden çok adesif bölgelerin bulunduğu gözlemlenmiştir.
25. Plastik deformasyon oluşmasından dolayı aşınma izi kenarlarında meydana gelen aşınma sırasında aşınan alanın ortasından kenarlara doğru akan kırılmalar aşınma direnci yüksek olan numunelerin SEM görüntüsünde aşınma direnci daha düşük olan numunelerde daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.
26. T6 ısıtılmış işlem uyguladıktan sonra en yüksek ağırlık kaybı 0.0585 g olarak %15 boraks ilaveli numunede olduğu ve bu ağırlık kaybının boraks ilavesinin %30 kadar arttırılmasıyla 0.0286 g'a kadar düştüğü gözlemlenmiştir.

27. Boraks ilaveli numuneleri T6 ısıt işlem görmeden önce ve gördükten sonraki aşınma direncini karşılaştırıldığında %30 borakslı numunenin T6 ısıt işlemden sonra ağırlık kaybının 0.031 g'dan 0.0286 g'a (%7,74) kadar düştüğü dolayısıyla aşınma direncinin arttığı, %15 borakslı numunenin ise ağırlık kaybının T6 ısıt işlem uygulandıktan sonra 0.0336 g'dan 0.0585 g'a (%42,56) arttığı dolayısıyla aşınma direncinin düştüğü gözlemlenmiştir.
28. T6 ısıt işlemden sonra en yüksek aşınma hızına sahip olan numune %15 borakslı numunedir. Aşınma hızı 4.225×10^{-5} g/m olarak bulunmuştur. Boraks ilavesinin oranı %15'den %30'a artırıldığında aşınma hızının 4.225×10^{-5} g/m'dan 2.41×10^{-5} g/m'a kadar düştüğü görülmüştür.
29. T6 ısıt işlem görmüş olan numunelerin aşınma hızları ile T6 ısıt işlem görmemiş numunelerin aşınma hızları karşılaştırıldığında ise %30 borakslı numune T6 ısıt işlem ile aşınma hızının 3.045×10^{-5} g/m'dan 2.41×10^{-5} g/m'a düştüğü yani %20 olarak pozitif yönde bir değişikliğin yaşandığı, %15 borakslı numuneler ise T6 ısıt işlemi ile aşınma hızının 3.375×10^{-5} g/m'dan 4.225×10^{-5} g/m'a kadar yükseldiği yani %20 oranında negatif yönde bir değişiklik yaşandığı gözlemlenmiştir.
30. Haddemeleme işlemi numunelerin aşınma direncini iyileştirmiştir. %15 borakslı numunede %50 haddeme oranı ağırlık kaybını %42 oranında düşürürken, %80 haddeme oranı %7,73 oranında düşürmüştür. %30 borakslı numunede %50 haddeme oranı ağırlık kaybını %10 oranında azaltırken, %80 haddeme oranı ağırlık kaybını %3 olarak düşürmüştür.
31. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş malzemelerin en fazla ağırlık kayıp eden numuneden başlayarak en az ağırlık kayıp eden numuneye kadar sıralayacak olursak "(%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075)" şeklinde sıralayabiliriz.
32. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş malzemelerin en fazla aşınma hızına sahip olan numuneden başlayarak en az aşınma hızına sahip olan numuneye kadar sıralayacak olursak "(%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075)" şeklinde sıralayabiliriz.

