



**5083 KALİTE AL ALAŞIMININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİNE TERMOMEKANİK ISIL  
İŞLEMİNİN ETKİSİ**

**Medine KILINÇ**

**2021  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Yavuz SUN**

**5083 KALİTE DÖKME AL ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE  
YAŞLANDIRMA ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİ**

**Medine KILINÇ**

**T.C.  
Karabük Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında  
Yüksek Lisans Tezi  
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı  
Prof. Dr. Yavuz SUN**

**KARABÜK  
Haziran 2021**

Medine KILINÇ tarafından hazırlanan “5083 KALİTE AL ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TERMOMEKANİK ISIL İŞLEMİNİN ETKİSİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Yavuz SUN .....  
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 29/06/2021

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Doç. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Yavuz SUN (KBÜ)	.....
Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATÇI (KBÜ)	.....

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

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ .....  
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.”*

Medine KILINÇ

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **5083 KALİTE AL ALAŞIMININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE TERMO- MEKANİK ISIL İŞLEMLERİN ETKİSİ**

**Medine KILINÇ**

**Karabük Üniversitesi**

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü**

**Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:**

**Prof. Dr. Yavuz SUN**

**Haziran 2021, 125 sayfa**

Bu çalışmada, %3 > Mg içeriğine sahip 5083 Al alaşımının termomekanik işlem uygulaması ile mekanik özelliklerinde gerçekleşen değişimler incelenmiştir. 5083 Al alaşımı ile %1,2 Bizmut ilaveli yeni tip 5083Al-Bi alaşımları bu çalışmada kullanılarak alaşımlandırmanın eksileri ve artıları yorumlanmıştır. Deney parametreleri ; 500 C de homojenleştirme ve 150 C de normal yaşlandırma ve 2 şekilde uygulanmış termomekanik işlemlerdir. Aşınma direnci, aşınma hızı ve sütnme katsayılarını belirlemek için hem kuru hemde korozif ortamda aşınma yapılmıştır. Korozyon mekanizmaları ise %3,5 NaCl içerisinde Daldırma ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemiyle belirlenmiştir. Yapılan sertlik testleri sonucunda, en düşük sertlik değerleri homojenleştirilmiş mazlemeden alınırken onu artan sertlik değerleriyle sırasıyla yaşlandırılmış ve Termomekanik işlem 2 uygulanmış malzeme takip etmektedir. Korozyon testleri sonucunda en dirençli

malzeme yaşlandırılmış 5083 Al alaşımı iken ,korozyona karşı hassasiyeti en yüksek termomekanik işlem uygulanmış malzemedir.

**Anahtar Sözcükler :** AA5083, yaşlandırma, korozif aşınma, korozyon, mikroyapı ve mekanik zellikler.

**Bilim Kodu** : 91518



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **EFFECT OF THERMOMECHANIC HEAT TREATMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF 5083 QUALITY ALLOY**

**Medine KILINÇ**

**Karabük University**

**Institute of Graduate Programs**

**Department of Metallurgy and Materials Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Prof. Dr. Yavuz SUN**

**June 2021, 125 pages**

In this study, the changes in the mechanical properties of 5083 Al alloy with 3%>Mg content were investigated with the application of thermomechanical treatment. The advantages and disadvantages of alloying were interpreted by using 5083 Al alloy and new type 5083Al-Bi alloys with 1.2% bismuth addition in this study. Homogenization at 500 C, normal aging at 150 C and thermomechanical processes applied in 2 ways. Abrasion was carried out in both dry and corrosive environments to determine wear resistance wear rate and shear coefficients. Corrosion mechanisms were determined by immersion in 3.5% NaCl and potentiodynamic polarization method, as a result of the hardness tests, the lowest hardness values are obtained from the homogenized material, followed by the aged and Thermomechanical process 2 applied material with increasing hardness values, respectively. As a result of corrosion tests, the most resistant material is the aged 5083 Al alloy, while the

material with the highest corrosion sensitivity is the material that has been applied thermomechanical treatment.

**Key Word** : AA5083, aging, corrosive wear, corrosion, microstructure and mechanical properties.

**Science Code:** 91518



## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Prof. Dr. Yavuz SUN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Bütün deneylerin yapılmasında bilgi birikimlerinden istifade ettiğim maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Bölümü öğretim üyeleri sayın hocalarım Prof.Dr. Hayrettin AHLATCI ve Doç Dr. Yunus TÜREN 'e teşekkür ederim. Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırma Projeleri Koordinasyon Birimince FLY-2020-2261 kodlu proje ile desteklenmiőtir.

Sevgili aileme bu süreçde yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LİTERATÜR .....	3
2.1. ALÜMİNYUM NEDİR .....	3
2.1.1. Alüminyumun Kimyasal Dayanıklılığı ve Fiziksel Özellikleri.....	5
2.1.2. Şekil Değiştirme Kabiliyeti .....	5
2.2. ALAŞIM VE ALAŞIM OLUŞTURMA .....	6
2.2.1. Alaşımlama Teknikleri .....	7
2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA AŞINMA.....	7
BÖLÜM 3 .....	8
DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	8
3.1. 5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DÖKÜMÜ .....	8
3.1.1. % 1,2 Bizmut İlaveli 5083 Alüminyum Üretimi .....	9
3.2. ISIL İŞLEM.....	10
3.2.1. Homojenleştirme.....	10
3.2.2. Çözeltili Alma .....	12

	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.3. Yaşlandırma.....	12
3.3. SOĞUK DEFORMASYON.....	13
3.4. AŞINMA .....	16
3.4.1. Kuru Aşınma.....	16
3.4.2. Korozif Aşınma .....	16
3.5. KOROZYON.....	17
3.5.1. Potansiyodinamik Polarizasyon Test Yöntemi .....	17
3.5.2. Daldırma Deneyi.....	17
3.6. 5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KARAKTERİZASYONU ..	19
3.6.1 Yoğunluk Ölçümü .....	19
3.7. SPEKTRAL ANALİZ.....	20
3.8. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU .....	21
3.8.1 Metalografik İşlemler .....	21
3.8.2 XRD.....	22
3.8.3 Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu.....	22
<b>BÖLÜM 4 .....</b>	<b>24</b>
<b>DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>24</b>
4.1. YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI .....	24
4.2. SPEKTRAL ANALİZ SONUÇLARI .....	24
4.3. SERTLİK SONUÇLARI.....	25
4.4. MİKROYAPI SONUÇLARI .....	32
4.4.1 Optik Mikroyapı Sonuçları .....	32
4.4.2 Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Sonuçları ve EDX Analizleri ....	40
4.5. KOROZYON SONUÇLARI.....	56
4.5.1 Daldırma Deneyi Korozyon Sonuçları .....	56
4.5.2 Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları .....	72
4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI .....	77
4.6.1 Kuru Aşınma Test Sonuçları .....	77
4.6.2 Korozif Aşınma Test Sonuçları .....	95

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	106
GENEL SONUÇLAR.....	106
KAYNAKLAR .....	112
EK AÇIKLAMALAR A. 5083 ALAŞIMININ KURU AŞINMA SONRASI (A) HOMOJENLEŞTİRİLMİŞ (B) YAŞLANDIRILMIŞ (C) TERMOMEKANİK İŞLEM 1 (D) TERMOMEKANİK İŞLEM 2 NİN HER 100 METRE MESAFEDEKİ SÜRTÜNME KATSAYI GRAFİKLERİ.....	117
EK AÇIKLAMALAR B. 5083 ALAŞIMIN KOROZİF AŞINMA SONRASI (A) HOMOJENLEŞTİRİLMİŞ (B) YAŞLANDIRILMIŞ (C) TERMOMEKANİK İŞLEM 1 (D) TERMOMEKANİK İŞLEM 2 NİN HER 100 METRE MESAFEDEKİ SÜRTÜNME KATSAYI GRAFİKLERİ.....	121
ÖZGEÇMİŞ .....	125

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Saf alüminyumun soğuk pekleşmesi (A), Saf alüminyumun çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının değişimi .....	6
Şekil 3.1. İndüksiyon ocağı (a),(b) atmosfer kontrollü gaz ekipmanları .....	8
Şekil 3.2. (A) Döküm potasında ergiyik halde 5083 Alüminyum Alaşımı (B) Metal Döküm Kalıbı.....	9
Şekil 3.3. %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Kalite Alüminyum Alaşımının Metal Kalıptan çıkarılması. ....	10
Şekil 3.4. A)Protherm Marka Isıl işlem fırını (B)Fırın içerisine yerleştirmiş 5083 Kalite Alüminyum ve %1,2 Bizmut İlaveli 5083 Al-Bi Alaşımı.....	11
Şekil 3.5. Uygulanan Termomekanik işlem kademeleri . ....	12
Şekil 3.6. Haddelme işlemi için kullanılan Soğuk Hadde Cihazı.....	13
Şekil 3.7. Haddelmenin şematik gösterimi.....	14
Şekil 3.8. Soğuk haddelenmiş 5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımı.....	14
Şekil 3.9. (A)Aşınma cihazı (B)aşınma cihazına bağlanmış numune görüntüsü ...	16
Şekil 3.10. Potansiyodinamik Polarizasyon korozyon deneylerinde kullanılan potansiyosiyö statik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği..	17
Şekil 3.11. (A) Daldırma deneylerinde korozyon deney düzeneği (B) NaCl içerisinde numunenin yakın görüntüsü. ....	18
Şekil 3.12. (A) Daldırma deneylerinde kullanılan Ultrasonik temizleme cihazı. (B)Ultrasonik temizleme Cihazının iç görüntüsü ve temizlemek için kullanılan HNO <sub>3</sub> ve etil alkol .....	18
Şekil 3.13. Yoğunluk ölçüm düzeneği . ....	20
Şekil 3.14. Spektral analiz yapılmış malzeme görüntüsü.....	21
Şekil 3.15. Rigaku Ultima IV-X-Ray Kırınım Spektrometresi.....	22
Şekil 3.16. Sertlik ölçüm cihazı.....	23
Şekil 4.1. (A) Döküm 5083 Al Alaşımının yaşlandırma öncesi sertlik değerleri (B) Döküm 5083 AL-Bi Alaşımının yaşlandırma öncesi sertlik değerleri.....	27
Şekil 4.2. (A) Döküm 5083 Al Alaşımının 150 C de 0-72 saat yaşlandırma sertlik değerleri (B) döküm 5083 Al-Bi Alaşımının yaşlandırma sonrası sertlik değerleri.....	29
Şekil 4.3. (A)Döküm 5083 Al-Bi Alaşımının pig sertlik değerleri (B) Döküm Al-Bİ Alaşımının pig sertlik değerleri.....	30
Şekil 4.4. Döküm Alüminyum Alaşımının ısıtıl işlem uygulanabilirlik Çizelgesi	32

Şekil 4.5.	AA5083 Malzemenin Calphad similasyonu sonuçları .....	39
Şekil 4.6.	TMT(Termomekanik işlem uygulanmış) numunelerinde bulunan çökeltilerin parlak alan TEM görüntüleri: (a) Al 13 Fe 4 , (b) Mg 2 Si, (c) Al 6 Mn ve $\beta$ -fazı (Al 3 Mg 2 ), ve (d), Al 6 Mn.[50] .....	40
Şekil 4.7.	(A)5083 Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası EDX analiz sonuçları .....	47
Şekil 4.8.	(A)5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları .....	48
Şekil 4.9.	(A) 5083 Al malzemenin T1 sonrası SEM görüntüsü(B)5083 Al malzemenin T1 sonrası EDX analiz sonuçları .....	50
Şekil 4.10.	(A) 5083 Al malzemenin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin T2 sonrası EDX analiz sonuçları .....	51
Şekil 4.11.	(A)5083 Al-Bi malzemenin homojenleştirme (H) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemenin homojenleştirme (H) sonrası EDX analiz sonuçları .....	51
Şekil 4.12.	(A)5083 Al-Bİ malzemenin normal yaşlandırma (YB) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al-Bi malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları .....	52
Şekil 4.13.	(A) 5083 Al-Bi malzemenin T1 sonrası SEM görüntüsü(B)5083 Al –Bi malzemenin T1 sonrası EDX analiz sonuçları .....	53
Şekil 4.14.	(A) 5083 Al-Bi malzemenin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemenin T2 sonrası EDX analiz sonuçları .....	55
Şekil 4.15	(A) 5083 Al alaşımının daldırma deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği(B) 5083 Al-Bİ alaşımının daldırma deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği.....	57
Şekil 4.16	(A) 5083 Al alaşımının Mdd grafiği (B) 5083 Al-Bİ alaşımının Mdd grafiği .....	58
Şekil 4.17.	5083 Al malzemenin Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş .....	67
Şekil 4.18.	5083 Al-Bi malzemenin Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey SEM görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş .....	72
Şekil 4.19	(A)5083 Al alaşımının potansiyodinamik polarizasyon eğrileri özellikleri (B) 5083 Al-Bi alaşımının potansiyodinamik eğrileri.....	74
Şekil 4.20.	Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen İcor akım yoğunluğu (A) 5083 Al alaşımı (B)5083 Al-Bi alaşımı.....	75
Şekil 4.21.	Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen Ecor korozyon potansiyeli (A) 5083 Al alaşımı (B)5083 Al-Bi alaşımı .....	76

Şekil 4.22. Kuru aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları(A) 5083 alaşımı (B)5083 Al-Bi alaşımı .....	79
Şekil 4.23. 5083 Al alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEMgörüntüleri ve EDX (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2 .....	88
Şekil 4.24. 5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.....	92
Şekil 4.25. Kuru aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı Aşınma hızları (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bİ alaşımı .....	93
Şekil 4.26 Kuru Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A)5083 alaşımı (B) 5083 AL-Bi alaşımı.....	95
Şekil 4.27. Koroziif aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı. ....	97
Şekil 4.28. 5083 Al malzemenin koroziif aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.....	103
Şekil 4.29. 5083 Al-Bi alaşımının koroziif aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.....	107
Şekil 4.30. Koroziif aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı aşınma hızları (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı .....	108
Şekil 4.31. Koroziif Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A)5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bİ alaşımı .....	109

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

Çizelge 2.1. Alüminyumun fiziksel özellikleri .....	3
Çizelge 2.2. Alüminyumun atom özellikleri.....	4
Çizelge 2.3. Alüminyumun genel özellikleri. ....	4
Çizelge 4.1. 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemelerin yoğunluk ölçüm sonuçları.....	24
Çizelge 4.2. Döküm 5083 Al ve döküm 5083 Al-Bİ alaşımlarının kimyasal kompozisyonları .....	25
Çizelge 4.3. 5083 AA malzemenin 20x büyütmede optik mikroyapı görüntüleri... 33	
Çizelge 4.4. %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi Alaşımının 20x büyütmede optik mikroyapı görüntüleri. ....	34
Çizelge 4.5. 5083 Al ve %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi alaşımının (A) düşük(10X) büyütmede ve (B) yüksek büyütmede optik mikroyapı görüntüleri....	36
Çizelge 4.6. (A) 5083 Al alaşımının 5kx (orta) büyütmede SEM görüntüleri (B) 5083 Al-Bi alaşımının 5kx (orta) büyütmede SEM görüntüleri.....	41
Çizelge 4.7. 5083 Al ve %1,2 Bizmut ilaveli 5083 AL-Bİ Alaşımının (A)1kx (düşük) büyütmede (B) 5 kx (yüksek)SEM görüntüleri .....	44
Çizelge 4.8. Daldırma deneyi sonrası 5083 Al alaşımının korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri. ....	59
Çizelge 4.9. Daldırma deneyi sonrası 5083 Al –Bi alaşımının korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.....	60
Çizelge 4.10. 100 metre ve 400 m yol alma sonrası kuru Aşınma yüzeyi SEM görüntüleri karşılaştırmaları.....	80
Çizelge 4.11. 5083 alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve Yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	81
Çizelge 4.12. 5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve Yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	82
Çizelge 4.13. 5083 alaşımının korozif aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	98
Çizelge 4.14. 5083 Al-Bi alaşımının korozif aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.....	99

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Mg	: mağnezyum
Bi	: Bizmut
Ag	: gümüş
Al	: alüminyum
Ar	: argon
Au	: altın
Cu	: bakır
H <sub>2</sub>	: hidrojen
He	: helyum
Mo	: molibden
Ni	: nikel
$\gamma$	: birim hacim ağırlığı
$\sigma$	: normal gerilme

### KISALTMALAR

H	: Homojenleştirme
HB	: Bizmutlu alaşımın homojenleştirilmesi
Y	: Yaşlandırma
YB	: Bizmutlu alaşımın yaşlandırılması
T1	: Termomekanik işlem 1
TB1	: Bizmutlu alaşımın Termomekanik işlem 1
T2	: Termomekanik işlem 2
TB2	: Bizmutlu alaşımın Termomekanik işlem 2
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)

- AWS : American Welding Society (Amerika Kaynak Topluluğu)  
DIN : Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)  
EN : European Norm (Avrupa Normu)  
IIW : International Institute of Welding (Uluslararası Kaynak Enstitüsü)  
ITAB : Isı Tesiri Altında Kalan Bölge  
TS : Türk Standardı  
IGC : Intergranular Corrosion (Taneler arası Korozyon)  
SCC : Stres Corrosiion Cracking (Gerilmeli Çatlak Korozyonu)



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Mg'nin ana alaşım elementi olduğu 5000 serisi Al-Mg alaşımları, korozyona karşı iyi bir dirence ve iyi kaynaklanabilirliğe sahip ısıtılma işlem görmeyen alaşımlardır [1]. Gemi yapıları ve araç çerçeveleri için malzeme olarak yaygın olarak kullanılırlar [2], [3]. 5XXX alüminyum-magnezyum alaşımlarını deniz yapıları için kullanırken karşılaşılan en büyük endişe, mekanik özelliklerinin bozulması ve korozyon direncidir. Mekanik özelliklerdeki ana azalmanın, yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında yeniden kristalleşmeden kaynaklandığı iyi bilinmektedir [4-7], kaynak veya termal maruziyetten de kaynaklanabilir. Korozyon direncindeki azalma "hassaslaşma" olarak bilinir [8,9]. Ağırlıkça >%3 Mg içeriğine sahip Al-Mg alaşımları (örneğin, 5086, 5083, 5456), 65 ila 200 °C arasındaki sıcaklıklarda uzun süreli çevresel maruziyet altında, yüksek enerjili noktalar boyunca  $\beta$  fazı ( $Mg_2Al_3$ ) oluşturma eğilimindedir. Tane sınırları ve dislokasyonlar olarak [[10],[11]], Mg içeriği ve maruz kalma süresi arttıkça, çökeltilerin yoğunluğu artar [[11],[12],[13]]. Tane sınırlarındaki çökeltilerin yoğunluğu, ciddi taneler arası korozyona (IGC) yol açan sürekli bir ağ oluşumuna [14-16], veya stres korozyon çatlaması neden olma eğilimindedir (SCC) [17-19] Al-Mg alaşımlarında  $\beta$ -fazının bu istenmeyen çökmesine yaygın olarak "duyarlılık" denilmektedir [20].

Alaşım AA 5083, % 4-5 magnezyum, mangan ve krom ilaveleri içeren bir alüminyum alaşımıdır. Alaşımlama ve soğuk işlemeyle sertleştirilebilir malzemedir. Birçok uygulama için malzeme 3-10 mm kalınlık aralığında sıcak haddelenmiş rulo şeklinde tedarik edilir. Daha ince uygulamalar için malzeme soğuk haddelenir ve isteğe bağlı olarak yumuşak tavlânır. Çoğu yapısal uygulama, iyi şekillendirilebilirliğe sahip levha gerektirir. Bununla birlikte, belirli işlem koşulları altında, malzemenin önemli kısımlarının, küçük yeniden kristalleştirilmiş taneciklerle, haddeleme yönünde oldukça uzun olan tanelerden oluştuğu gözlenmiştir. Alaşımın oldukça yüksek Mn ve Cr içeriklerinin neden olduğu bu kısmen yeniden kristalleştirilmiş yapı, süneklik ve şekillendirilebilirlik üzerindeki olumsuz

etkileri nedeniyle istenmeyen bir durumdur. Uygun bir homojenizasyon döngüsünün uygulanmasının, AA 5xxx serisi alaşımların yeniden kristalleşme davranışını güçlü bir şekilde kolaylaştırabileceği iyi bilinmektedir [21-26]. Bu, yüksek Mg içeren AA 5xxx alaşımları özel bir termo-mekanik işlemle çok ince tane boyutlarına sahip yeniden kristalize mikro yapılar üretilebilir, bu da bu tür alaşımları uygun hale getirir. İnce taneli alaşım AA 5083 süperplastik şekillendirme işlemlerinde en yaygın kullanılan malzemedir [27-29].

Bu çalışmada % 3 > Mg içeren 5083 Al alaşımının ısı işlem ve termomekanik işlemler sonucunda mekanik özellikleri, korozyon ve aşınma mekanizması incelenmiştir. Termomekanik işlemler ile mikro yapıdaki faz ve çökeltilerin oluşumu ve bu oluşumların malzemenin mekanik özelliklerine, korozyon ve aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. 5083 Al alaşımını %1.2 Bizmut ilavesi ile alaşımlandırarak yeni tip 5083 Al-Bi alaşımı oluşturulmuştur. Bu yeni tip alaşımın 5083 Al alaşımından daha iyi mekanik ve korozyon özellik eğilim göstermesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM 2

### LİTERATÜR

#### 2.1. ALÜMİNYUM NEDİR

Alüminyum saf halde bulunmayan, doğada boksit cevheri halinde bulunan, periyodik cetvelde 3. grup elementi olarak Al simgesi ile yer alan mat gümüşümsü renkte sünek bir metaldir. Normal şartlar altında katı görünümde olup yüzey merkezli kübik yapıya sahiptir [30].