33. %50 ve %80 oranlarında haddelenmiş malzemelere T6 ısıt işlem uygulandıktan sonra en fazla ağırlık kayıp eden numuneden başlayarak en az ağırlık kayıp eden numuneye kadar sıralayacak olursak “(%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi)” şeklinde sıralayabiliriz. Haddeleme oranı %50’den %80’e arttığında ağırlık kaybının da arttığı hem %30 borakslı hem de %15 borakslı numunelerde gözlemlenmiştir.
34. T6 ısıt işlem görmüş numunelerin verilen ağırlık kayıplarının toplamaları T6 ısıt işlem görmemiş numunelerle karşılaştırıldığında %30 borakslı %50 haddelenmiş Al7075 numune hariç bütün numunelerin ağırlık kayıplarının T6 ısıt işlemiyle birlikte arttığı gözlemlenmiştir.
35. T6 ısıt işlem görmüş haddelenmemiş numunelerin toplam ağırlık kayıplarının, önce haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numunelerin toplam ağırlık kayıplarıyla karşılaştıracak olursak, %30 borakslı %50 oranına kadar haddeleme işlemi uygulandıktan sonra T6 ısıt işlem uygulanmasıyla birlikte numunenin toplam ağırlık kaybının 0.0286 g’dan 0.0221 g’a kadar düştüğü, haddeleme oranı %80’e kadar arttırıldığında ise 0.0373 g’a kadar arttığı yani aşınma direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ağırlık kaybı değerleri %15 borakslı numune %50 oranında haddeleme işlemi uygulandıktan sonra T6 ısıt işlem uygulanmasıyla toplam ağırlık kaybının 0.0585 g’dan 0.0245 g’a kadar düştüğü, %80’e kadar haddelenmesiyle ise 0.0245 g’dan 0.0457 g’a kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.
36. Haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numuneler arasında en yüksek aşınma hızı $3.215 \text{ g/m} \times 10^{-5}$ olarak %15 boraks ilaveli %80 oranında haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numunede bulunduğu, en düşük aşınma hızı ise $1.92 \text{ g/m} \times 10^{-5}$ olarak %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş ve ardından T6 ısıt işlem görmüş numunede bulunduğu ve oradan da %15 boraks ilaveli numunenin %50 haddeleme oranından %80 haddeleme oranına kadar çıkıldığında T6 ısıt işlem uygulanmasıyla aşınma direncinin %40.3 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Aynı sonuç %30 boraks ilaveli numunde bulunmuştur. %30 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş olan numunenin ağırlık kaybı %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş

numuneden %10 oranında daha olmasına rağmen % 6.7 oranında daha yüksek aşınma hızına sahip olduğu gözlemlenmiştir.

37. Yapılan potansyodinamik polarizasyon korozyon deneyi sonucunda elde edilen bütün Tafel eğrilerine bakıldığında genel olarak malzemelerin anodik eğrisinin eğimi düşük ve birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Anodik eğrilerin eğimine bakıldığında ilk başta oldukça düşük olduğu yani akım hızının yüksek ve dolayısıyla korozyon direncinin düşük olduğu ancak belirli bir noktadan sonra eğrinin sıfıra doğru arttığını ve dolayısıyla akım hızının azaldığını ve daha sonra durduğunu görülmüştür. Bu sonuç genel olarak bütün numunelerde oldukça küçük korozyonların elde edildiğinin göstergesidir.
38. T6 ısıtıl işlem görmemiş olan numunelerin I_{corr} akım yoğunluğu değerlerine bakıldığında %30 boraks ilaveli ve %50 oranında haddelenmiş olan numunenin 0.000009173 A değeri ile en fazla I_{corr} değerine yani korozyon hızına sahip olduğu görülmektedir. Bu değer T6 ısıtıl işlemi ile 0.00000376 A'ya kadar azalmış dolayısıyla T6 ısıtıl işlem bu numunenin korozyon direncinde iyileşme sağlamıştır.
39. T6 ısıtıl işlem uygulanmadan önce %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesi hariç bütün numunelerin korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) değerlerinin, 0.00000629 A değerine sahip T6 ısıtıl işlem görmemiş ana matris Al7075 malzemesinin numunesinden daha düşük olduğu görülmüştür. T6 ısıtıl işleminden sonra %30 boraks ilaveli %50 haddelenmiş Al7075 numunesinin I_{corr} değeri 0.000009173 A'den 0.00000376 A'ya kadar düştüğünden T6 ısıtıl işleminden sonra bütün numunelerin I_{corr} değerleri T6 ısıtıl işlem görmemiş Al7075 ana matris malzemesinin I_{corr} değerinden daha düşük olduğu yani bütün malzemelerin ana malzemeye göre korozyon direncinin arttığı gözlemlenmiştir.
40. T6 ısıtıl işlemi uygulanmadan önce 0.000005050 A I_{corr} değerine sahip olan %30 boraks ilaveli Al7075 numunesinin T6 ısıtıl işleminden sonra 0.00000457 A'ya kadar (%9.5) düştüğü gözlemlenmiştir.
41. 0.000000312 A değerinde en yüksek korozyon direncine dolayısıyla en az I_{corr} değerine sahip olan %30 boraks ilaveli %80 haddelenmiş numuneneye bakıldığında ise T6 ısıtıl işleminden sonra korozyon direncinin azaldığı I_{corr} değerinin 0.00000157 A'ya kadar arttığı görülmüştür.