Alüminyum pasivasyon özelliği sayesinde oksidasyona karşı direnç özelliği vardır. Endüstrinin birçok alanında geniş kullanımı olup dünya ekonomisinde çok büyük rolü vardır. Hafifliği ve yüksek dayanım özelliği sayesinde inşaat ve taşımacılık sektöründe , alaşım kombinasyonu çeşitliği ile uzay ve havacılık alanında kullanımı vazgeçilmez bir metaldir [31].

Çizelge 2.1 Alüminyumun fiziksel özellikleri [32].

Fiziksel Özellikleri	
<b>Maddenin Hali</b>	Katı
<b>Yoğunluk</b>	2,70 g/cm <sup>3</sup>
<b>Sıvı Haldeki Yoğunluğu</b>	2,375 g/cm <sup>3</sup>
<b>Ergime Noktası</b>	660,32 °C-933,47 °K-1220,58 °F
<b>Kaynama Noktası</b>	2519 °C-2792 °K-4566 °F
<b>Ergime Isısı</b>	10,71 kJ/mol
<b>Buharlaştırma Isısı</b>	294,0 kJ/mol

Çizelge 2.2 Alüminyumun atom özellikleri [32].

<b>Atom Özellikleri</b>	
<b>Atom No</b>	13
<b>Kristal yapısı</b>	Yüzey merkezli kübik
<b>Yükseltgenme seviyeleri</b>	(3+) (amfoter oksit)
<b>Elektronegatifliği</b>	0,61 Pauling ölçeği
<b>İyonlaşma enerjisi</b>	577,5 kJ/mol
<b>Atom yarıçapı</b>	125 pm
<b>Atom yarıçapı (hes.)</b>	118 pm
<b>Kovalent yarıçapı</b>	118 pm
<b>Atom Ağırlığı</b>	26.97 gr/mol

Çizelge 2.3 Alüminyumun genel özellikleri [32].

<b>Diğer Özellikleri</b>	
<b>Yeniden Kristalleşme Sıcaklığı</b>	7.2 10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
<b>Isıl Genleşme</b>	23.6 10 <sup>-6</sup> (20-100 oC)
<b>Kayma Modülü</b>	0.224 cal/gr (100 oC)
<b>Özgül Isısı</b>	0.224 cal/gr (100 oC)
<b>Elastik Modülü</b>	7.2 10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup>
<b>Çekme Dayanımı</b>	4-9 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Akma Dayanımı</b>	1-3 kg/mm <sup>2</sup>
<b>Elektrik Direnci</b>	(20 C) 2.699 mikroohm.cm
<b>Kopma Uzaması</b>	%30-45
<b>Katılaştırırken Kendini Çekme</b>	%1,7-1.8
<b>Sıvılaştırırken Hacim Büyümesi</b>	%6,5
<b>Çentik Darbe Tokluğu</b>	10 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Isıl İletkenliği</b>	(20 oC) 0.52 cal.cm/cm <sup>2</sup> . soC

Alüminyum doğada çok çelikten az, akma sınırının çoğu çelik çeşidinden yüksek olmasından dolayı ve hafif bir metal olması alüminyumun yaygın kullanımında tercih edilmesinin başlıca sebeplerindendir [33].

### 2.1.1 Alüminyumun Kimyasal Dayanıklılığı ve Fiziksel Özellikleri

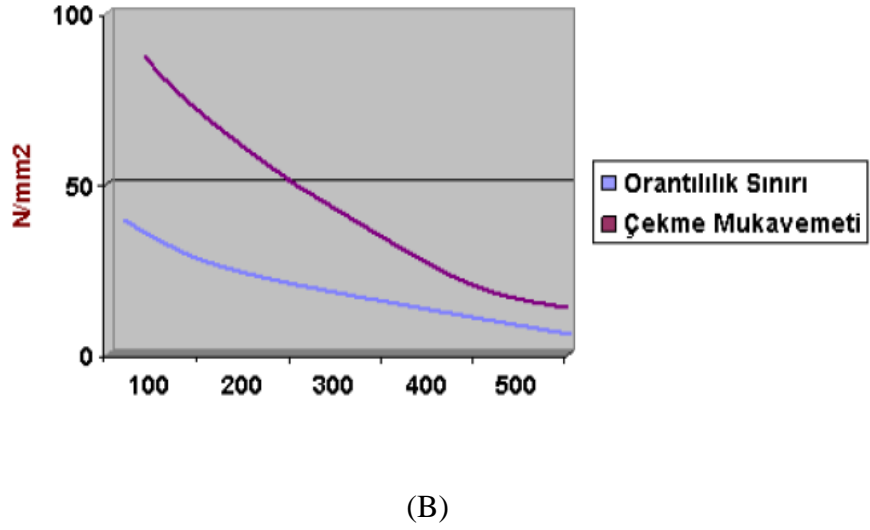
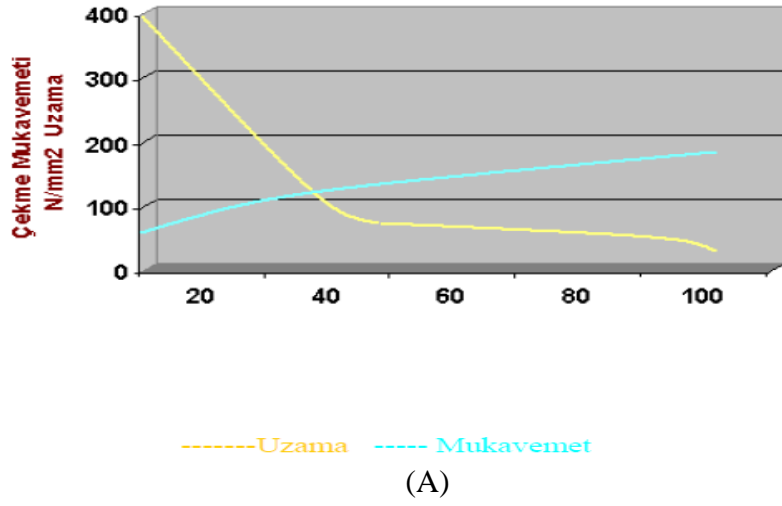
Alüminyum soy metal değildir. Soy metal olmamasına rağmen kimyasal dayanıklılığı iyi düzeydedir. Yüzeyinde bulunan çok ince ama yoğun olan oksit tabakası alüminyum kimyasal etkenlere karşı koruma sağlar ve korozyon dayanımını artırılmaktadır. Bu oksit tabakası Alüminyumun oksijenle temasıyla oluşan  $AL_2O_3$  kabuğudur.

Alüminyum atmosferik hava şartlarına dayanıklı olmasından dolayı uçak ve gemi imalatında, çatı kaplamalarında [34].

Alüminyumun elektrik iletkenliği içerisindeki alaşım elementlerinin özelliklerine ve içerisinde bulunma miktarına göre değişmektedir. Soğuk deformasyon yapılmış alüminyumun 100 C de ve daha yüksek sıcaklıklarda ısı işleme maruz bırakıldığında elektrik iletkenliğinde artış görülmektedir [31]. Alüminyumun saflık oranı artıkça elektrik iletkenliği ve korozyon dayanımının da artış görülmektedir [35].

### 2.1.2. Şekil Değiştirme Kabiliyeti

Saf Alüminyumun şekil değiştirme kabiliyeti hem sıcak hemde soğuk işlemlerde çok iyidir. Yumşak bir malzeme olan alüminyum bilindik yöntemlerden burma, çekme, kalıplama ve presleme ile şekillendirilmesi kolaydır [36]. Saf Alüminyumun soğuk şekil değiştirme derecesine göre çekme ve uzama miktarlarının değişimi (Şekil 2.1(a)) ve Saf alüminyumun sıcak şekil değiştirmesinde çekme mukavemeti ve orantılılık sınırı düzenli olarak azaldığı (Şekil 2.1 (b)) de gösterilmiştir [37].



Şekil 2.1. Saf alüminyumun soğuk pekleşmesi (A), Saf alüminyumun çekme mukavemeti ve orantılılık sınırının değişimi (B) [37].

## 2.2. ALAŞIM VE ALAŞIM OLUŞTURMA

Alaşım saf malzemelerin özelliklerine üstünlük katmak amacıyla bir veya daha fazla elementin bir araya getirilmesidir. Saf halde sınırlı özellikleri bulunan metallerin özelliklerini geliştirmek veya değiştirmek, yeni özellikler ekleyerek sınırlarını genişletmek alaşımlama ile mümkündür [38].

### 2.2.1. Alaşımama Teknikleri

- a) Ergitme tekniği; Bu teknikde birden fazla element ısınn etkisiyle ergitilmekdedir. Metaller den ergime noktası düşük olan metal, ergime noktası 7öntem olan metal ergirken eriyiğe katılır, Ergime noktası düşük olan metal buharlaşma olmasından dolayı karışma daha fazla eklenmelidir [38].
- b) Toz karıştırma tekniği; Toz veya granül yapıdaki malzemelerin homojen bir şekilde karıştırılıp 7öntem basınç altında preslenmesiyle elde edilir [38].
- c) Sinterleme tekniği; Toz haldeki bir veya birden fazla malzemelerin karıştırılıp bir kalıp aracılığıyla sıkıştırılması, belli bir şekil alan malzemenin sıcaklık altında, difüzyon yoluyla metallerin çözündürülmesi yöntemidir. Bu yöntem sinterleme adı verilmektedir [38].

### 2.3. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARINDA AŞINMA

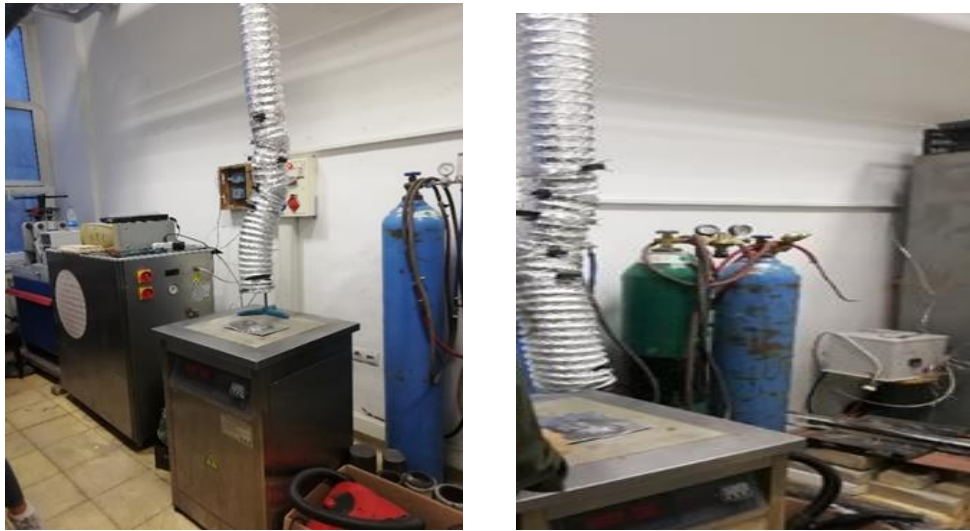
Alüminyum alaşımları sıcaklığın artması ile sertliklerinde nispeten azalma görülmekdedir. 100C derece sıcaklıklarda alüminyum alaşımları termal yumuşamaya başlar ve aşınma ve sürtünme katsayılarında artış görülür [39]. Selim Ölmez –Ergün Keleşoğlu yaptıkları çalışmada farklı oranlarda birleştirdikleri Al-Si kombinasyonlarını oda sıcaklığı ve yüksek sıcaklıklarda aşındırma işlemi yapmışlardır [40].

## BÖLÜM 3

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ DÖKÜMÜ

Deneyde kullanılacak olan 5083 Al malzeme ve Bizmut ilaveli 5083 Alüminyum, Karabük Üniversitesi bünyesindeki Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Laboratuvarlarında üretilmiştir. Malzemenin hurda kısmı indüksiyon ocağında ergime sıcaklığına kadar ergitilmiştir (Şekil 3.1). Döküm işlemine Grafit pota içerisine 5083 Alüminyum alaşımının bloklar halinde koyularak indüksiyon ocağına yerleştirilmesiyle başlanmıştır. Sızdırmazlık sağlanması için kapak kapatılarak, oksijenle bağlantıyı kesmek yani oksitlenmeyi engellemek için koruyucu CO<sub>2</sub> + SF<sub>6</sub> gaz karışımının akışı yapılmıştır. İndüksiyon Fırını 574-580 aralığında sıcaklığa ulaştığında erimenin tamamen gerçekleşmesi için bir süre beklendikten sonra karıştırma işlemi ile cüruf toplanıp, eriyik haldeki 5083 metalin metal kalıba dökümü yapılmıştır (Şekil 3.2).



Şekil 3.1. (a) İndüksiyon ocağı, (b) Atmosfer kontrollü gaz ekipmanları.



(A)



(B)

Şekil 3.2. (A) Döküm potasında ergiyik halde 5083 alüminyum alaşımı (B) Metal döküm kalıbı.

### 3.1.1. %1,2 Bizmut İlaveli 5083 Alüminyum Üretimi

%1,2 Bizmut İlaveli 5083 alüminyumun döküm işlemi indüksiyon ocağında malzemelerin ergitilmesiyle başlanmıştır. 5083 ün ergime sıcaklığının (574 °C) Bizmutun ergime sıcaklığından (274 °C) daha yüksek olmasında dolayı ilk başta alüminyum ergitilme işlemine başlanmış, daha sonra %1,2 oranında haldeki bizmut ilave edilmiştir. Tam erime sağlandığından emin olunduktan son karıştırma işlemi yapılarak cüruf kısım toparlanmış ve metal (kokil) kalıba döküm işlemi yapılmıştır. Metal kalıptan çıkarılan döküm malzeme çapaklarından ve yolluk kısımlarından arındırılarak, deney aşamaları için hazır hale getirilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. %1,2 Bizmut ilaveli 5083 kalite alüminyum alaşımının metal kalıptan çıkarılması.

## 3.2. ISIL İŞLEM

### 3.2.1. Homojenleştirme

Döküm sonrası bütün numunelere öncelik olarak Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Laboratuvarları bünyesinde bulunan Protherm Marka ısıtma fırınında homojenizasyon işlemi uygulanmıştır. Bütün deneylere homojenleştirilmiş malzemeler üzerinden devam edilmiştir. Literatür araştırmalarından yola çıkarak 500 C e ısıtılan fırında 24 saat bekleme süresi ile 5083 Al ve %1.2 Bi İlaveli 5083 Al – Bi alaşımlarına homojenleştirme işlemi uygulanmıştır.



(A)



(B)

Şekil 3.4. (A) Protherm marka ısıl işlem fırını (B)Fırın içerisine yerleştirmiş 5083 kalite alüminyum ve %1,2 bizmut ilaveli 5083 Al-Bi alaşımı.

Homojenleştirme sonrası uygulanacak ısıl işlem ve Termomekanik işlem sırası Şekil 3.5 de şema olarak gösterilmiştir. Termomekanik 1 ve Termomekanik 2 olarak isimlendirilen her iki yöntem sonucunda yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. Homojenleştirme sonrası soğuk hadde uygulanan daha sonra çözeltiye alınıp yaşlandırılan yöntem Termomekanik 1, homojenleştirilen ardından Çözeltiye alınan malzemelerin soğuk haddelenmesinden sonra yaşlandırıldığı yönetime ise Termomekanik 2 adı verilmiştir.



Şekil 3.5. Uygulanan termomekanik işlem kademeleri.

### 3.2.2. Çözeltiye Alma

Homojenleştirme işlemi sonrası Al 5083 ve 5083 Al-Bi alaşımları 530 C ye ısıtılmış ısıtıl işlem fırınında 2 saat çözeltiye alınmıştır. Çözeltiye alınan malzemeler fırından çıkarılıp soğuk suda hızlı su verme işlemi ile soğutulmuştur.

### 3.2.3. Yaşlandırma

Çözeltiye alma işlemi sonrası optimum koşullarda yaşlandırma işlemi uygulamak için iki farklı sıcaklık belirlenmiştir. 120 C ve 150 C olmak üzere düşük sıcaklıklarda 4h-8h-16h-24h-36h-42h-56h-72h gibi 8 farklı zaman periyotları belirlenerek ısıtıl işlem fırınında yaşlandırma işlemi uygulanmıştır. 120 C ve 150 C de de 4h-8h-16h-24h-36h-42h-56h-72h saat yaşlandırılan numunelerin mikro yapı ve sertlik sonuçları analiz edilmiştir. Her iki sıcaklıkta yaşlandırma sonrası malzemelerin mikro yapı görüntüleri ve sertlik sonuçlarına bakıldığında, optimum yaşlandırma sıcaklığı olarak 150 C belirlenmiştir. Daha sonraki deney sürecine 150 C de 4h-8h-16h-24h-36h-42h-56h-72h periyotlarla yaşlandırılmış malzemeler üzerinden devam edilmiştir.

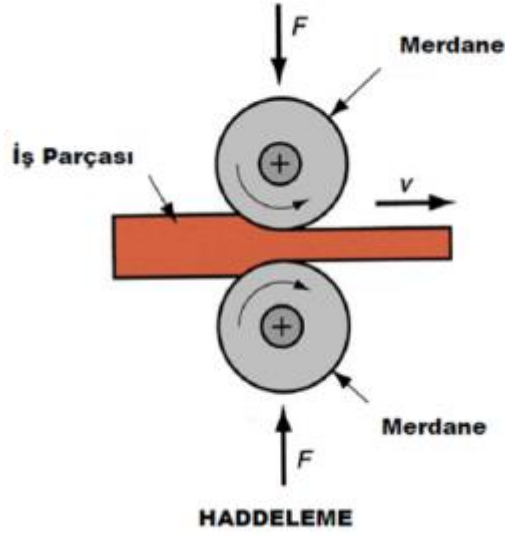
### 3.3. SOĞUK DEFORMASYON

Soğuk haddeleme öncesi Termomekanik 1 için 500 C de 24 saat yaşlandırılmış iki deney malzemesi, Termomekanik 2 için 530 C de 2 saat çözeltiliye alınmış malzemeler hazırlandı. Hadde öncesi malzemeler 400-600-800-1000-1200-2500 mesh olmak üzere zımparalanarak yüzey pürüzsüzlüğü sağlandı. Hadde cihazı olarak Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliğinde bulunan özel yapım hadde cihazı kullanılmıştır (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Haddeleme işlemi için kullanılan soğuk hadde cihazı.

Soğuk şekillendirme kuvvet uygulanan İki silindir merdane arasına iş parçasının bir taraftan verilip diğer taraftan alınarak şekillendirilmesi işlemidir. Haddeleme işlemi Şekil 3.7 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Haddelenenin şematik gösterimi.

Gerçek mühendislik hesaplamasıyla 4 pasoda %50-%20-%20-%10 uygulanarak soğuk deformasyon gerçekleştirildi. Malzeme Kalınlığı 6 mm den 2,18 mm ye indirilerek %100 deformasyon yapılmıştır. Soğuk deformasyon sonrası malzemelerin görüntüleri şekilde verilmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Soğuk Haddelenmiş 5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımı.

### 3.4. AŞINMA

Aşınma yapılacak numuneler pik sonuçlara göre belirlenmiştir. 17 mm -17 mm şeklinde kesilen malzemelerin her iki tarafı 400-800-1000-1200 mesh zımparalarla zımparalanıp pürüzsüz bir yüzey elde edilmiştir. 35mm-35mm boyutlarında cam hazırlanıp malzeme cam üzerine yapıştırıcı vasıtasıyla sabitlenmiştir. Hazırlanan numuneler Karabük Üniversitesi bünyesinde bulunan Metalurji ve Malzeme mühendisliğine ait aşınma cihazında aşınma deneyi yapılmıştır. (Şekil 3.9) Parametre sabit 20N yük altında, 0.034 m/s kayma hızında ve 40 devir/dakika da 100 metre, toplamda 400 metre yol kat edecek şekilde belirlenmiştir. Batıcı uç olarak AISI 52100 kalite yüksek sertlikte 6 mm çapa sahip çelik bilye kullanılmıştır. Deney bitiminde hem kuru hemde korozif aşınma sonrası ilk başlangıçtaki ve 400 m yol sonrası kayma mesafesine bağlı olarak ağırlık kaybı değişim Şekil leri çizilmiştir. Aşınma sırasında sürtünme kuvveti okuyucu aracılığıyla bilgisayara anlık ölçümler kaydedilmiştir. Aşınma derinliklerini ölçmek için, Karabük Üniversitesi MARGEM bünyesinde bulunan, yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı Mitutoyo SJ-410 kullanılmıştır. Ölçüm işlemi ISO 1997 standardına uygun olarak 2 um standart prop ile ölçülerek, aşınma hacim kayıpları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$V_w(mm)^3 = \frac{2ab}{3} * c$$

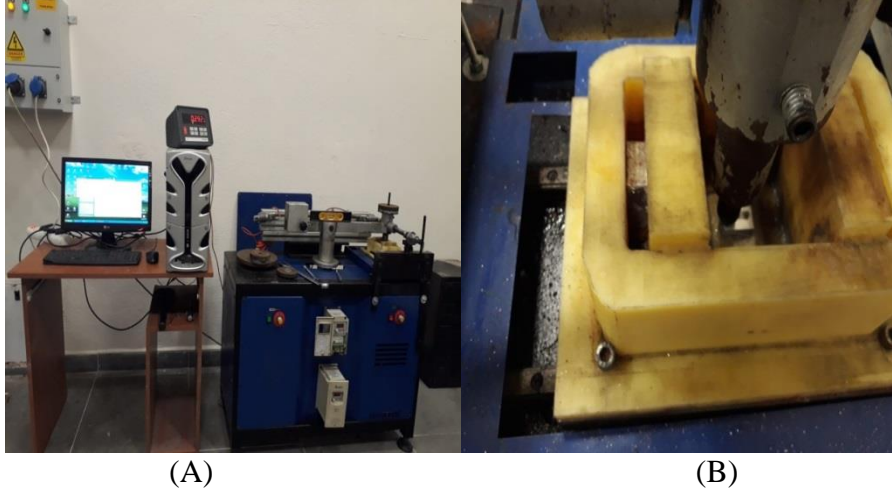
Burada,

$V_w$  = aşınma hacim kaybı,

a=iz genişliği, b=iz derinliği, c=iz uzunluğudur.

Hesaplanan hacim kayıplarının toplam mesafeye bölünmesiyle aşınma hızları hesaplanmıştır.

Numunelerin aşınma yüzeylerinin görüntülenmesi ve aşınma mekanizmalarının belirlenmesi için SEM'de görüntü alınmış, daha sonrasında ve EDX analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.9. (A)Aşınma cihazı, (B)Aşınma cihazına bağlanmış numune görüntüsü.

#### **3.4.1. Kuru aşınma**

Belirlenen boyutlarda kesilip Metalografik işlemlerden sonra hazır hale gelen numuneler 100-200-300-400 metre yol kat edecek şekilde 4 kademedeki kuru ortamda aşınma deneyleri yapılmış, başlangıçta ve her kademedeki sonra malzemelerin ağırlık kayıpları 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide ölçülmüştür.

#### **3.4.2. Korozif Aşınma**

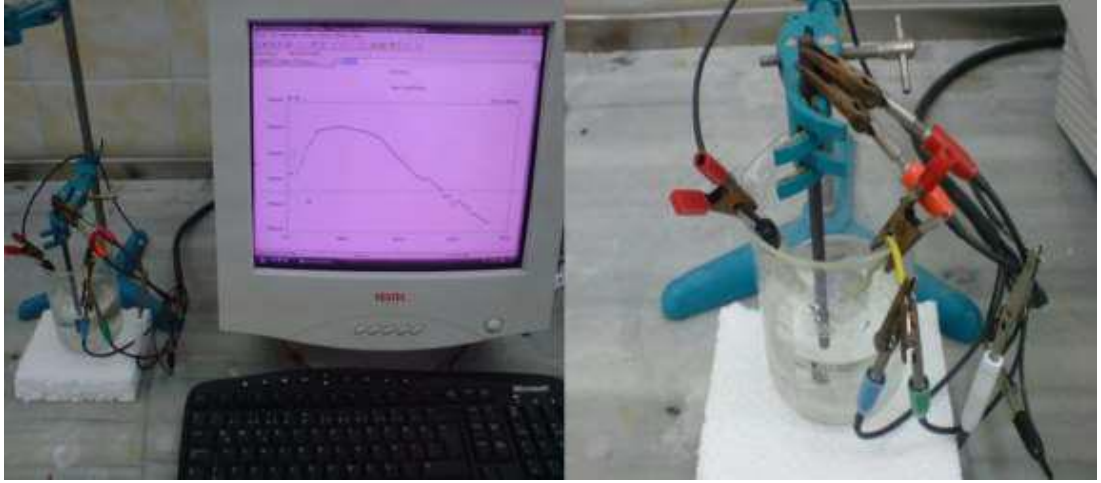
%3,5 NaCl- Saf su çözeltisi hazırlanarak korozif ortam oluşturulmuştur. Aşınma deneyleri tuz çözeltisi içerisinde gerçekleştirilerek başlangıçtaki ve her kademedeki sonra alkolle temizlenip ağırlık kayıpları hassas terazide ölçülmüştür.

### **3.5. KOROZYON**

Korozyon deneylerinde hem daldırma yöntemi hemde potansiyodinamik polarizasyon test yöntemi kullanılmıştır.

### 3.5.1. Potansiyodinamik Polarizasyon Test Yöntemi

13mm-13mm şeklinde kesilen numuneler 2500 mesh zımparaya kadar zımparalanıp yüzeyi alümina sıvı ile parlatılmıştır. Su geçirmez bant ile kaplanan numuneler daire şeklinde korozyon uygulanacak alan belirlenip %3,5 NaCl+ Saf su içeren tuzlu su çözeltisi içerisinde bilgisayar kontrollü DC105 korozyon analizine sahip Gamry model PC4/300 mA potansiyostat/galvanostat ile korozyon deneyleri yapılmıştır. Karşıt elektrot olarak grafit çubuk, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot (SCE) ve çalışma elektrodu olarak numune yüzeyinin bulunduğu klasik üç elektrotlu hücre kullanılmıştır (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Potansiyodinamik Polarizasyon korozyon deneylerinde kullanılan potansiyostatik yöntemle çalışan statik korozyon deney düzeneği.

Her malzeme için 3 adet potansiyodinamik polarizasyon testi uygulanıp sonuçlar için ortalama değer kullanılmıştır.

### 3.5.2. Daldırma deneyi

Daldırma deneyi için yüzey alanı belirlenen numunelerin 0,1 mg hassasiyete sahip hassas terazide başlangıç ağırlık ölçümleri yapılmıştır. %3,5 NaCl çözeltisi içerisinde 2h-4h-6h-8h-12h-16h-24h süre ile bekletilerek(Şekil 3.11) korozyon olması sağlanıp her saat parametresi sonrasında temizleme işlemi yapılarak ağırlık kayıpları ölçülmüştür. Temizleme işlemi ISOLAB marka ultrasonik temizleme cihazında

Nitrik Asit ( $\text{HNO}_3$ ) içerisinde oda sıcaklığında 10 dakika bekletilip ardından alkol ile temizleyerek yapılmıştır (Şekil 3.12).



(A)

(B)

Şekil 3.11 (A) Daldırma deneylerinde korozyon deney düzeneği (B) NaCL içerisinde numunenin yakın görüntüsü.



(A)

(B)

Şekil 3.12 (A) Daldırma deneylerinde kullanılan Ultrasonik temizleme cihazı. (B) Ultrasonik temizleme cihazının iç görüntüsü ve temizlemek için kullanılan  $\text{HNO}_3$  + etil alkol.

Daldırma deneyi sonrası ölçülen ağırlığı malzemenin başlangıçtaki ağırlığından çıkarılarak toplam ağırlık kaybı hesaplanmıştır. Ağırlık kaybı /yüzey alanı hesabı

yapılarak mg/dm<sup>2</sup> cinsinden korozyon oranı belirlenmiştir. 24 saat daldırma deneyi uygulama sonrası korozyon yüzeylerinin görüntüleri SEM ile alınarak korozyon mekanizmaları incelenerek yorumlanmıştır.

### 3.6. 5083 KALİTE ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KARAKTERİZASYONU

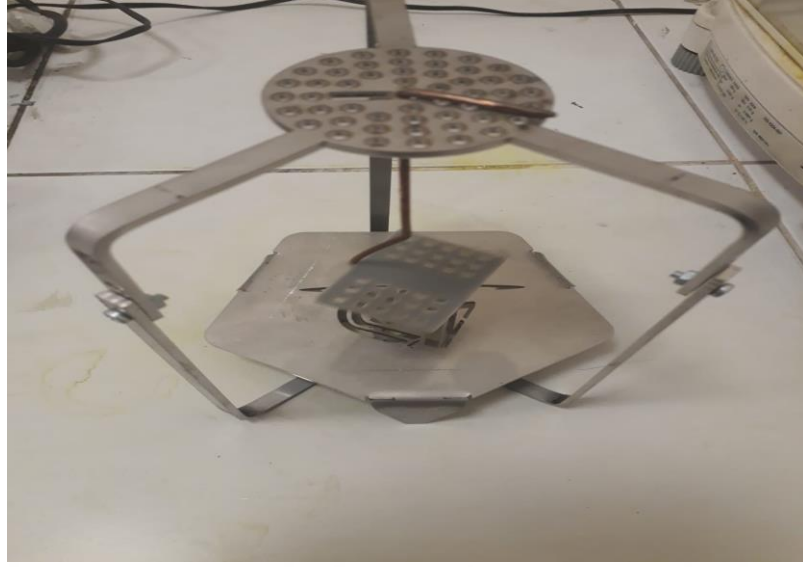
#### 3.6.1. Yoğunluk Ölçümü

5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımları üretim sonrası yoğunluk ölçümleri için Arşimet terazisi yöntemi kullanılmıştır (Şekil.13). Boyutları 10mm-10mm -10 mm şeklinde hazırlanan numunelerin yüzeyleri 2500 mesh zımparaya kadar zımparalanıp parlatılmıştır. Yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi doğru sonuç alınabilmesi için önem arz etmektedir. Yoğunluğu bilinen saf su içerisine sırayla daldırılan numunelerin sudaki ağırlığı ölçülmüştür. Numunelerin kuru ağırlığı ve su içerisindeki askıdaki ağırlık farkından yararlanarak aşağıdaki formülle yoğunlukları hesaplanmıştır.

$$\rho(g/cm^3) = \frac{\text{Kuru ağırlık}}{\text{Yaş ağırlık} - \text{Askıdaki ağırlık}} * D$$

Burada; malzeme su çeken bir malzeme olmadığı için kuru ve yaş ağırlık eşit alınmıştır.

D saf suyun öz kütlesi olup 1 olarak alınmıştır.



Şekil 3.13. Yoğunluk ölçüm düzeneği.

### 3.7. SPEKTRAL ANALİZ

Malzeme üzerine ışın göndererek noktasal yakma ile malzemede bulunan elementleri yüzdesiyle yakalamaya yarayan bir analiz yöntemidir. 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemeleri döküm sonrası Metalografik işleme yüzey pürüzlülüğü yok edilip Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Laboratuvarlarında Spektral analiz yaptırılmıştır (Şekil 3.14). Alınan sonuçlar ile 5083Al ve 5083 Al-Bi Alaşımının kimyasal kompozisyonu ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Spektral analiz yapılmış malzeme görüntüsü.

### 3.8. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

5083 kalite Alüminyum alaşımı ve %1,2 Bizmut ilaveli 5083 AL-Bi alaşımının mikroyapı görüntüleri için optik mikroskop, taramalı elektron mikroskopu (SEM) ve elementlerin tayini için EDX analizi yapılmıştır. Fazların tayini için XRD yapılmış olup yapıdaki fazlar ölçüm propunun çapından küçük olduğu için fazların tayininde sonuç alınamamıştır.

#### 3.8.1. Metalografik İşlemler

Optik mikroskop ve SEM de görüntü alınabilmesi için standart Metalografik işlemler uygulanmıştır. 10 mm - 10 mm şeklinde kesilerek epoksi reçine ve sertleştirici karışımı kullanılarak soğuk kalıba alınmıştır. Yüzeyleri zımparalanıp parlatılarak dağlama işlemi için hazır hale getirilmiştir. Dağlama asidi olarak %25 hidroklorik asit (HCL)+%25Nitrik asit (HNO<sub>3</sub>) + %25 hidroflorük asit (HF) +%25 CH<sub>3</sub>OH karışımı kullanılıp 10 saniye bekleme sonrası yüzey alkolle temizlenip kurutulmuştur. Nikon marka optik mikroskopta mikro yapı görüntüleri alınıp daha sonra SEM de görüntü alınarak EDX analizi yapılmıştır.

### 3.8.2. XRD

Bu incelemede ürettiğimiz ve yaşlandırma ısıl işlemine tabi tuttuğumuz 5083 kalite ve 5083 AL-Bi alaşımının nitel ve nicel incelemeleri yapılmıştır. Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsünde bulunan Rigaku Ultima IV marka X-Ray Kırınım Spektrometresi cihazında (Şekil 3.15) 10 derece ve 90 derece tarama açısı aralığında incelemeler yapılmış olup malzeme içindeki 2 li ve 3 lü alaşım kombinasyonları (fazlar) belirlenmek istenmiştir. Ölçüm probunun çapının fazların çapından büyükolmasından dolayı fazlar yakalanamamış ve sağlıklı veri akışı alınamamıştır.



Şekil 3.15. Rigaku Ultima IV -X-Ray Kırınım Spektrometresi.

### 3.8.3. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu

Mekanik özellikler oda sıcaklığında Vickers sertlik ölçümleri yapılarak tayin edilmiştir.

Metalografik olarak hazırlanan numunelerin Sertlikleri Shimadzu marka HMV model cihazda (Şekil 3.16), Vickers Sertlik testi ile belirlenmiştir. Deneyde piramit şekilli batıcı uç kullanılarak 0.5 Newton yük altında 15 saniye bekletilip ,oluşan izin köşegen uzunlukları ölçülerek sertlik değerleri belirlenmiştir. Her deney numunesi için 10 ölçüm yapılarak sonuç için ortalama değer alınmıştır.



## BÖLÜM 4

### DENEYSEL SONUÇLAR

#### 4.1. YOĞUNLUK ÖLÇÜM SONUÇLARI

Yapılan çalışmalara göre 5083 kalite alüminyum alaşımlarının yoğunluğu  $2,65 \text{ g/cm}^3$ , Bizmutun yoğunluğu ise  $9,78 \text{ g/cm}^3$  [32] olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.1 de 5083 kalite döküm alüminyum ve Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi alaşımının yoğunluk ölçümleri verilmiştir. Isıl işlem uygulaması ve Termomekanik işlem uygulamaları sonrasında yoğunluklarda değişim gözlenmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1. 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemelerin yoğunluk ölçüm sonuçları.

Malzeme adı	Uygulanan işlem	Yoğunluk ( $\text{g/cm}^3$ )
5083 alüminyum	Homojenleştirme	2,58
5083 alüminyum	150 °C de yaşlandırma	2,65
5083 alüminyum	Termomekanik işlem 1	2,61
5083 alüminyum	Termomekanik işlem 2	2,63
Bizmut ilaveli 5083 alüminyum	Homojenleştirme	2,67
Bizmut ilaveli 5083 alüminyum	150 °C de yaşlandırma	2,66
Bizmut ilaveli 5083 alüminyum	Termomekanik işlem 1	2,78
Bizmut ilaveli 5083 alüminyum	Termomekanik işlem 2	2,68

#### 4.2. SPEKTRAL ANALİZ SONUÇLARI

5083 kalite alüminyumun BS EN 573-3:2009 standardına göre kimyasal bileşimi, ve bu çalışmada kullanılan döküm AA5083 kalite alüminyum ve %1.2 Bizmut ilaveli

döküm 5083 alüminyum alaşımlarının spectral analiz sonrası ölçülen kimyasal kompozisyonu Çizelge 4.2 de verilmiştir. Çizelge de BS EN 573-3:2009 AA 5083 kalite malzemenin kimyasal kompozisyonuyla, bu çalışmada kullanılan döküm 5083 alaşımı ve, %1,2 Bizmut ilaveli 5083 alaşımının kimyasal kompozisyonu karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Bu sonuçlara göre standart malzeme kalitesinin yakalandığı, döküm 5083 malzeme üretimi başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.2. Döküm 5083 Al ve döküm 5083 Al-Bi alaşımlarının kimyasal kompozisyonları.

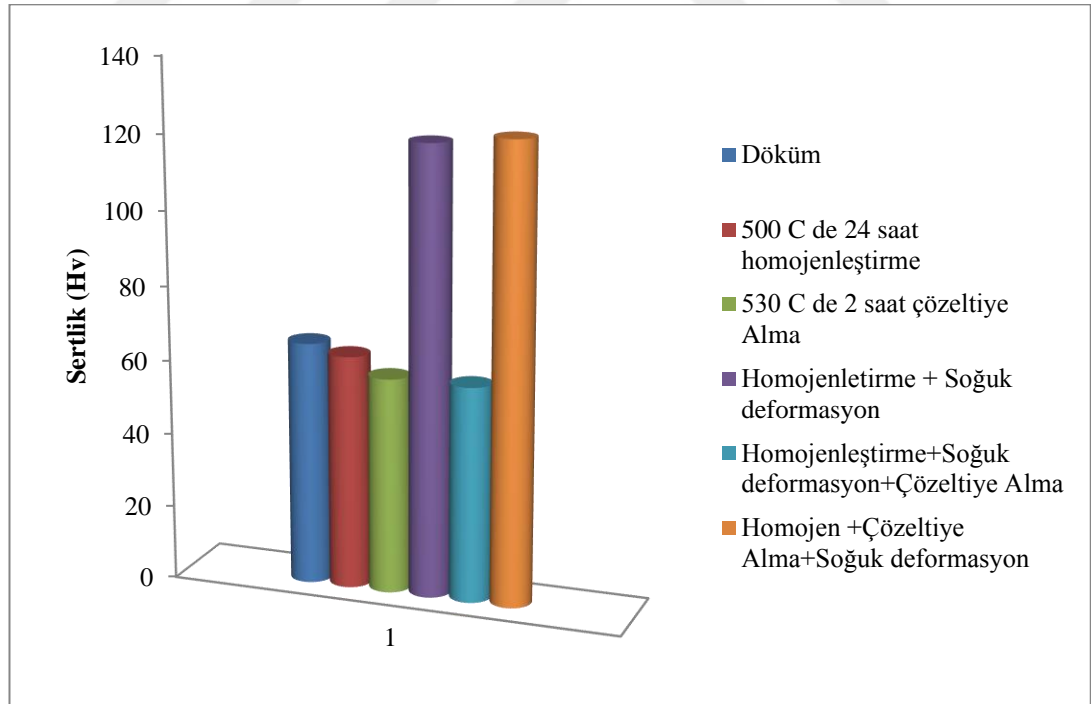
Element (%)	BS EN 573-3:2009 AA5083	Döküm AA5083	Döküm AA5083 Al-Bi
Al	-	95,40	95,16
Bi	-	0,002 den az	1,27
Mg	4,00-4,90	3,00	1,94
Mn	0,40-1,00	0,42	0,30
Fe	0,40	0,31	0,37
Si	0,0-0,40	0,32	0,33
Ti	0,05-0,25	0,029	0,03
Cr	0,05-0,25	0,10	0,12
Cu	0,10	0,27	0,30
Zn	0,0-0,10	0,08	0,10
Diğer elementler	0,0-0,15	0,058	0,07

### 4.3. SERTLİK SONUÇLARI

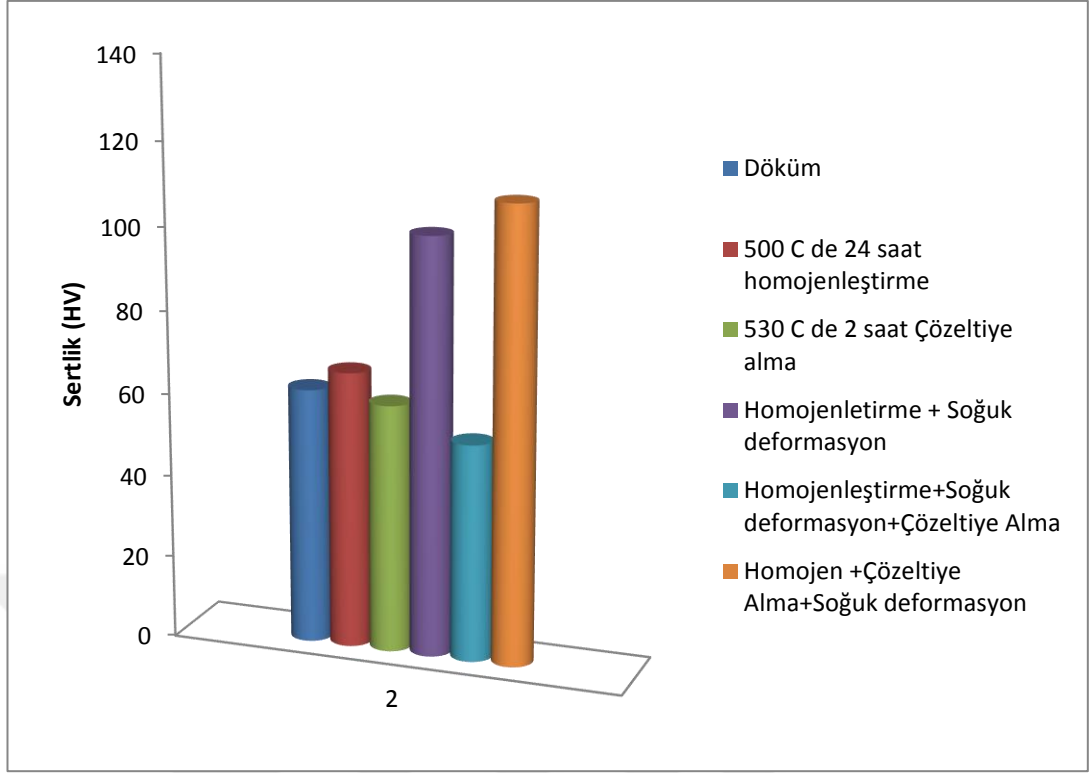
Deneyde kullanılan malzemelerin mekanik özellikleri hakkında fikir edinmek için vikers sertlik testi yapılmıştır, termomekanik işlem iki kademe olarak belirlenmiştir. Homojenleştirme sonrası Soğuk deformasyon yapılması termomekanik işlem 1, çözeltiyeye alma sonrası soğuk defarmasyon yapılması ise Termomekanik işlem 2 olarak belirlenmiştir. Tüm işlem kademelerinde sertlik ölçümleri alınarak mekanik özelliklerin gelişim süreci belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan 5083 döküm alüminyum alaşımının ve % 1,2 bizmut ilaveli 5083 Al-Bi alaşımının yaşlandırma öncesi ara işlem kademelerinde sertlik sonuçları Şekil 4.1 de verilmiştir.

Döküm 5083 malzemenin sertlik değeri 65,7 Hv olarak ölçülmüştür. 500C de 24 saat homojenleştirme işlemi sonrası sertlik 63,2 olarak ölçülürken, 530 c de 2 saat çözeltiyeye alma işlemi ile vickers sertlik 58,3 Hv ye düşmüştür. %1,2 Bizmut ilave edilen 5083 Al-Bi alaşım döküm sertliği 62,1 Hv, homojenleştirme ısıl işlemi ile 67,1 Hv, çözeltiyeye alma işlemi sonrası ise 60,2 hv olarak ölçülmüştür. 5083 alüminyum alaşımı ile 5083 Al-Bizmut Alaşımının sertlik değerlerine bakıldığında birbirine yakın değerler ölçülmüş olup, 5083 AA malzemesinin sertlik değerinin biraz daha yüksek olduğu görülmüştür.