42. T6 ısıtıl işleminden önce 0.000001803 A I_{corr} değerine sahip %15 boraks ilaveli numunenin T6 ısıtıl işlem ile 0.00000516 A I_{corr} değerine kadar arttığını aynı şekilde fakat daha az oranda T6 ısıtıl işleminden önce 0.000001287 A I_{corr} değerine sahip %15 boraks ilaveli %50 oranında haddelenmiş olan numunenin T6 ısıtıl işlemle 0.00000203 A ya kadar arttığı yani korozyon dayanımının düştüğü görülmüştür.
43. T6 ısıtıl işleminden sonra bütün numunelerin I_{corr} değerleri T6 ısıtıl işlem görmemiş Al7075 ana matris malzemesinden daha düşük olduğu yani bütün malzemelerin ana malzemeye göre korozyon direncinin arttığı gözlemlenmiştir.
44. Al7075 ana matris malzemesinin T6 ısıtıl işleminden sonra I_{corr} değerinin 0.00000629 A'dan 0.00000339 A'ya kadar düştüğü gözlemlenmiştir.
45. T6 ısıtıl işleminden sonraki numunelere bakıldığında da deformasyon görmüş yani haddelenmiş olan numuneler deformasyon görmemiş olan numunelerden daha düşük I_{corr} değerine yani daha yüksek korozyon direncine sahip olduğu gözlemlenmiştir.
46. %30 borakslı ve %15 borakslı her iki malzemenin haddeleme oranı arttıkça direncinin arttığını da görülmüştür.
47. %15 borakslı malzeme %30 borakslı malzemedan haddeleme oranı artmasıyla birlikte daha çok korozyon direncinin arttığı gözlemlenmiştir.
48. I_{corr} değerlerine bakarak T6 ısıtıl işleminden önce korozyon direnci en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye doğru sıraladığımızda “(%30 borakslı %80 haddeli) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%15 borakslı Al7075) > (%15 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%30 borakslı Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075)” şeklinde sıralanabilir.
49. T6 ısıtıl işleminden sonra korozyon direnci en yüksek olan numuneden en düşük olan numuneye doğru sıraladığımızda ise “(%15 borakslı %80 haddeli) > (%30 borakslı %80 haddeli Al7075) > (%15 borakslı %50 haddeli Al7075) > (Al7075 ana matris malzemesi) > (%30 borakslı %50 haddeli Al7075) > (%30 borakslı Al7075) > (%15 borakslı Al7075)” şeklinde sıralanabilir.