Soğuk deformasyonun sertlik üzerindeki etkisi (Şekil 4.1) de verilmiştir. Soğuk deformasyon ile her iki malzemenin sertliğinde belirgin artış görülmekte ve sertlik değeri döküm halindeki sertlik değerinin iki katı durumuna gelmiştir. 5083 AA malzemesi, 5083 Al-Bi alaşımının sertliğinden biraz daha yüksek sertlik değerlerine ulaşmakla birlikte belirgin farklılıkların oluşmadığı kanaatine varılmaktadır.



(A)



(B)

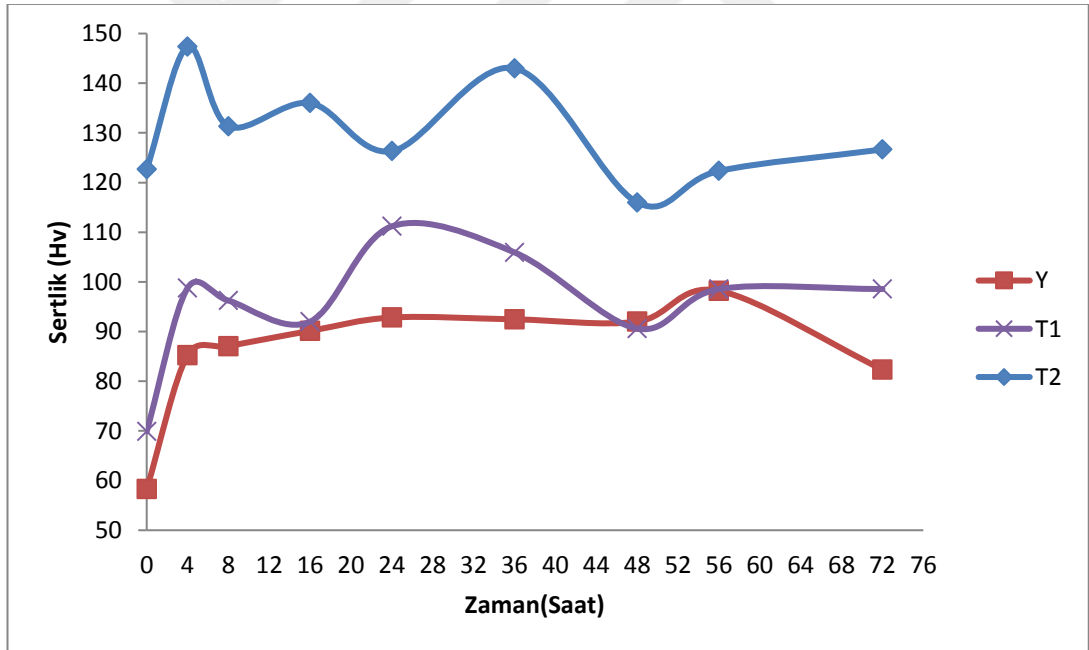
Şekil 4.1. (A) Döküm 5083 Al alaşımının yaşlandırma öncesi sertlik değerleri, (B) döküm 5083 Al-Bi alaşımının yaşlandırma öncesi sertlik değerleri.

150 C sıcaklıkta 0-72 saat aralığında yaşlandırma işlemi uygulanmış malzemelerin her 0-4-8-16-24-32-48-56-72 saat periyotlarında sertlik ölçümleri alınarak Şekil 4.1 çizilmiştir (Şekil 4.2.). Her iki malzemedede normal yaşlandırma, Termomekanik işlem 1 ve Termomekanik işlemlerin pik sertlik değerleri belirlenmiştir. Belirlenen pik sertlik değerlerinin yaşlandırma süreçleri optimum olarak belirlenip aşınma, korozyon ve mikro yapı analizleri bu sonuçlar üzerinden yapılmıştır.

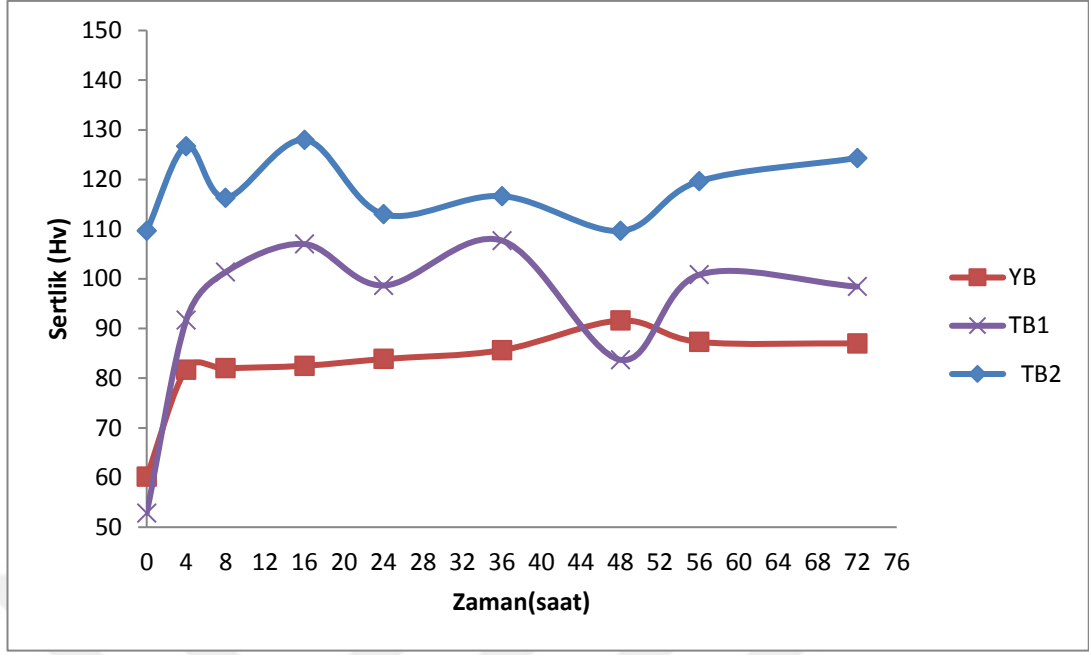
Şekil 4.2. (A) de 5083 malzeme için bakıldığında 150 C sabit sıcaklıkta tüm kademeler için (Y, T1 ve T2) ilk 4 saat yaşlandırma süresinde ani sertlik artışı olduğu görülmektedir. Normal yaşlandırmada (Y) yaşlandırma süresinin artışına bağlı olarak kararlı bir sertlik artışı görülüp 56 saatde pik sertlik değerine ulaşmıştır, daha sonra sertlik değerinde düşüş gözlenmiştir. Termomekanik işlem (T1) yaşlandırma süresinin artışı ile önce azalan daha sonra 24 saatde pik sertliğe ulaşmış, yaşlandırma süre arttıkça sertliği azalan artan tekrar azalan zikzak görüntüsü oluşturmuştur.

Benzer Çizelge Termomekanik 2 (T2) de görülmektedir. Yaşlandırma süresi artıkça 24 saate kadar sertliklerde başlangıca göre azalma ,4 saat gibi diğer parametrelerden daha kısa zamanda pig sertlik değerine ulaşılmaktadır. Yaşlandırma süresinin artması ile sertlikde azalış göstererek artıp azalan zikzaklı görünümünden uzaklaşıp stabil hale geçmiştir. Termomekanik işlemlerin sertlik değerleri ile normal yaşlandırma ile ölçülen veriler karşılaştırıldığında sertlikde artış sağlandığı görülmüştür.

%1,2 5083 Al Bi Alaşımının sertlik grafiğine bakıldığında (Şekil 4.2. (B)) tüm parametreler için (YB, TB1, TB2) 4 saat yaşlandırmaya kadar ani sertlik artışı daha sonra azalıp artan tekrar azalan zikzak görünümlü sertlik grafiği oluşmuştur. Normal yaşlandırmada (YB) 48 saatte ,termomekanik işlem (TB1) ile 36 saatte ,termomekanik işlem 2 (TB) ile ise 16 saatte pig sertlik değerine ulaşılmıştır.



(A)

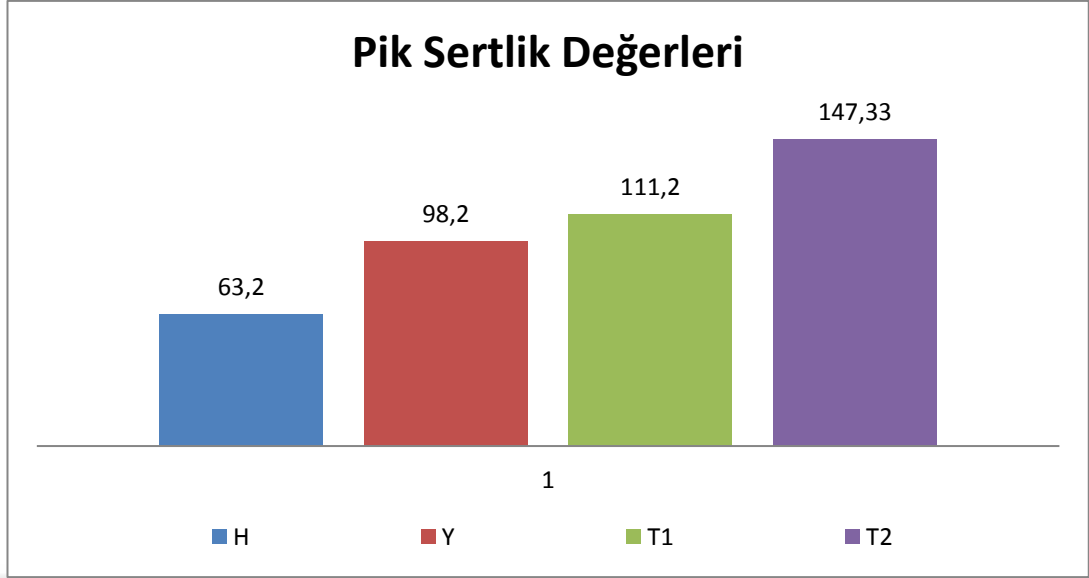


(B)

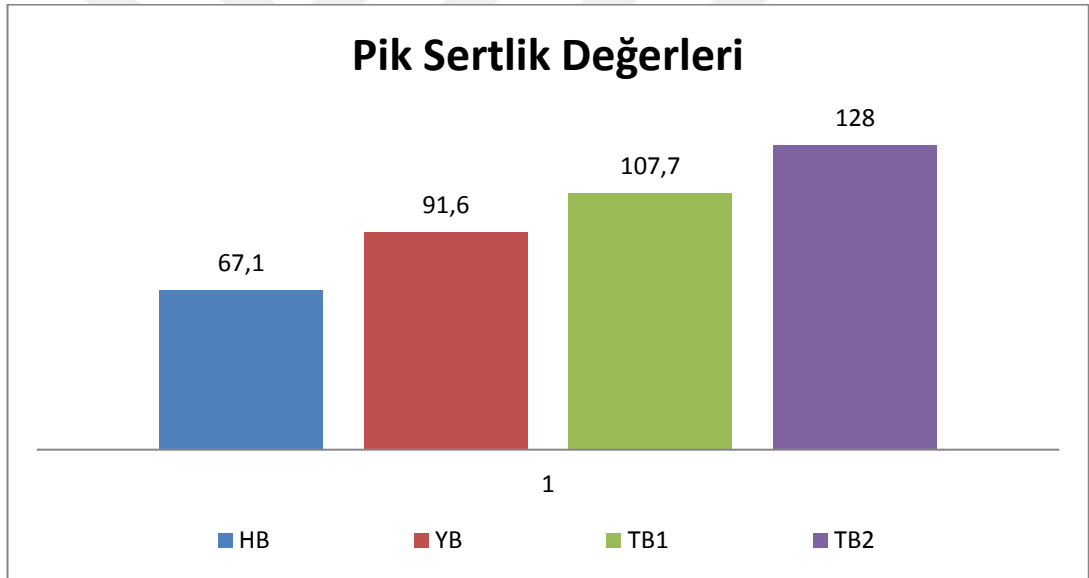
Şekil 4.2. (A) Döküm 5083 Al alaşımının 150 C de 0-72 saat yaşlandırma sertlik değerleri (B) Döküm 5083 Al-Bi alaşımının yaşlandırma sonrası sertlik değerleri.

Şekil 4.3 de 5083 Al ve 5083 Al-Bi Alaşımının maksimum sertlik değerleri verilmiştir. Grafiğe bakıldığında Termomekanik işlem sürecinin sertlik artışını sağladığı mekanik özelliklerini iyileştirdiği söylenebilir. 5083 Al Alaşımının homojenleştirme ile sertliği 63,2 HV iken HV normal yaşlandırma ile sertliği 98,2 HV olup soğuk deformasyon+yaşlandırma (T1) ile 111,2 HV sertlik değerine ulaşmıştır. Çözeltiyi alma sonrası soğuk deformasyon+yaşlandırma (T2) ile 147,33 HV ile en yüksek sertlik değerine ulaşılmıştır. 5083 Al-Bi alaşımında da termomekanik işlem ile sertlik artışı sağlanıp en yüksek sertliğe TB2 işleminde 128 HV ile ulaşılmıştır.

Sertlik sonuçlarına bakıldığında her iki malzemede de soğuk defarmasyonun ve termomekanik işlem kademelerinin sertlik artışını sağladığı, 5083 Al Alaşımının, Bizmutlu 5083 alaşımından daha yüksek sertlik değerine ulaştığı, her iki malzemede de termomekanik işlem parametresine göre (Y-T1-T2) ve (YB-TB1-TB2) daha kısa yaşlandırma sürelerinde pig sertlik değerine erişildiği gözlenmiştir. Daha sonraki deneyler için (aşınma, korozyon vs) bu pig değerler kullanılmıştır.



(A)



(B)

Şekil 4.3. (A) Döküm 5083 Al alaşımının pig sertlik değerleri, (B) Döküm 5083 Al-Bi alaşımının pig sertlik değerleri.

C. N Panagopoulos ve arkadaşı E. P Georgiou ticari 5083 Al malzemeye % 7 ve % 15 oranlarında soğuk haddeleme işlemi uygulayak mekanik özelliklerini incelemişlerdir[[41],[42]]Yaptıkları çalışmada 5083 alaşımının yüzeyinde mikro sertlik deneyleri uygulayarak soğuk Haddelemenin sertlik üzerindeki etkisini ortaya koymuşlardır.Sırasıyla %0,%5,%15 Soğuk Haddeleme yapılan 5083 malzemenin

sertlikleri,78HV-84HV-88HV olarak ölçmüşlerdir.Bu sonuca göre deformasyon aralığının artmasının (% 0'dan% 15'e) alaşımın yüzey sertliğinde önemli bir artışa neden olduğunu söylemişlerdir. C.N Panagopoulos ve arkadaşı E. P Georgiou bu artışı litaretürdeki bilgi ile açıklamışlardır. Buna göre;

Alaşımın tane boyutunun küçülmesi: Tanecik sınırlarının dislokasyon hareketine ve çoğalmasına engel teşkil ettiği yaygın olarak bilinmektedir.Hall – Petch denkleminde [43] göre, genellikle bir metalik malzemenin akma dayanımının ( $\sigma$ ) azalan tane boyutu ile arttığı bulunmuştur.

Alaşımın işlem ile sertleştirilmesi: Metalik malzemelerin şekillendirme işlemleri sırasında, malzeme hacmi başına çıkık sayısı önemli ölçüde artar [44].Böylece, yeni çıkıkların çekirdeklenmesi ve hareketi mevcut çıkıklar tarafından engellenerek bu malzemenin sertliğinin artmasına neden olur.

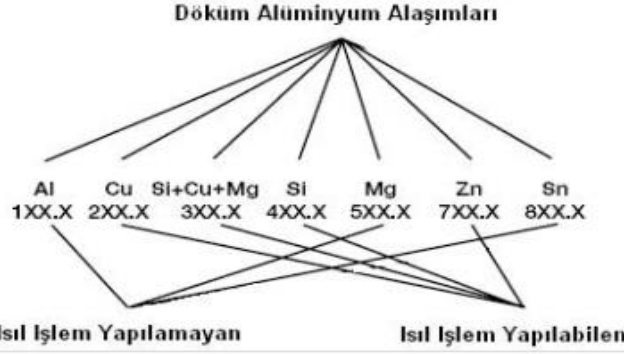
Bu çalışmada 5083 kalite malzemenin döküm halindeki yüzey sertliği %100 soğuk deformasyon ile 2 katı sertlik seviyesine yükselmiştir. Litaretürdeki yapılan çalışmalara bakıldığında benzer sonuçlar yakalandığının,5083 malzemeye uygulanan soğuk deformasyonun malzemenin sertliğinde artış sağladığını göstermiştir. 5083 Al malzemedeki Termomekanik işlemin başarılı şekilde uygulanarak sertliğin artırıldığını söyleyebiliriz.

Sertlik artışının sebeplerinden biride uygulanan Termomekanik işlemlerdir. Yaşlandırma ısıl işlemi ile maksimum sertliğe ulaşılmıştır. Bilindiği üzere Çökeltme sertleşmesi iç yapıda, dislokasyon hareketlerini engelleyerek dayanımın artmasına sebep olan çok küçük ve sert ikinci fazların çökeltilmesi işlemidir. Bu çökeltmeler dislokasyonlara engel teşkil ederek malzemenin dayanımını arttırmaktadır [45,46,47].

5083 malzemenin döküm hali ile Termomekanik işlemler sonrasındaki mikroyapısına bakıldığında çökelen fazların tane sınırları içinde kaldığı ve yoğunlaştığı görülmektedir. Bu fazların Mg<sub>2</sub>Si fazı olduğu düşünülmektedir. Mg<sub>2</sub>Si

intermetalik bir bileşiktir ve yüksek erime sıcaklığı, düşük yoğunluk, yüksek sertlik sergiler [48]. Sertlik bu faz ile orantılı artış göstermektedir.

Litaretürde [45] 5000 serisi Al alaşımlar ısıtılma işlem yapılamayan kısımda gösterilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Döküm Alüminyum Alaşımlarının ısıtılma uygulanabilirliği [45].

5083 alaşımlarına bu çalışmada uyguladığımız homojenleştirme ve yaşlandırma ısıtılma işlemi ile sertlik artışını başarılı şekilde gerçekleştirdik. Isıtılma işleminin yanında soğuk deformasyonun etkisinden katarak sertlik artışını başlangıçtaki sertliğinden 2 katı sertlik seviyelerine çıkarttık.

#### 4.4. MİKROYAPI SONUÇLARI

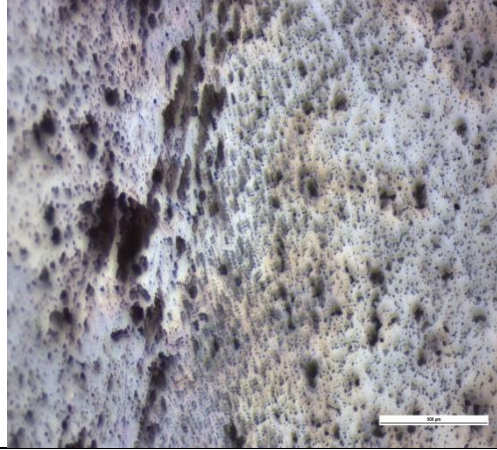
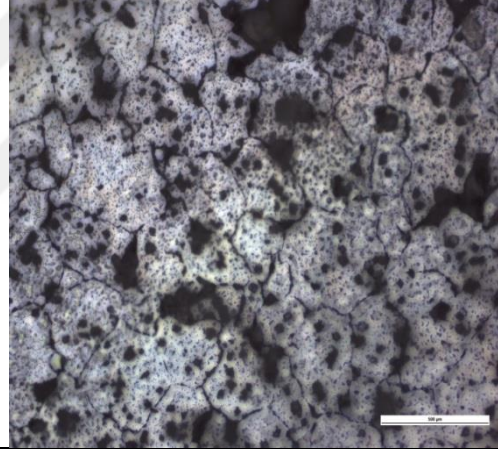
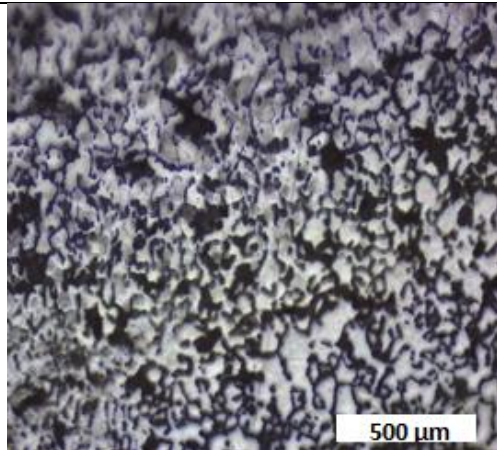
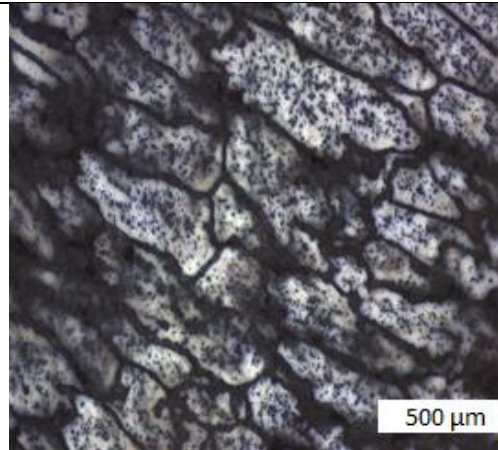
Mikro yapı görüntüleri optik mikroskop da ve taramalı elektron mikroskopu (SEM) ile alınmıştır.

##### 4.4.1. Optik Mikropi Sonuçları

5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımının her işlem kademesinde 10x-20x-50x büyütmede optik mikroskop görüntülerine bakılarak mikroyapı analizleri yapılmıştır. Çizelge 4.3 de 5083 Al malzemenin 20x büyütmede (orta) işlem aşamalarına göre mikroyapı değişimleri fotoğraflanmıştır. Homojenleştirilmiş 5083 Al malzemenin mikro yapı görüntüsünde irili ufaklı küçük siyahımsı ve gri renkli partiküllerin matris üzerinde saçılmış görüntü mevcuttur. Yaşlandırma işlemi ile mikroyapıda tane sınırlarının

oluşmaya başladığı matris üzerinde saçılı küçük partiküllerin hem tane sınırı içinde hemde matrisde bulunduğu söylenebilir. Homojenleştirme sonrası soğuk hadde uygulanmış ve yaşlandırma işlemi yapılan (T1) malzemenin mikroyapı görüntüsünde tane sınırları sayısında artış olduğu, kılcal tane sınırlarının oluştuğu ve saçılmış küçük partiküllerin tane sınırlarına toplanmaya başladığı bir görüntü yakalanmıştır. Homojenleştirme ardından çözeltiye alınarak soğuk hadde uygulanmış ve yaşlandırma işlemi yapılan malzemenin (T2) mikro yapı görüntüsünde belirgin tane sınırlarının oluştuğu ve kılcal tane sınırlarının kalın koyu tane sınırlarına dönüştüğü, tane sınırı içinde küçük partiküllerin yanında, bir önceki mikroyapıda görülen kılcal tanelerin de tane sınırları arasında kaldığı görülmektedir

Çizelge 4.3 5083AA malzemenin 20x büyütmede optik mikroyapı görüntüleri.

5083 AL Mikroyapı (20x) ORTA BÜYÜTME	
	
<b>H</b>	<b>Y</b>
	
<b>T1</b>	<b>T2</b>
<p><b>H-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme</b>  <b>Y-5083 Al 150 C de 56 saat yaşlandırma</b>  <b>T1-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme +Soğuk haddeleme+530 C de 2 saat Çözeltiye alma+150 C de 24 saat yaşlandırma</b></p>	

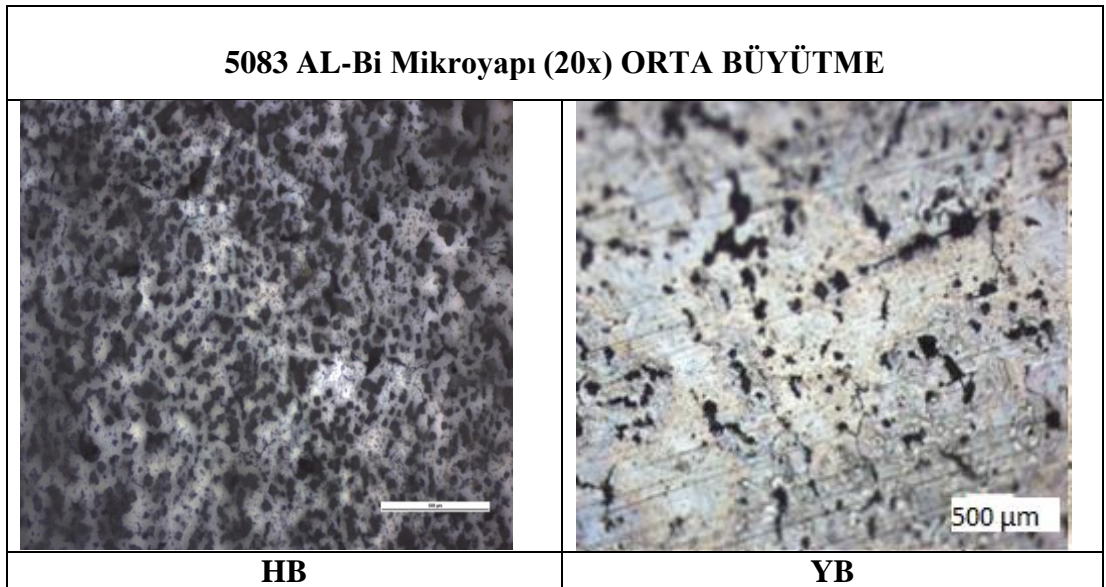
**T2-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme +530 C de 2 saat Çözeltiyeye alma +Soğuk Haddeme +150 C de 4 saat yaşlandırma**

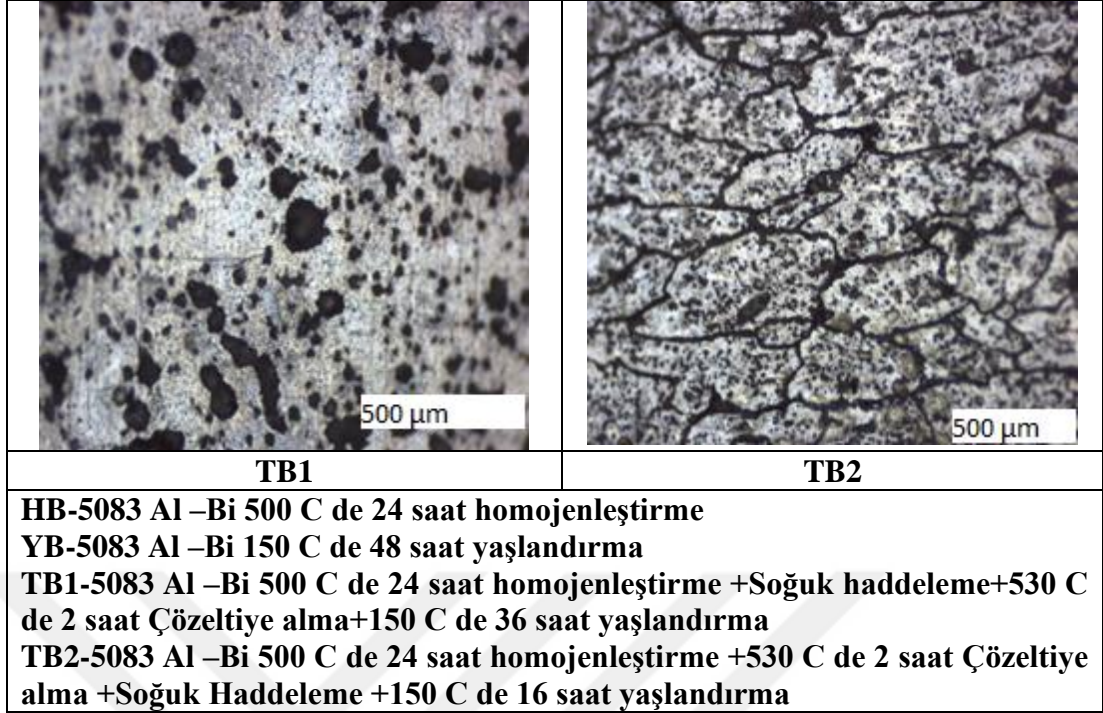
Çizelge 4.4 de %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi Alaşımının 20x (orta) büyütmede optik mikroyapı görüntüleri her işlem için karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Homojenleştirilmiş 5083 Al-Bi alaşımının mikroyapı görüntüsünde Bizmut ilavesiz 5083 Al malzemesine benzer bir mikroyapı görüntüsü yakalanmıştır. Yaşlandırma işlemi ile tane sınırları belli belirsiz yok denecek şekilde oluşmaya başlamıştır. Termomekanik işlem 1(T1) mikro yapısında siyah partiküllerin başlangıçtaki büyüklüğünden daha iri taneli partiküllerin oluştuğu, tane sınırlarının ise çok belirginleşmediği görülmektedir. Termomekanik işlem 2 (T2) mikro yapısında belirgin koyu tane sınırları oluşmuştur.

Bu aşamada 5083 AL ve 5083 Al-Bi malzemenin mikroyapıları karşılaştırıldığında Bizmutlu malzemede mikroyapıda tane sınırlarında geç oluşmaya başladığı Termomekanik işlem 2 de belirgin tane sınırlarının oluştuğu gözlenmiştir.

Bu durumun malzemenin mekanik özelliklerine etkisi sertlik sonuçlarıyla ilişkilendirilebilmektedir.

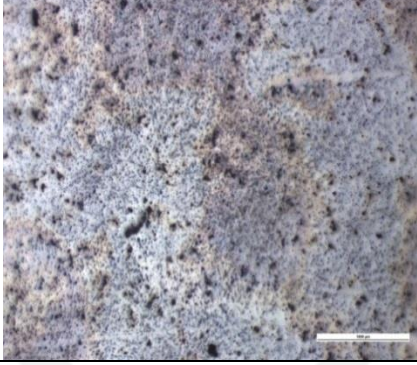
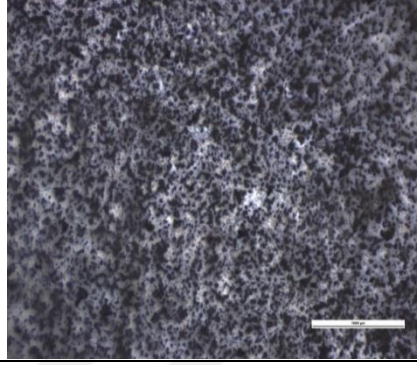
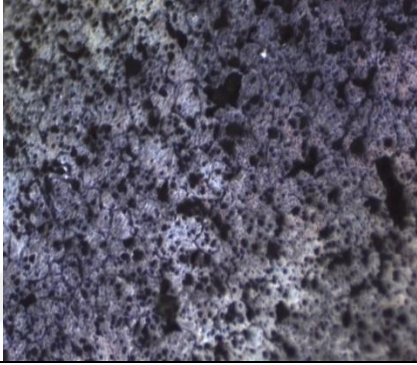
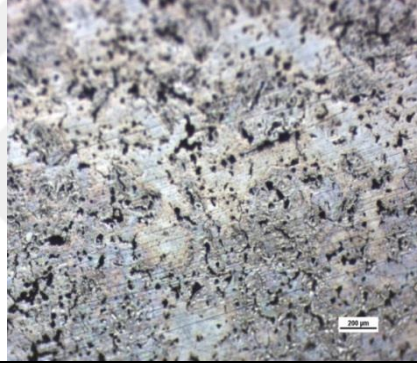
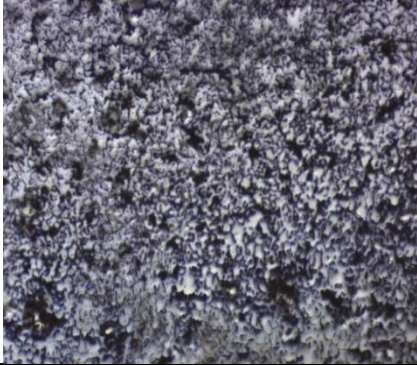
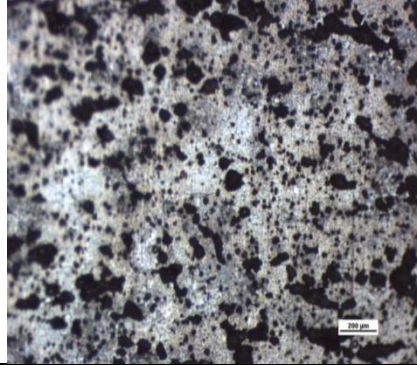
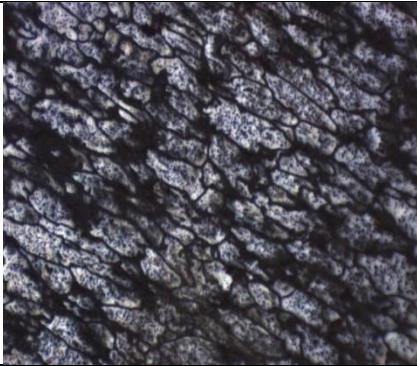
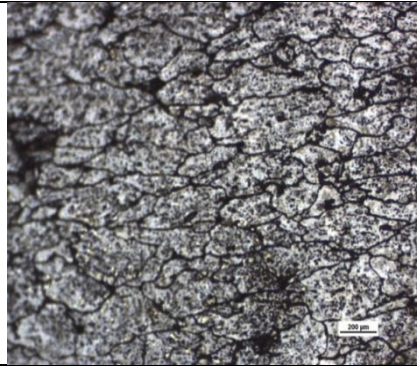
Çizelge 4.4. %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi Alaşımının 20x büyütmede optik mikroyapı görüntüleri.



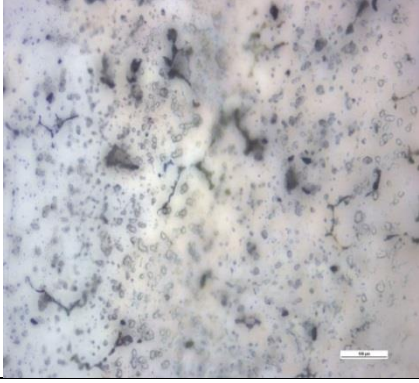
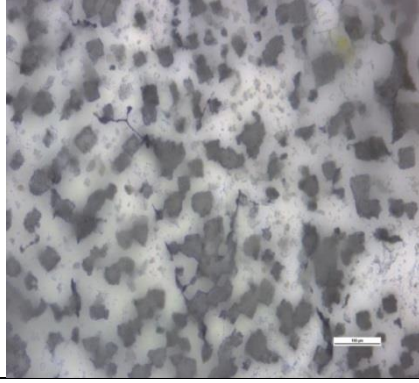
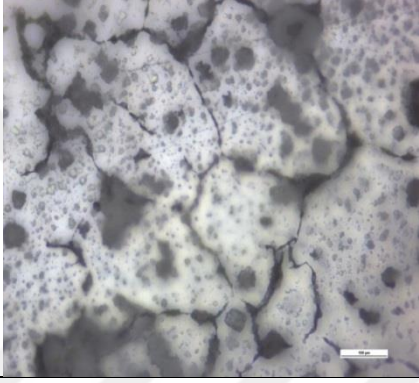
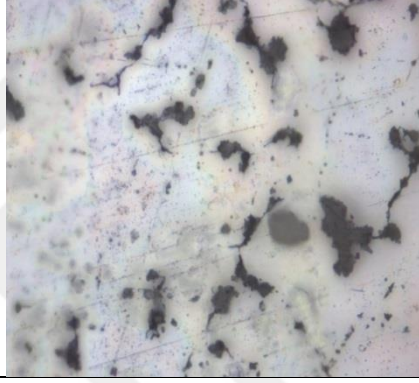
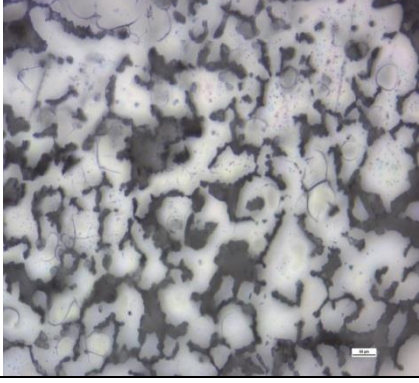
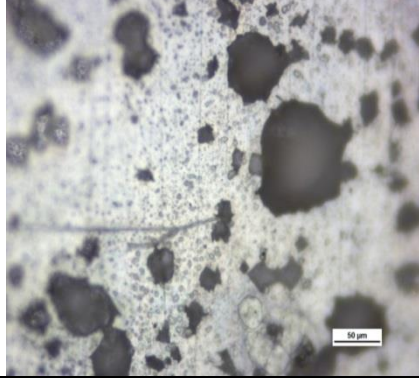

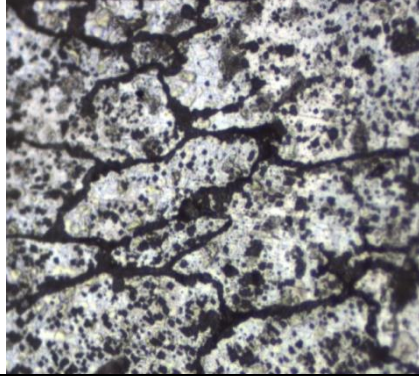


Çizelge 4.5 de verilen düşük (10x) ve yüksek 50(X) büyütmede mikroyapılarına bakıldığında 5083 Al malzemeli yapıda saçılmış partiküllerin 5083AL-Bi alaşımına göre daha fazla sayıda ve makro gözlemde partikül tanelerin daha küçük boyutta olduğu görülmektedir.5083 Al alaşımının normal yaşlandırma ile tane sınırlarının oluşum aşamasında olduğu 5083 Al-Bi alaşımında ise Termomekanik işlem 2 ile tane sınırlarının oluşumu belirgin bir şekilde görülmüştür.Bu partiküllerin element içeriği,yapıda bulunan fazlar hakkında yorum yapılabilmesi için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile yüksek büyütmelerde mikroyapı fotoğraflanmış ve EDX analizleri yapılmıştır.

Çizelge 4.5. 5083 Al ve %1,2 Bizmut ilaveli 5083 Al-Bi alaşıminın (A) düşük(10X) büyütmede ve (B) yüksek (50X) büyütmede optik mikroyapı görüntüleri.

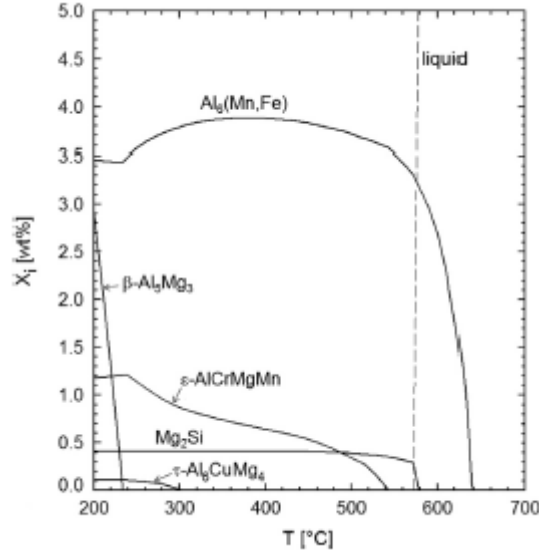
<b>Mikroyapı Karşılaştırmaları (Düşük büyütme) 10X</b>	
<b>5083</b>	<b>5083+Bi</b>
	
<b>H</b>	<b>HB</b>
	
<b>Y</b>	<b>YB</b>
	
<b>T1</b>	<b>TB1</b>
	
<b>T2</b>	<b>TB2</b>

(A)

<b>Mikroyapı Karşılaştırmaları (Yüksek Büyütme) 50X</b>	
<b>5083</b>	<b>5083+Bi</b>
 <p><b>H</b></p>	 <p><b>HB</b></p>
 <p><b>Y</b></p>	 <p><b>YB</b></p>
 <p><b>T1</b></p>	 <p><b>TB1</b></p>
 <p><b>T2</b></p>	 <p><b>TB2</b></p>

(B)

Olaf Engler ve Simon Miller-Jupp yaptıkları çalışmada AA5083 malzemenin homojenleştirme tavlama ile yapıda oluşan fazları analiz etmişlerdir. Düşük ve Yüksek sıcaklarda homojenleştirme tavlama uygulayan Olaf ve Simon Fazları Tayin etmek için Calphad simülasyonunu kullanmışlardır. Calphad simülasyonu Al alaşımlarının en önemli 14 alaşım elementini (Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Si vb) içeren geniş veri tabanını kullanmaktadır. Şekil 4.2 AA 5083 alaşımı için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan fazların fraksiyonu biçiminde CALPHAD denge simülasyonlarının sonuçlarını göstermektedir. Şemaya Al 6 olarak adlandırılan bir Mn ve Fe taşıyan fazın hakim olduğu görülmektedir. CALPHAD simülasyonlarına göre Al<sub>6</sub>(Mn, Fe) % 14 Mn ve % 11 Fe artı hem Mg hem de Cr'nin yüzde birkaç onda birini içerir, ancak Si içermez. Yapıda Mg<sub>2</sub>Si fazının görüldüğü, 5xxx alaşımlarında yaygın görülen kübik  $\alpha$ -Al (Fe, Mn) Si fazını denge simülasyonlarının göstermediğini kaydetmişlerdir. Olaf Engler ve Simon Miller-Jupp Koyu fazların Mg<sub>2</sub>Si fazı olduğunu, parlak fazların Fe, Mn ve Cr elementlerini içerdiğini Fe ve Mn içerikleri açısından zengin olduğuna söylemişlerdir. Parlak fazları üç farklı türe ayırmışlardır. Daha hacimli parlak parçacıklar ortalama olarak % 12 Mn ve % 15 Fe, artı yaklaşık % 0.35 Cr içermekte, ancak neredeyse hiç Si içermemektedir. Bu nedenle, bu parçacıklar muhtemelen Al 6 (Mn, Fe) fazları demişlerdir. Daha fazla yontulmuş şekle sahip Fe ve Mn içeren bileşenler ("Çin yazısı") biraz daha yüksek Mn ve Fe, az miktarda Cr ve Si içeren parçacıkları  $\alpha$ -Al (Fe, Mn) Si fazı olarak sınıflandırmışlardır. Nadiren, % 5 Cr ve yaklaşık % 10-15 hem Mn hem de Mg içeren, ancak Fe içermeyen, Cr açısından zengin küçük partiküller gözlemlenmiştir. Bu parçacıkları  $\epsilon$ -Al 18 (Cr, Mn) 2 Mg 3 fazı olarak tanımlamışlardır [49].