KAYNAKLAR

1. Balaji, V., Sateesh, N., and Hussain, M. M., "Manufacture of Aluminium Metal Matrix Composite (Al7075-SiC) by Stir Casting Technique", **Materials Today: Proceedings**, 2 (4–5): 3403–3408 (2015).
2. GÜLERYÜZ, L. F., "An Investigation Of Microstructure And Mechanical Properties Of Aluminum Matrix Composite Reinforced With B4c Particulates Manufactured By Powder Metallurgy Method", **Yeditepe University**, (2010).
3. KESKİN, E., SUBAŞI, Y., TUREN, Y., AHLATCI, H., ESEN, İ., ELEN, L., ÖZTÜRK, E., DURAN, E., AKIN, B., BOZTAŞ, H., and DURMAZ, H., "Microstructural And Hardness Effects Of Adding 0.5-1% Tin (Sn) To We43 Magnesium Alloys", (2021).
4. ZENGİN, E., "ISI 316L Paslanmaz Çelik Matrisli, Bor Karbür Ve Karbon Nanotüp Takviyeli Nanokompozitlerin Toz Metalurjisi İle Üretimi Ve Karakterizasyonu", (2021).
5. KESKİN, G., "Sic, B4c İle Takviyelendirilmiş Al7075 Alaşımının Toz Katkılı Elektro Erozyon İle İşlenmesinde İşleme Parametre Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", (2019).
6. Ibrahim, A., Bishop, D. P., and Kipouros, G. J., "Sinterability and characterization of commercial aluminum powder metallurgy alloy Alumix 321", **Powder Technology**, 279: 106–112 (2015).
7. Arockiasamy, A., German, R. M., Wang, P. T., Horstemeyer, M. F., Morgan, W., Park, S. J., and Otsuka, I., "Sintering behaviour of Al-6061 powder produced by rapid solidification process", **Powder Metallurgy**, 54 (3): 354–359 (2011).
8. Ghassemieh, E., "Materials in automotive application, state of the art and prospects", **New Trends And Developments In Automotive Industry**, 20: 365–394 (2011).
9. Nturanabo, F., Masu, L., and Kirabira, J. B., "Novel applications of aluminium metal matrix composites", **Aluminium Alloys And Composites**, (2019).
10. Newkirk, J. W., .
11. Ağaoğullari, D., Gökçe, H., Duman, I. and Öveçoğlu, M. L., "Aluminum diboride synthesis from elemental powders by mechanical alloying and annealing", **Journal Of The European Ceramic Society**, 32 (7): 1457–1462 (2012).
12. YENMEZ, N., "STRATEJİK BİR MADEN OLARAK BOR MİNERALLERİN TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ", **Coğrafya Dergisi**, 19 (19): 59–94 (2011).

13. YENMEZ, N., "Stratejik bir maden olarak bor minerallerin Türkiye için önemi", *Coğrafya Dergisi*, (19): 59–94 (2009).
14. Mutlu, R. N., Acar, A. N., and Gizir, A. M., "The effect of borax addition to aluminum alloy produced by powder metallurgy on mechanical and thermophysical properties", *Anti-Corrosion Methods And Materials*, (2021).
15. Yilmaz, N. F. and Öztürk, M., "Improvement of mechanical properties of AA1070 aluminium by the addition of borax under different holding conditions", *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 43 (12): 1006–1018 (2012).
16. Savaş, Ö. and Kayikci, R., "A Taguchi optimisation for production of Al--B master alloys using boron oxide", *Journal Of Alloys And Compounds*, 580: 232–238 (2013).
17. Totten, G. E. and MacKenzie, D. S., "Handbook of Aluminum: Volume 2: Alloy Production and Materials Manufacturing", *CRC Press*, (2003).
18. Li, L., Li, R., Yuan, T., Chen, C., Zhang, Z., and Li, X., "Microstructures and tensile properties of a selective laser melted Al–Zn–Mg–Cu (Al7075) alloy by Si and Zr microalloying", *Materials Science And Engineering A*, 787 (May): 139492 (2020).
19. HEKİMOĞLU, A. P. and TURAN, Y. E., "Çinko Oranının Al-(5-50)Zn Alaşımlarının Yapısal ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9: 16–25 (2019).
20. ÖZTÜRK, M., "An Experimental Study on Mechanical Properties of Aluminum-Boron Compounds", (July): (2011).
21. PAKSOY, M., "Effect of Aspect Ratio AlB₂ Flakes on Mechanical and Physical Properties of Aluminium Boron Alloys", (January): (2016).
22. Kompozitlerin, T., Ve, Ü., and Tezİ, D., "ALÜMİNYUM ESASLI İN-SİTU BORÜR TAKVİYELİ KOMPOZİTLERİN ÜRETİMİ VE ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ", (2010).
23. Wang, X., "The formation of AlB₂ in an Al--B master alloy", *Journal Of Alloys And Compounds*, 403 (1–2): 283–287 (2005).
24. Wang, Q., Zhao, H.-S., Li, Z., Li, S., and Zhao, J.-Z., "Production of Al--B master alloys by mixing KBF₄ salt into molten aluminum", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 23 (1): 294–300 (2013).
25. Dragut, D.-V., Moldovan, P., Butu, M., and Usurelu, E., "Characterization of in-situ AA 6060/AlB₂ metal matrix composite", *UNIVERSITY POLITEHNICA OF BUCHAREST SCIENTIFIC BULLETIN SERIES B-CHEMISTRY AND MATERIALS SCIENCE*, 73 (4): 161–170 (2011).