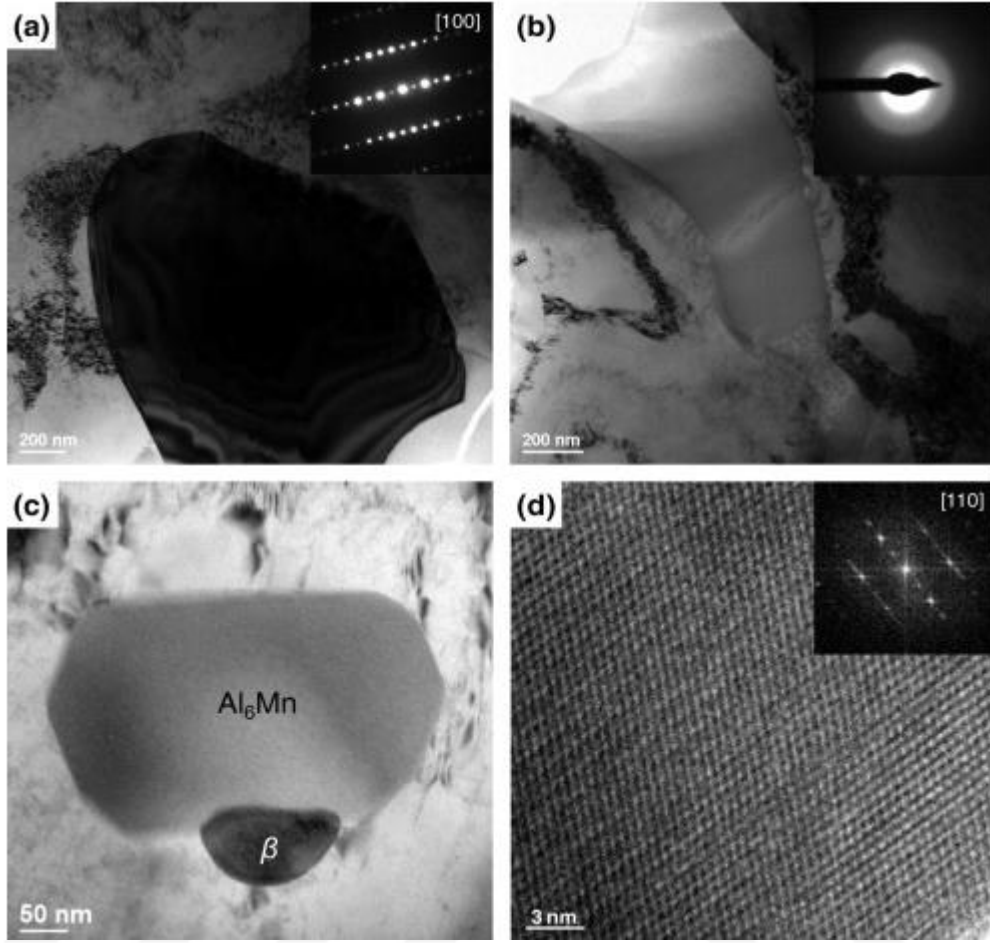


Şekil 4.5. AA5083 malzemenin Calphad simülasyonu sonuçları [49].

5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemenin mikro yapısında görülen koyu ve parlak fazların varlığı Olaf Engler ve Simon Miller-Juppın çalışmasına benzer sonuçlar taşımaktadır. Net sonuçlar için Sem ve EDX anali sonuçlarına bakılmalıdır.

Mikroyapıdaki fazların ayrıntılı olarak hangi fazlar olduğu Bölüm 4.4.2 kısmında ayrıntılı şekilde anlatılmıştır.

L.Tan ve T.R.Allen 5083 malzemeye uyguladıkları Termomekanik işlem sonrası Sem ve EDX analizi yaparak fazları tayin etmek üzere çalışmalar yapmış ve EDS tarafından tanımlanan büyük beyaz Al-(Fe,Si,Mn,Cr) , orta boy siyah Mg<sub>2</sub>Si ve küçük beyaz Al<sub>13</sub>Fe<sub>4</sub> ve yoğun ultra ince olmak üzere gri Al<sub>6</sub>Mn dört tip çökeltinin varlığından bahsetmişlerdir.β-fazının ise , küçük boyutu (nanometre veya mikron altı) ve yalnızca ~250 C'nin altındaki sıcaklıklarda duyarlılaştırmadan sonra varlığı nedeniyle SEM ile görüntülenmediğini dile getirmişlerdir. L.Tan ve T.R. Allen Temde Termomekanik işlem uyguladığı malzemeleri analiz etmiş ve bulunan çökelti Şekil 4.6 da gösterilmiştir. Yapıdaki β-fazının varlığını Tem ile ortaya çıkarmışlardır [50].



Şekil 4.6. TMT (Termomekanik işlem uygulanmış) numunelerinde bulunan çöktürlerin parlak alan TEM görüntüleri: (a)  $Al_{13}Fe_4$ , (b)  $Mg_2Si$ , (c)  $Al_6Mn$  ve  $\beta$ -fazı ( $Al_3Mg_2$ ), ve (d),  $Al_6Mn$  [50].

#### 4.4.2. Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) Sonuçları ve EDX Analizleri

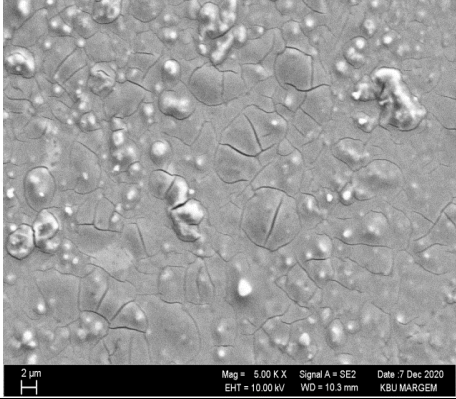
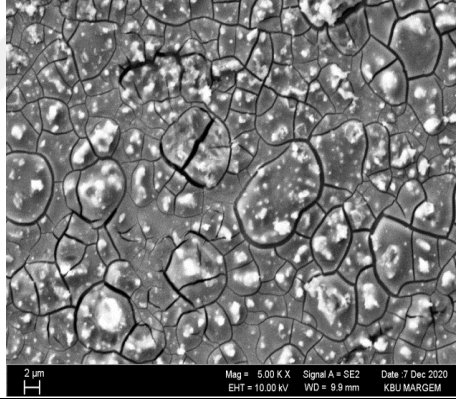
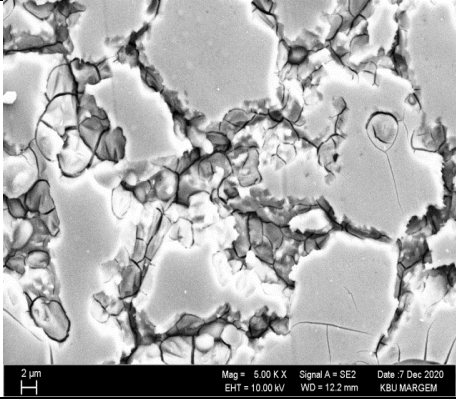
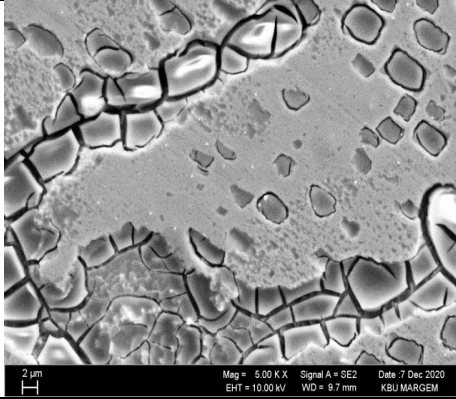
5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımlarının taramalı elektron mikroskopunda (SEM) mikroyapı görüntüleri alınmıştır. Çizelge 4.6 de 5083 AL Alaşımının ve 5083 Al-Bi Alaşımının orta büyütmede Sem görüntüleri verilmiştir.

Homojenleştirme işlemi uygulanan 5083 malzemenin Sem görüntüsünde az miktarda küçük parlak fazların görülmektedir. Yaşlandırma işlemi ile yapıda parlak fazların arttığı yapı içerisine heterojen olarak dağıldığı ve yapıda tane sınırı çatlaklarının olduğu görülmektedir. Termomekanik işlem ile bu tane sınırı çatlaklarında yeniden kristalleşmiş yapı hakim olup, tane sınırında yeniden kristalleşen fazların koyu renkte

fazlar olduğu tane içinde ise parlak fazların varlığı Sem görüntülerinde görülmektedir.

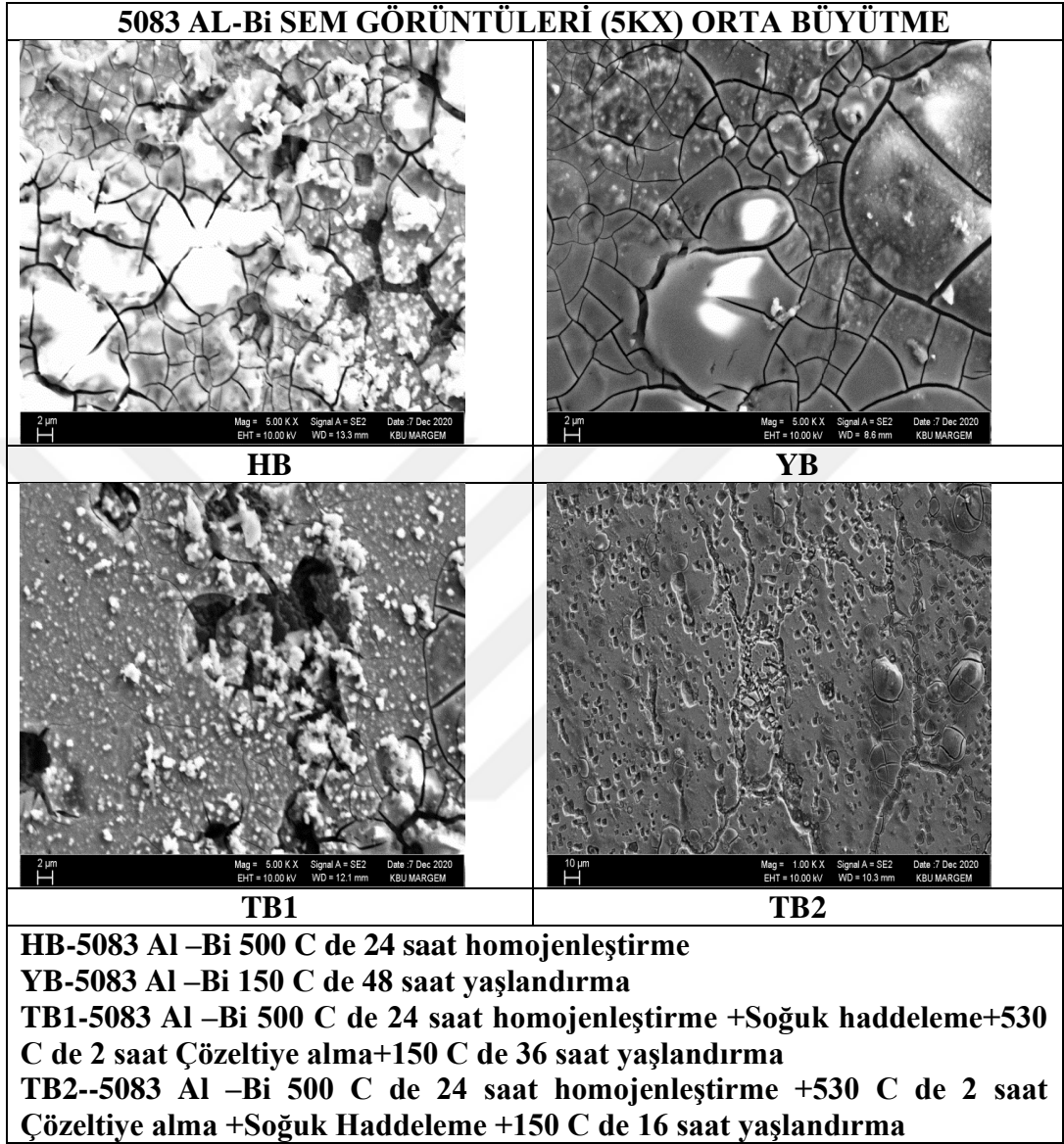
5083 Al-Bi malzemenin Sem görüntülerine bakıldığında 5083 Al Malzeme ile benzer bir mikroyapı görüntüsü sergilemiştir. Dikkat çekici nokta 5083 Al malzeme T1 aşamasında yeniden kristalleşen yapı görülürken 5083Al-Bi malzeme yeniden kristalleşme TB2 aşamasında ortaya çıkmaktadır. Tane sınırlarında yeniden kristalleşen yapı hem 5083 Al alaşımında hemde 5083 AL-Bi alaşımında benzer görüntüler sergilemiştir. Makro gözlemde benzerlik göstermesinin yanında Bi Alaşımının eklenmesinden kaynaklanan farklılıkları ortaya çıkarmak için EDX analizlerine bakılmalıdır.

Çizelge 4.6. (A) 5083 Al alaşımının 5kx (orta) büyütmede SEM görüntüleri (B) (A) 5083 Al-Bi alaşımının 5kx (orta) büyütmede SEM görüntüleri.

<b>5083 AL SEM GÖRÜNTÜLERİ (5KX) ORTA BÜYÜTME</b>	
	
<b>H</b>	<b>Y</b>
	
<b>T1</b>	<b>T2</b>
<b>H-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme</b>	
<b>Y-5083 Al 150 C de 56 saat yaşlandırma</b>	
<b>T1-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme +Soğuk haddeleme+530 C de 2 saat Çözeltiye alma+150 C de 24 saat yaşlandırma</b>	
<b>T2-5083 Al 500 C de 24 saat homojenleştirme +530 C de 2 saat Çözeltiye alma</b>	

**+Soğuk Haddeleme +150 C de 4 saat yaşlandırma**

(A)

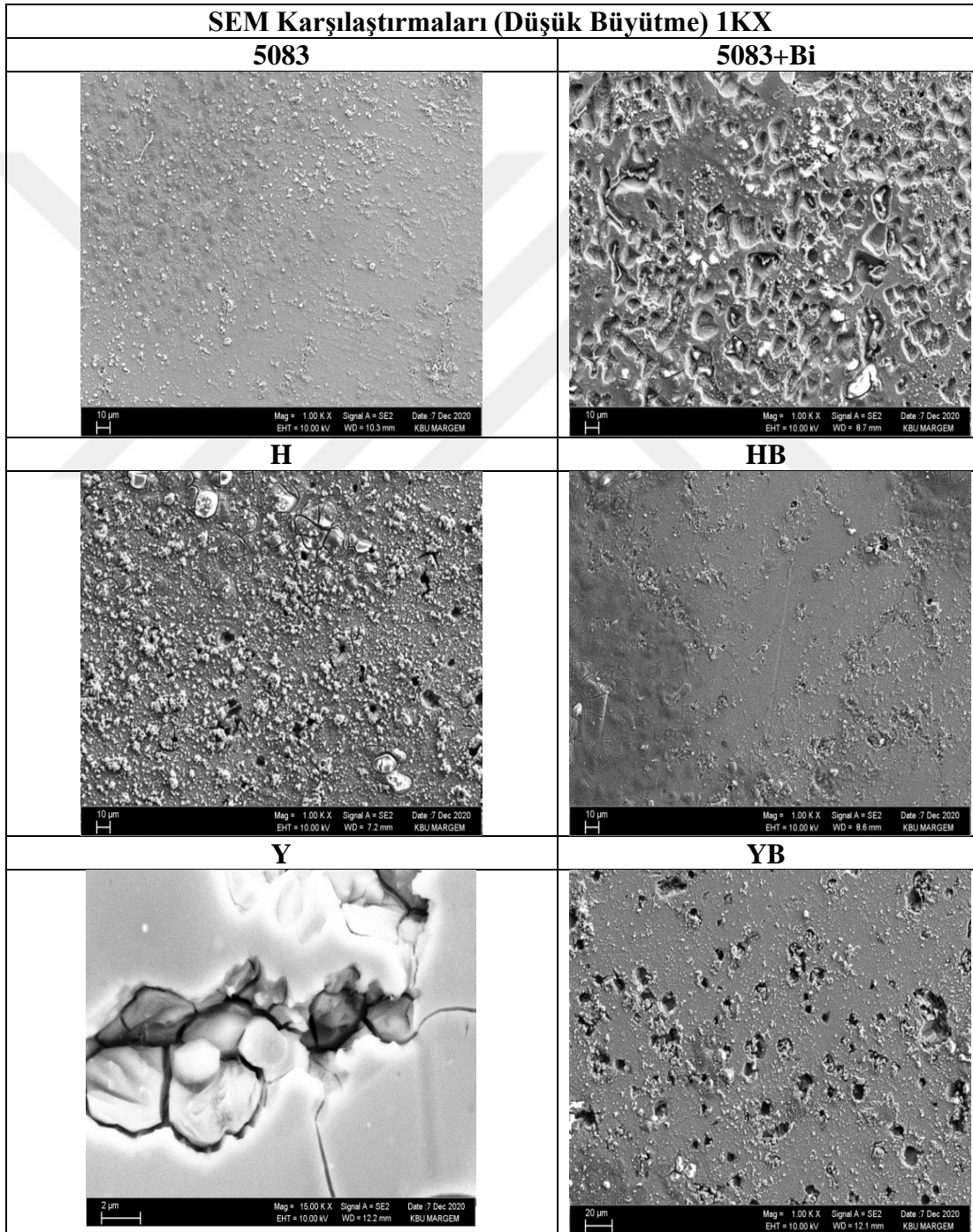


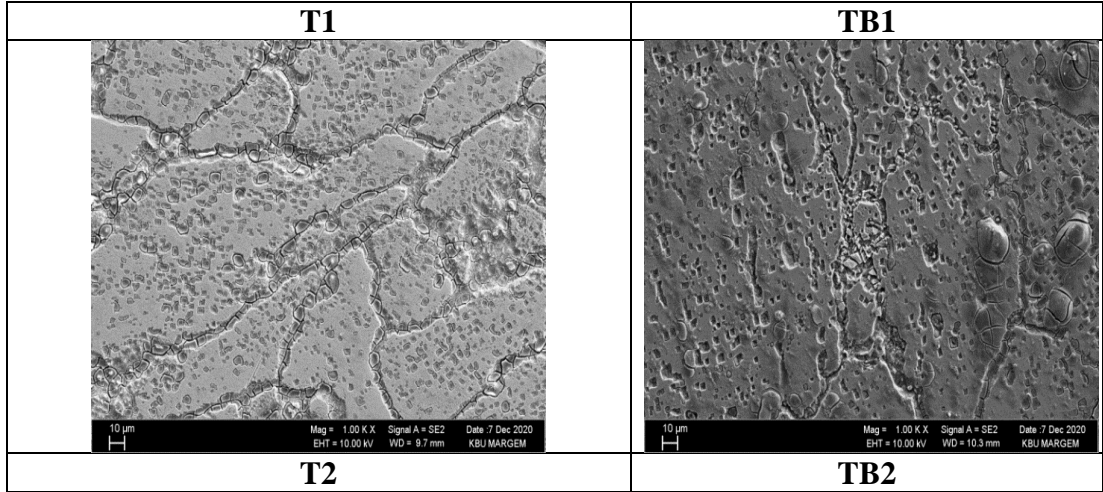
(B)

Çizelge 4.7 de 5083Al ve 5083 Al-Bi Alaşımının Sem Görüntüleri Düşük ve Yüksek Büyütmede karşılaştırılmıştır. Makro gözlem de bakıldığında 5083 Al Malzeme 5083 Al-Bi malzemeye göre daha pürüzsüz bir mikroyapı görüntüsü vermiştir. Pürüzsüz yapı ile kastedilen partikül dağılımının düzenli olmasıdır.5083 Al-Bi malzemede parlak fazların bir yerde aşırı yoğunlaşması diğer yerlerde hiç bulunmaması bu duruma örnek verilebilir. Bi eklentisinin bu duruma etkisini Edx analizlerine bakarak söyleyebiliriz. Çizelge 4.7 de (B) Yüksek büyütmedeki Sem görüntülerinde her iki malzemede de Homojen (H, HB) ve yaşlandırma (Y,YB)

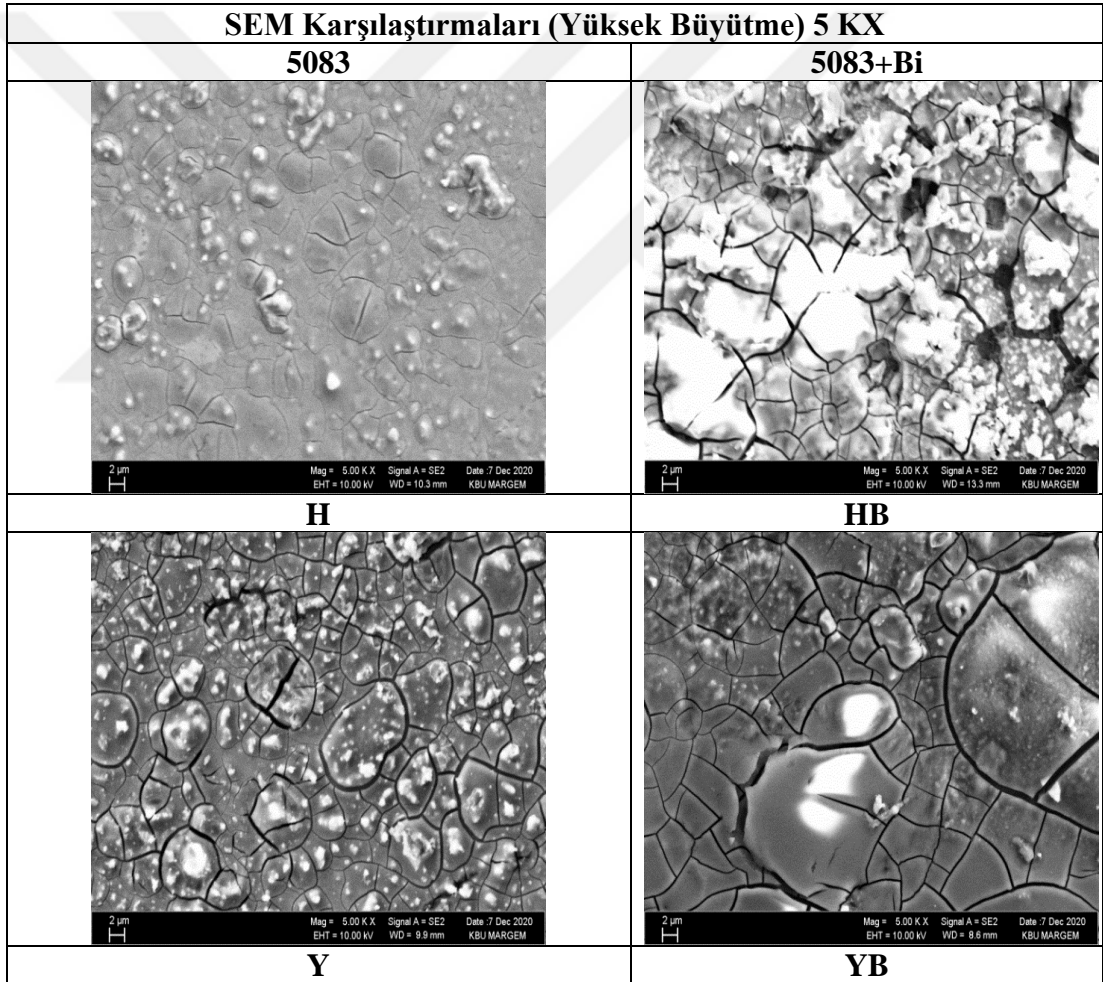
sonrası görüntüde parlak fazların varlığı daha fazla iken, Termomekanik İşlem ile (T1, TB1, T2, TB2) de bu fazlar grileşmeye, koyu fazların varlığının artmaya başladığı, özellikle yeniden kristalleşen fazların koyu renkli fazlar olduğu görülmektedir.

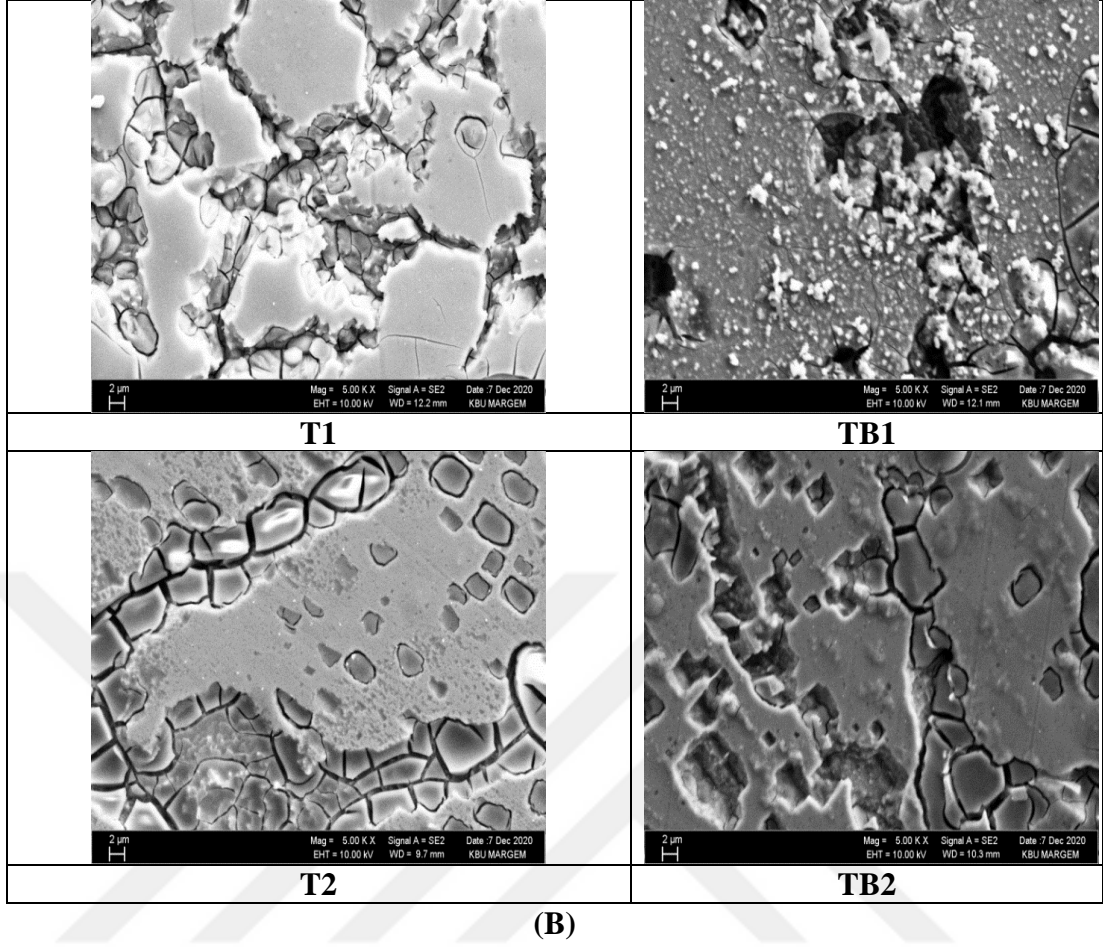
Çizelge 4.7. 5083 Al ve %1,2 Bizmut ilaveli 5083 AL-Bİ Alaşımının (A) 1kx (düşük) büyütmede (B) 5kx (yüksek) SEM görüntüleri.



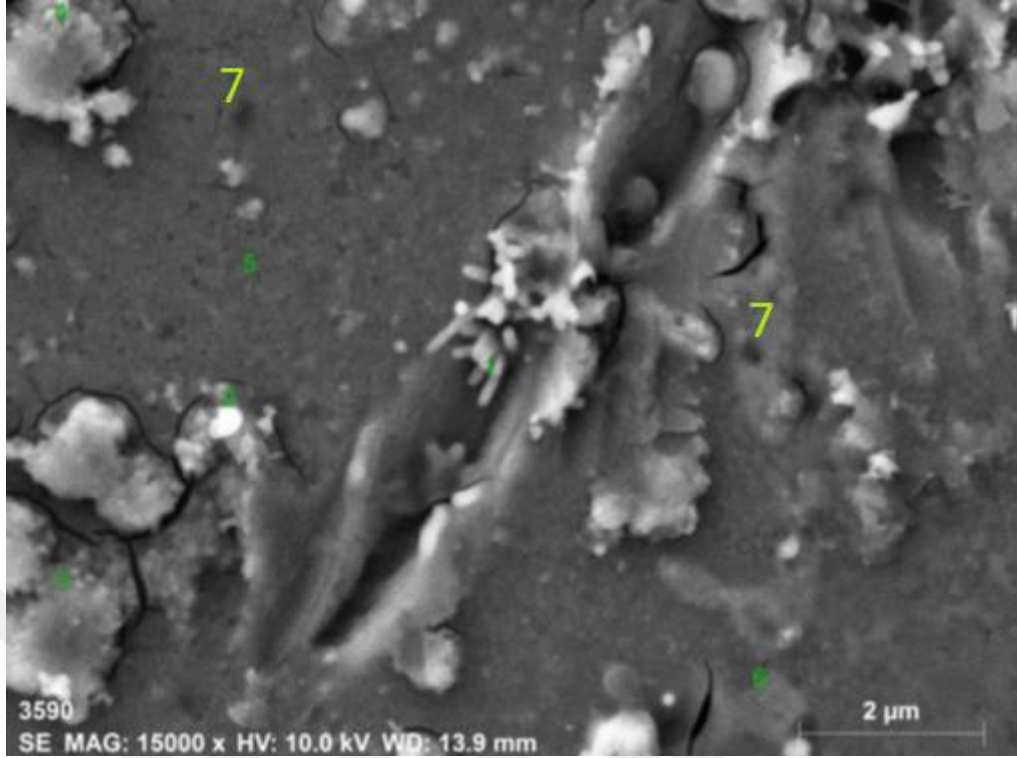


(A)





SEM alındıktan sonra mikroyapıdaki ağırlıkça elementel analiz hakkında fikir edinilmesi için EDX analizlerine bakılmıştır. Şekil 4.7 de 5083(A) Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir. 1 ve 2 numaralı işaretlenen fazların Fe ve Mn ca zengin olması Si içermemesi ve parlak fazlar olduğu için Olaf Engler ve Simon Miller-Juppın yaptığı çalışmadaki faz tanımlamasına birebir uyduğu ve bu fazın  $Al_6(Mn,Fe)$  olduğu söylenebilir. 3-4 işaretli yer yine parlak faz olup zengin silis içeriğinden dolayı bu fazların  $\alpha-Al$  (Fe, Mn) Si olduğu düşünülmektedir. 5 numaralı faz matris, 6 numaralı faz ise Fe içermeyen Cr açısından zengin  $\epsilon-Al$  18 (Cr, Mn) 2 Mg 3 fazıdır. 7 numaralı faz koyu faz olup silis açısından zengin  $Mg_2Si$  fazıdır.



(A)

Element (ağ. %)						
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe
1-2	93,65	4,56	0,0	0,50	0,28	1,05
3-4	91,31	4,60	2,08	0,52	0,38	1,35
5(matris)	94,55	4,40	0,41	0,44	0,03	0,17
6	93,55	3,27	1,96	0,38	0,85	0,0
7	93,55	4,05	1,60	0,0	0,0	0,59

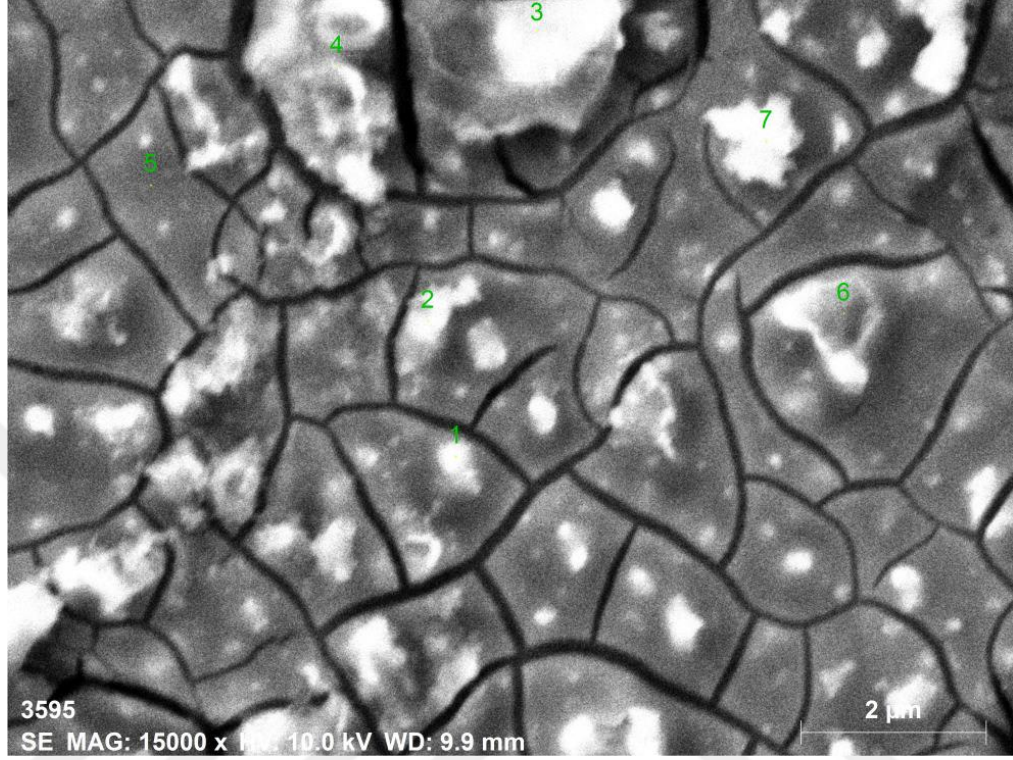
(B)

Şekil.4.7. (A) 5083 Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin homojenleştirme (H) sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.8.de (A)5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir.1- 7 numaralı fazların parlak  $Al_6(Mn, Fe)$  fazı olduğu yaşlandırma ısıl işlemi ile yapıda yaygın olarak bulunduğu söylenebilir. 5 numaralı bölge matris,2 ve 3 numaralı bölge  $\alpha-Al (Fe, Mn) Si$ ,6 numaralı faz  $Mg_2Si$  fazı,4 numaralı faz ise  $\epsilon-Al_{18}(Cr, Mn)_2Mg_3$  fazıdır.

5083 malzemenin yaşlandırma sonrası Sem görüntüsünde parlak  $Al_6(Mn,Fe)$  fazının yapıya hakim olduğu,yaşlandırma ile oluşan tane sınırları içerisinde bu fazın

heterojen olarak dağıldığı görülmektedir. Yaygın olarak bulunan AL6(Mn,Fe) fazını kurucu faz olarak tanımlayabiliriz.



(A)

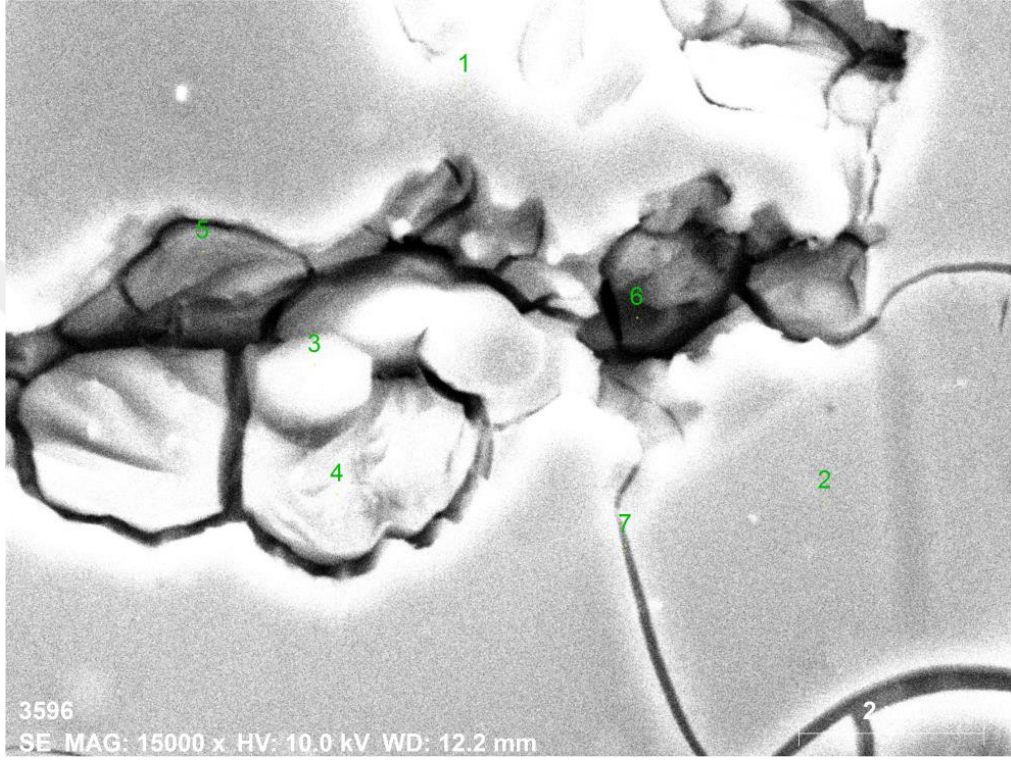
Element (ağ. %)						
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe
1-7	87,64	5,20	0,04	0,11	3,50	2,50
2-3	83,85	5,18	7,97	0,97	1,01	1,02
4	85,3	5,22	7,54	1,1	1,01	0
5 (matris)	93,57	4,48	0,78	0,08	0,0	1,09
6	89,84	5,11	2,85	0,63	0,25	1,32

(B)

Şekil.4.8. (A) 5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin normal yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.9. (A) 5083 Al malzemenin T1 sonrası SEM görüntüsü(B)5083 Al malzemenin T1 sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir.1-3-4 numaralı parlak

fazların Al<sub>6</sub> (Mn, Fe) olduğu soğuk defarmasyonun etkisiyle bu fazın bantlaşma göstererek yapıya yayıldığı, tane sınırı ve tane içleride dahil her tarafı kapladığı görülmektedir. 6 numaralı koyu fazın Mg<sub>2</sub>Si olduğu, 2 numaralı fazın matris, 7 numaralı fazın ε-Al<sub>18</sub> (Cr, Mn) 2 Mg 3 olduğu söylenebilir. 5 numaralı faz ise α-Al (Fe, Mn) Si fazıdır.



(A)

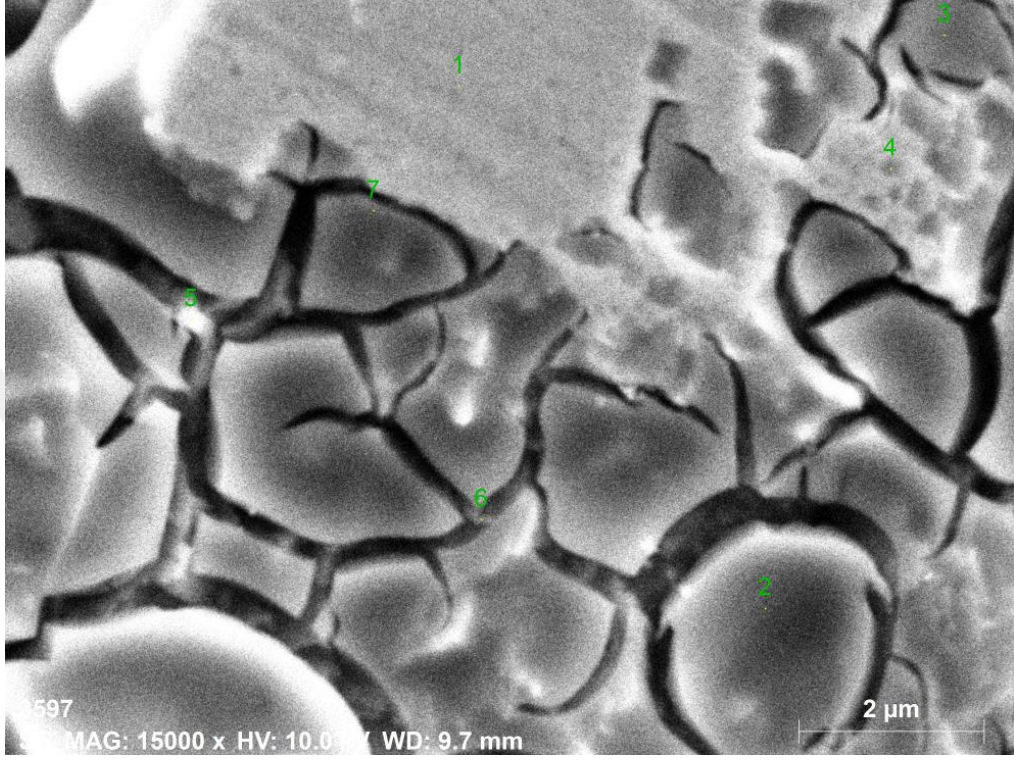
Element (ağ. %)						
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe
1-4-3	90,30	3,46	0,00	1,10	1,0	4,14
2	94,29	4,44	0,77	0,3	0,12	0,39
6	92,36	4,70	0,96	0,56	0,26	1,15
7	93,16	4,38	0,32	2,00	0,13	0,0
5	90,10	3,46	4,00	0,33	1,01	1,10

(B)

Şekil.4.9. (A) 5083 Al malzemenin T1 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin T1 sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.10 (A) 5083 Al malzemenin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin T2 sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir. 4 ve 5 numaralı fazın Al<sub>6</sub> (Mn, Fe) kurucu faz olduğu söylenebilir. Bu faz tane sınırlarına girmeden yapı içine

haddelemenin etkisiyle yayılmıştır. Tane sınırlarında ise yeniden kristalleşmiş yapı 2-3-7 numaralı gri faz  $\alpha$ -Al (Fe, Mn) Si fazı bulunmaktadır.6 numaralı faz ise Mg<sub>2</sub>Si fazıdır.



(A)

Element (ağ. %)						
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe
1 matris	94,36	4,44	0,22	0,0	0,49	0,49
2-3-7	80,84	9,82	2,97	0,82	2,32	3,22
4-5	91,21	4,18	0,44	0,33	0,84	3,00
6	93,15	4,60	2,26	0,0	0,0	0,0

(B)

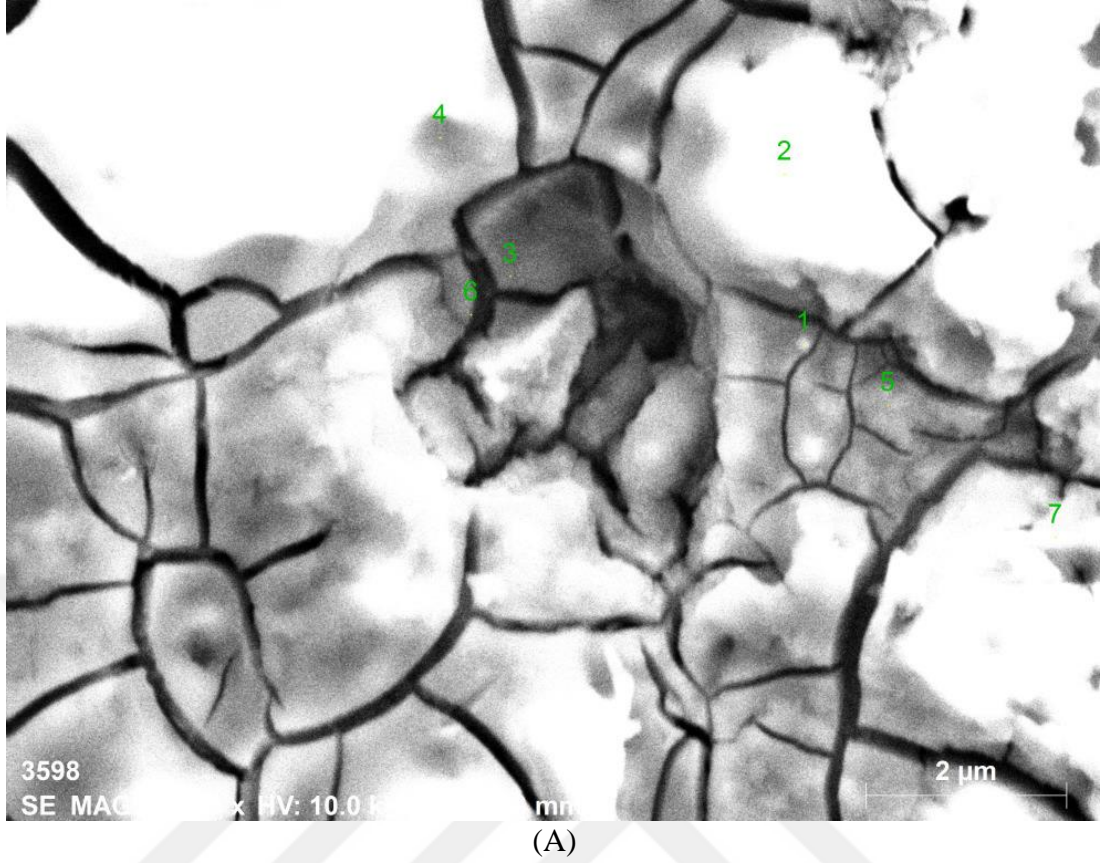
Şekil.4.10. (A) 5083 Al malzemenin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al malzemenin T2 sonrası EDX analiz sonuçları.