26. Birol, Y., "Production of Al--B alloy by heating Al/KBF₄ powder blends", *Journal Of Alloys And Compounds*, 481 (1–2): 195–198 (2009).
27. Birol, Y., "Response to Thermal Exposure of Ball-Milled Aluminum-Borax Powder Blends", *Metallurgical And Materials Transactions B*, 44 (2): 359–364 (2013).
28. Birol, Y., "Aluminothermic reduction of boron oxide for the manufacture of Al--B alloys", *Materials Chemistry And Physics*, 136 (2–3): 963–966 (2012).
29. Kayikci, R., Kurtulus, O., and Gürbüz, R., "The Formation and Growth Behavior of Aluminium Boride Crystals in an Al--B Alloy", (2009).
30. Savas, O., Kayikci, R., and Koksai, S., "APPLICATION OF TAGUCHI METHOD TO INVESTIGATE THE EFFECT OF SOME FACTORS ON IN-SITU FORMED FLAKE STRUCTURES OF AL/ALB (2) COMPOSITE", (2012).
31. Baradeswaran, A. and Elaya Perumal, A., "Influence of B₄C on the tribological and mechanical properties of Al 7075-B₄C composites", *Composites Part B: Engineering*, 54 (1): 146–152 (2013).
32. Kalaiselvan, K., Murugan, N., and Parameswaran, S., "Production and characterization of AA6061-B₄C stir cast composite", *Materials And Design*, 32 (7): 4004–4009 (2011).
33. Shorowordi, K. M., Laoui, T., Haseeb, A. S. M. A., Celis, J. P., and Froyen, L., "Microstructure and interface characteristics of B₄C, SiC and Al₂O₃ reinforced Al matrix composites: A comparative study", *Journal Of Materials Processing Technology*, 142 (3): 738–743 (2003).
34. Zhang, Z., Chen, X. G., and Charette, A., "Particle distribution and interfacial reactions of Al-7%Si-10%B 4C die casting composite", *Journal Of Materials Science*, 42 (17): 7354–7362 (2007).
35. Kerti, I. and Toptan, F., "Microstructural variations in cast B₄C-reinforced aluminium matrix composites (AMCs)", *Materials Letters*, 62 (8–9): 1215–1218 (2008).
36. Rao, R. N. and Das, S., "Effect of matrix alloy and influence of SiC particle on the sliding wear characteristics of aluminium alloy composites", *Materials And Design*, 31 (3): 1200–1207 (2010).
37. Karpasand, F., Abbasi, A., and Ardestani, M., "Effect of amount of TiB₂ and B₄C particles on tribological behavior of Al7075/B₄C/TiB₂ mono and hybrid surface composites produced by friction stir processing", *Surface And Coatings Technology*, 390 (March): 125680 (2020).
38. Radha, A., Suresh, S., Ramanan, G., Mohanavel, V., and Emmy Prema, C., "Processing and characterization of mechanical and wear behavior of Al7075 reinforced with B₄C and nano graphene hybrid composite", *Materials Research*

Express, 6 (12): 1265c5 (2020).

39. Karpasand, F., Ardestani, M., and Abbasi, A., "The effect of powder addition manner and volume fraction of reinforcement on tribological behavior of Al7075/B4C surface composite produced by friction stir processing", *Journal Of Composite Materials*, 54 (21): 2873–2886 (2020).
40. Reddy, T. P., Kishore, S. J., Theja, P. C., and Rao, P. P., "Development and wear behavior investigation on aluminum-7075/B4C/fly ash metal matrix composites", *Advanced Composites And Hybrid Materials*, 3 (2): 255–265 (2020).
41. V., G., S., T. K., and C., S. P., "Experimental Investigation of Hardness and Wear Behaviour of Al7075/B4C/Al₂O₃ Hybrid Composite", *International Research Journal Of Engineering And Technology*, 6 (6): (2019).
42. Krishnamoorthi, K., Arun, A. P., and Muralidaran, V. M., "Effect of B4C particle reinforcement on tensile properties of Al7075/B4C composites", *Materials Today: Proceedings*, (xxxx): 3–6 (2022).
43. Aksöz, S., Kaner, S., and Kaplan, Y., "Tribological and aging behavior of hybrid Al 7075 composite reinforced with B4C, SiC, and TiB₂", *Science Of Sintering*, 53 (3): 311–321 (2021).
44. Shrestha, N. K., Kawai, M., and Saji, T., "Co-deposition of B4C particles and nickel under the influence of a redox-active surfactant and anti-wear property of the coatings", *Surface And Coatings Technology*, 200 (7): 2414–2419 (2005).
45. Lee, D., Kim, J., Lee, S.-K., Kim, Y., Lee, S.-B., and Cho, S., "Effect of boron carbide addition on wear resistance of aluminum matrix composites fabricated by stir casting and hot rolling processes", *Metals*, 11 (6): 989 (2021).
46. Sarp BURGUCU, "7075 Alüminyum Alaşımlarının Üretimi Ve Karakterizasyonu", (2011).
47. Kaufman, J. G., "Introduction to Aluminum Alloys and Tempers", *ASM International*, (2000).
48. KILINÇ, M., "5083 kalite Al alaşımlarının mekanik özelliklerine termomekanik ısıtılmasının etkisi", (2021).
49. Sun, Y., "Yaşlanabilir alüminyum alaşımlarının aşınma davranışları", (1998).
50. TUFAN, M., "AA6082 Alüminyum Alaşımlarında Yaşlandırma Isıl İşleminin İşlenebilirliğe Ve Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi", (2011).
51. MacKenzie, D. S. and Totten, G. E., "Handbook of Aluminum", *Dekker New York*, (2003).
52. Erdoğan, M., "Mühendislik alaşımlarının yapı ve özellikleri , demir dışı alaşımlar", *Cilt. Nobel Yayınları, Ankara*, 2: 342-345 (2001).

53. Altenpohl, D. G., "Aluminum: Technology, Applications, and Environment, A Profile of a Modern Metal, Aluminum from Within-the Sixth Edition, The Aluminum Association and The Minerals", **Metals And Materials Society, Warrendale**, (1999).
54. Shackelford, J. F., "Introduction to Materials Science for Engineers", **Pearson Upper Saddle River**, (2016).
55. Mondolfo, L. F., "Aluminum Alloys: Structure and Properties", **Elsevier**, (2013).
56. Glazoff, M. V., Zolotarevsky, V. S., and Belov, N. A., "Casting Aluminum Alloys", **Elsevier**, (2010).
57. Mouritz, A. P., "Introduction to Aerospace Materials", **Elsevier**, (2012).
58. Davis, J. R. and others, "Aluminum and Aluminum Alloys", **ASM International**, (1993).
59. Tan, C. F. and Said, M. R., "Effect of hardness test on precipitation hardening aluminium alloy 6061-t6", **Chiang Mai Journal Of Science**, 36 (3): 276–286 (2009).
60. Ponnusamy, P., Rahman Rashid, R. A., Masood, S. H., Ruan, D., and Palanisamy, S., "Mechanical properties of SLM-printed aluminium alloys: a review", **Materials**, 13 (19): 4301 (2020).
61. Sediako, D., Kasprzak, W., Swainson, I., and Garlea, O., "Aluminum Alloys: Fabrication, Characterization and Applications", **Supplemental Proceedings**, 2: 279–289 (2011).
62. Ozkan, S. G., Kuyumcu, H. Z., and Onal, G., "Mineral Raw Materials-A recent outlook for borates mining and industry in Turkey", **Surface Mining-The World Of Mining**, 60 (1): 43 (2008).
63. Özkan, S. G., Çebi, H., Delice, S., and Doğan, M., "Bor minerallerinin özellikleri ve madenciligi, 2", **Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu İzmir**, 224–228 (1997).
64. ÇARBOĞA, C., "Düşük Karbonlu Çeliklere Bor İlavesinin Mikroyapı Ve Mekanik Özellikler Üzerine Etkisi", (2010).
65. Hey-Hawkins, E. and Teixidor, C. V., "Boron-based compounds: potential and emerging applications in medicine", (2018).
66. Patnaik, P., "Handbook of Inorganic Chemicals", **McGraw-Hill New York**, (2003).
67. Greenwood, N. N. and Earnshaw, A., "Chemistry of the Elements", **Elsevier**, (2012).

68. Feizi, A., "Sürtünme Karıştırma Metoduyla 5083 Alüminyum Alaşımına Grafen Tozu İlavesinin Araştırılması", (219AD).
69. Zhao, Y., Yu, T., Sun, J., and Jiang, S., "Microstructure and properties of laser clad B₄C/TiC/Ni-based composite coating", *International Journal Of Refractory Metals And Hard Materials*, 86 (September 2019): 105112 (2020).
70. Zhang, Y. and Xu, X., "Predicting doped MgB₂ superconductor critical temperature from lattice parameters using Gaussian process regression", *Physica C: Superconductivity And Its Applications*, 573 (March): 1353633 (2020).
71. Cooper, P. S. and Kearns, M. A., "Removal of transition metal impurities in aluminium melts by boron additives", (1996).
72. KARA, S. A., "BORLAMA PROSESİNİN B₄C TAKVİYELİ AL7075-T6 ALAŞIMLARININ AŞINMA VE KOROZYON DAVRANIŞLARINA ETKİSİ", (2022).
73. Setzer, W. C. and Boone, G. W., "The use of aluminium boron master alloys to improve electrical conductivity", *Light Metals*, 1991: 837–844 (1992).
74. Schumacher, P. and Greer, A. L., "Studies of the action of grain-refining particles in aluminium alloys", *Essential Readings in Light Metals*, *Springer*, 366–374 (2016).
75. Economy, J., Matkovich, V. I., and WOHRER, L. C., "Single crystal flake reinforced composites(Composites reinforcement with single crystal flakes of aluminum diboride)", *SAMPE JOURNAL*, 5: 23–28 (1969).
76. Hall, A. C. and Economy, J., "Preparing high-and low-aspect ratio AlB₂ flakes from borax or boron oxide", *JOM*, 52 (2): 42–44 (2000).
77. Melgarejo, Z. H., Suárez, O. M., and Sridharan, K., "Wear resistance of a functionally-graded aluminum matrix composite", *Scripta Materialia*, 55 (1): 95–98 (2006).
78. Melgarejo, Z. H., Resto, P. J., Stone, D. S., and Suárez, O. M., "Study of particle-matrix interaction in Al/AlB₂ composite via nanoindentation", *Materials Characterization*, 61 (2): 135–140 (2010).
79. Güyagüler, T., "Türkiye bor potansiyeli, 4", *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 18–19 (2001).
80. Frost, R. L., Scholz, R., Ruan, X., and Lima, R. M. F., "Thermal analysis and infrared emission spectroscopy of the borate mineral colemanite (CaB₃O₄ (OH) 3·H₂O)", *Journal Of Thermal Analysis And Calorimetry*, 124 (1): 131–135 (2016).
81. Celik, A. G. and Cakal, G. O., "Characterization of espey colemanite and variation of its physical properties with temperature", *Physicochemical Problems Of Mineral Processing*, 52 (1): 66–76 (2016).

82. Demir, C., "Bor minerallerinin enerji kaynağı olarak değerlendirilmesi", *Selçuk Üniversitesi Kimya Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi, Konya, Türkiye*, (2006).
83. Eskibalci, M. F. and Ozkan, S. G., "An investigation of effect of microwave energy on electrostatic separation of colemanite and ulexite", *Minerals Engineering*, 31: 90–97 (2012).
84. Ozkan, S. G. and Gungoren, C., "Enhancement of colemanite flotation by ultrasonic pre-treatment", *Physicochemical Problems Of Mineral Processing*, 48 (2): 455–462 (2012).
85. Uçar, A., "Kestelek tesis atıklarından borun kazanılması", *Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir*, (1989).
86. Last, W., "The Borax Conspiracy: How the Arthritis Cure has been Stopped", *Health-Science-Spirit*, 7: (2014).
87. "MAY 2017 M . SC . IN MECHANICAL ENGINEERING UNIVERSITY OF GAZİANTEP GRADUATE SCHOOL OF NATURAL & APPLIED SCIENCES AND STRENGTH OF ADHESIVELY BONDED COMPOSITES M . Sc . THESIS IN MECHANICAL ENGINEERING YOUSIF JABER SHAKER AL-ANI", (May): (2017).
88. Akbulut, H., "Alümina fiber takviyeli Al-Si metal matriksli kompozitlerin üretimi ve mikroyapı-özellik ilişkilerinin incelenmesi", *Fen Bilimleri Enstitüsü*, (1994).
89. Froyen, L. and Verlinden, B., "Aluminium matrix composites materials", *European Aluminium Association*, (1994).
90. Callister Jr, W. D. and Rethwisch, D. G., "Materials Science and Engineering: An Introduction", *John Wiley & Sons*, (2018).
91. International, A. S. M., "Heat Treatment of Nonferrous Alloys", Metals Handbook: Heat Treating, Volume 4, *ASM International*, 375–377 (1991).
92. Rometsch, P. A., Zhang, Y., and Knight, S., "Heat treatment of 7xxx series aluminium alloys—Some recent developments", *Transactions Of Nonferrous Metals Society Of China*, 24 (7): 2003–2017 (2014).
93. Mondolfo, L. E., .
94. Nayan, N., Narayana Murty, S. Y. S., Mittal, M. C., Sinha, P. P., and others, "Optimization of homogenizing mode for aluminum alloy AA7075 using calorimetric and microstructural studies", *Metal Science And Heat Treatment*, 51 (7): 330–337 (2009).
95. Popov, B. N., "Corrosion Engineering: Principles and Solved Problems", *Elsevier*, (2016).

96. Ghali, E., "Corrosion Prevention and Protection: Practical Solutions", **Wiley**, (2011).
97. Paul, H., "Electrochemistry of Corrosion Processes", **Springer Science & Business Media**, (2012).
98. Revie, R. W., "Corrosion and Corrosion Control", **Wiley**, (2008).



ÖZGEÇMİŞ

Muhammed ABDULMULIM ilk öğrenimini Suudi Arabistan’da, orta öğrenimini Türkiye’de tamamladı. 2016 yılında Türkiye Bursları programını kazanarak Karabük Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Otomotiv Mühendisliği Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2021 yılında yüksek onur öğrencisi olarak mezun oldu. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisansa başladı.