5083 Al –Bi Alaşımının Sem ve EDX analizleri sırasıyla (HB, YB, TB1, TB2) Şekil (4.8-9-10-11) de verilmiştir.%1,2 Bizmut ilavesinin fazlar üzerinde ne gibi etki ettiği Sem ve EDXsonuçlarına bakılarak yorumlanabilir. Şekil.4.8. (A) de 5083 Al –Bi malzemesinin homojenleştirme (HB) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemesinin homojenleştirme (HB) sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir.3-4-5 numaralı fazlar Mg<sub>2</sub>Si fazıdır. Mg 2 Si, yüksek erime noktası, yüksek sertliği ve

düşük genleşme katsayısı nedeniyle termal kararlılığı ve yüksek sıcaklık özelliklerini geliştirmek için magnezyum alaşımındaki önemli takviye fazlarından biridir [51,52,53,54]. Bununla birlikte, geleneksel Mg<sub>2</sub>Si fazının dengesiz dağılması nedeniyle ve düzensiz şekli sebebiyle alaşımın mekanik özellikleri için çok zararlıdır. Bu nedenle, Mg<sub>2</sub>Si'nin güçlendirilip etkisini arttırmak için gerekli olan morfolojisini ve boyutunu kontrol etmektir. [55]. En yaygın modifikasyon işlemi, eritme işlemi sırasında değiştirici elemanlar eklemektir [56]. Alaşım elementlerinin eklenmesi, alaşımların mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmenin en kolay ve en etkili yöntemidir [57], [58]. Sb, Ca, Bi, Pb, Ti, Zn ve Zr, Mg alaşımlarına eklenen alaşım elementlerinden bazılarıdır. Eklenen alaşım elementleri mikro yapı içinde ya çözünür ya da bileşikler oluşturur. [59]

5083 Al-Bi alaşımında yapıya %1,2 Bizmut ilavesi Mg<sub>2</sub>Si nin olumsuz etkilerini en az düzeye indirme beklentisi ile eklenmiştir. Bu yüzden 3-4-5 numaralı faza Mg<sub>2</sub>(Si, Bi) fazıdır diyebiliriz. 5083 malzemenin Sem görüntüsünün aksine Bizmut ilaveli 5083 parlak fazları daha çok ortaya çıkarmıştır. Bu durumu yorumlarsak Bizmut ilavesinin hacim olarak yer kaplamasıyla koyu gri fazların azalma eğilimi gösterdiği söylenebilir.

5083 Al-Bi alaşımının homojenleştirme sonrası Sem ve Edx analizlerinde 2-7 numaraları ile işaretlenmiş fazların  $\alpha$ -Al (Fe, Mn, Bi) Si olduğu, 1 numaralı fazın Al<sub>6</sub>(Mn, Fe, Bi), 6 numaralı fazın ise matris olduğu söylenebilir.

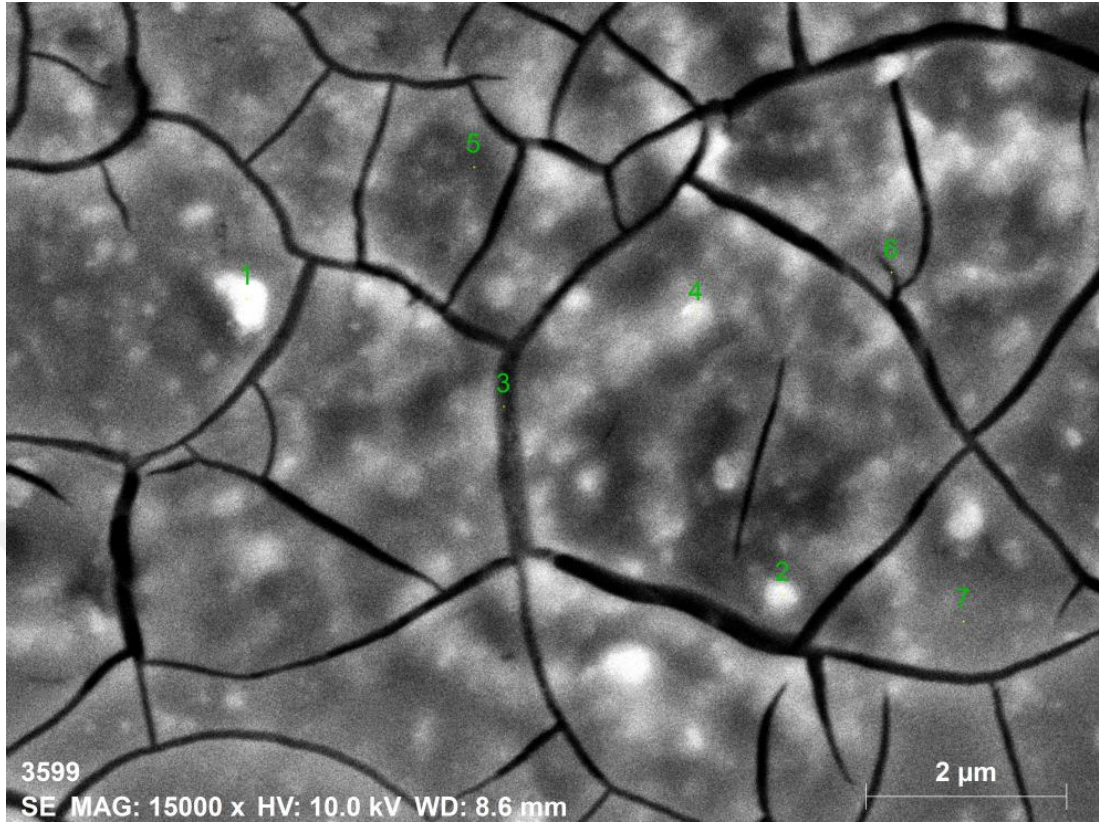


Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Bi
3-4-5	84,20	7,36	4,81	0,15	0,0	0,89	2,58
2-7	82,78	7,32	5,63	0,0	1,71	1,75	0,82
1	84,53	7,03	1,76	0,36	0,0	3,27	3,05
6	81,79	6,67	5,38	3,380	0,15	0,28	2,35

(B)

Şekil.4.11. (A) 5083 Al –Bi malzemesinin homojenleştirme (HB) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemesinin homojenleştirme (HB) sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.12. de (A) 5083 Al –Bi malzemesinin yaşlandırma (YB) sonrası SEM görüntüsü(B) 5083 Al –Bi malzemesinin yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir. Bu SEM görüntüsünde belirgin 2 faz ortaya çıkmıştır. Bunlar kurucu fazlar dediğimiz  $Mg_2Si$  ve  $Al_6(Mn, Fe)$  fazıdır.1-2-4 numaralı fazlar bizmutun bileşene katılmasıyla  $Al_6(Mn, Fe, Bi)$  fazını,3-6-5 numaralı fazlar ise  $Mg_2(Si, Bi)$  fazını göstermektedir. 7 numaralı faz matrisidir.



(A)

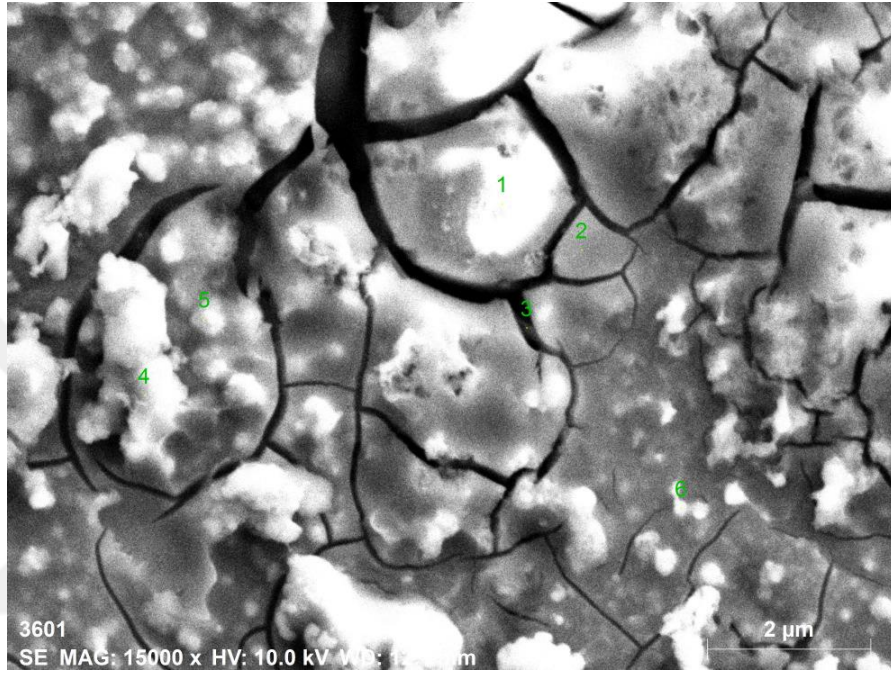
Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Bi
7(Matris)	89,34	4,95	1,98	0,10	1,32	1,0	1,30
1-2-4	78,01	8,53	4,88	0,0	5,97	0,0	2,61
3-6-5	74,76	14,84	6,30	1,27	0,35	0,0	2,49

(B)

Şekil.4.12. (A) 5083 Al –Bi malzemesinin yaşlandırma (YB) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemesinin yaşlandırma (Y) sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.13 de. (A) 5083 Al –Bi malzemesinin (TB1)sonrası SEM görüntüsü (B)5083 Al –Bi malzemesinin TB1) sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir.5083 T1 ve 5083 TB1 malzemenin Sem görüntülerini karşılaştırdığımızda haddelemeden kaynaklı bantsı yapının Bizmutlu 5083 de Tb1 aşamasında oluşmadığı,Yaşlandırma da bastırılan parlak fazların belirginleşerek ortaya çıktığı söylenebilir.Parlak olan bu

fazların Fe oranı yüzdesi sıfırdır, silis oranı Yüksek Fazlardır. Daha önceki kurucu fazların burada tanımlamak Fe oranı olmamasından dolayı uygun olmasada, Bizmut ilavesinin varlığı hacim olarak yer kapladığı için, aslında Fe fazlarının yapıdan kaybolmadığı kurucu fazların burada da sabit olduğu söylenebilir. O yüzden 1-4-6 numaralı fazları Al<sub>6</sub>(Mn, Bi) olarak tanımlayabiliriz. 2 matris, 5 Mg<sub>2</sub>(Si, Bi) fazıdır.



(A)

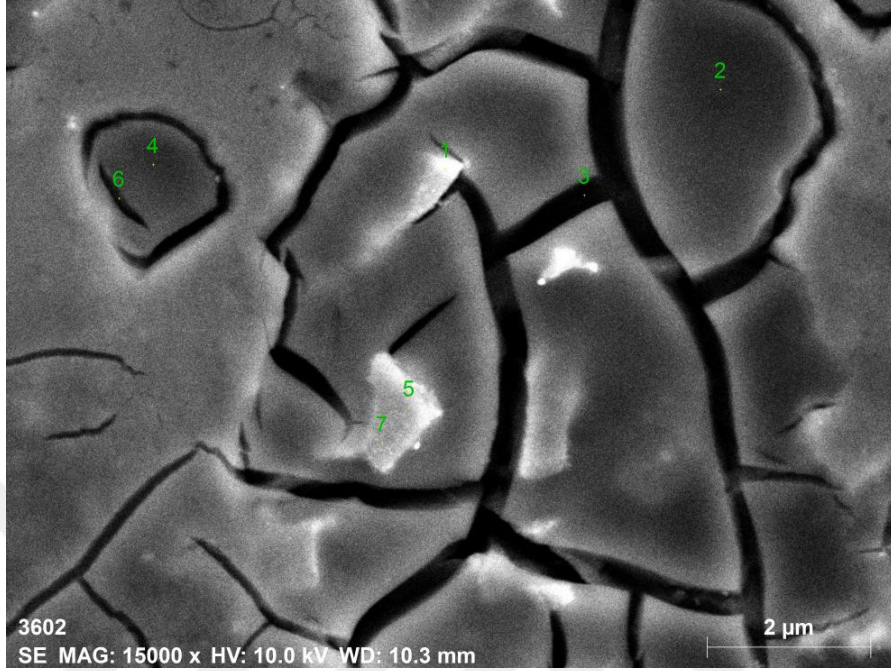
Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Bi
2 (Matris)	89,78	6,29	2,10	0,16	0,33	0,00	2,71
5	75,93	9,70	10,93	1,23	0,0	0,00	2,22
1-4-6	76,36	4,47	9,94	0,00	4,37	0,00	4,86

(B)

Şekil.4.13. (A) 5083 Al –Bi malzemesinin (TB1) sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemesinin TB1 sonrası EDX analiz sonuçları.

Şekil.4.14.de (A) 5083 Al –Bi malzemesinin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al –Bi malzemesinin T2 sonrası EDX analiz sonuçları verilmiştir. Yeniden kristalleşmiş yapı belirgin olarak tane sınırlarında oluşmuş ve deformasyon sonrası parlak fazların

bantlaşması bu aşamada görülmektedir. Burada 1-2-4 numaralı fazlar Al<sub>6</sub>(Mn, Fe, Bi) fazları, 3 matris 5-6 numaralı fazlar ise Mg<sub>2</sub>(Si, Bi) fazıdır.



(A)

Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	Bi
3(Matris)	79,57	2,89	11,77	0,14	0,30	4,00	1,33
1-2-4	70,11	2,88	8,34	0,0	2,17	13,60	2,90
5-6	80,90	4,39	7,48	0,0	1,67	4,13	1,43

(B)

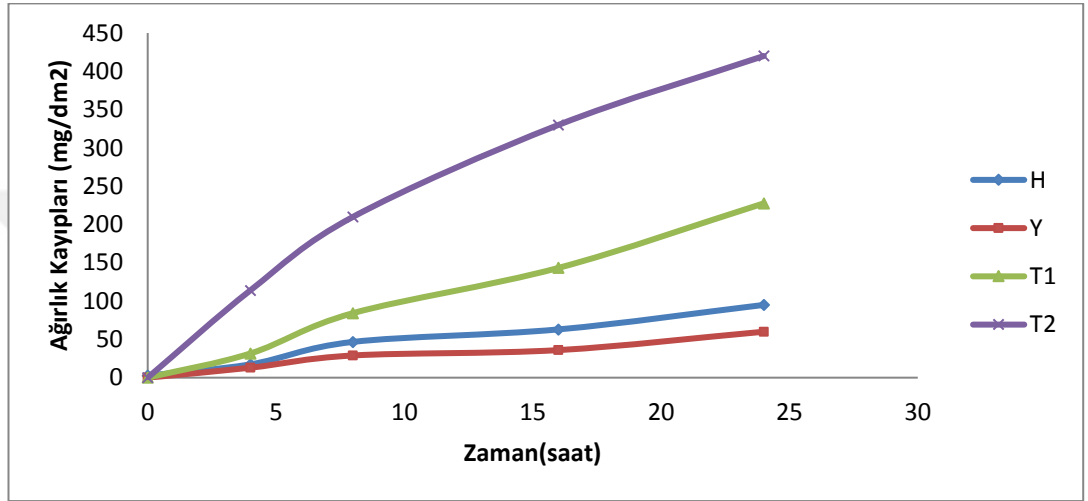
Şekil.4.14. (A) 5083 Al –Bi malzemesinin T2 sonrası SEM görüntüsü (B) 5083 Al – Bi malzemesinin T2 sonrası EDX analiz sonuçları.

#### 4.5. KOROZYON SONUÇLARI

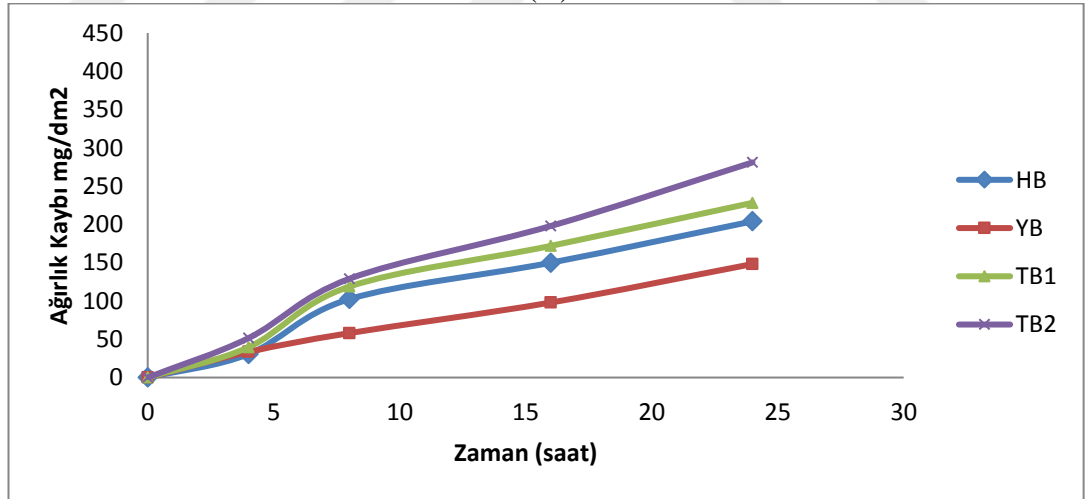
Bu çalışmada deneylerde kullanılan döküm 5083 Al ve döküm 5083 Al-Bi alaşımının korozyon özellikleri ve korozyon mekanizmaları için Daldırma yöntemiyle korozyon deneyi ve Potansiyodinamik polarizasyon deneyi uygulanmıştır.

#### 4.5.1. Daldırma Deneyi Korozyon Sonuçları

Daldırma deneyleri oda sıcaklığında 24 saat zaman baz alınarak %3,5 NaCL tuzlu su çözeltisinde yapılmıştır. Daldırma Deneyi sonuçları, 0-24 saat aralığındaki ağırlık kayıpları ölçülerek Şekil 4.15 de verilen zamana karşı ağırlık kaybı değişimleri cinsinden verilmiştir.



(A)



(B)

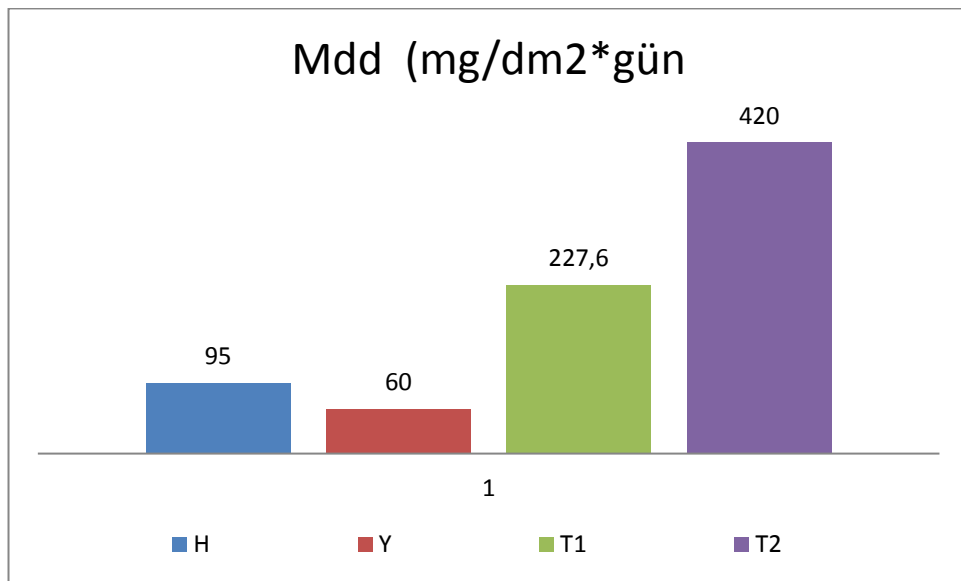
Şekil 4.15. (A) 5083 Al alaşımının daldırma deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği, (B) 5083 AL-Bi alaşımının daldırma deneyi sonrası ağırlık kaybı grafiği.

Daldırma deneyi sonuçlarına göre zamana bağlı mg/dm<sup>2</sup> cinsinden ağırlık kaybı değişimlerine bakıldığında 5083 Al malzemedeki en az ağırlık kaybının normal yaşlandırmada olduğu, en fazla ağırlık kaybının ise termomekanik işlem 2 (T2) de

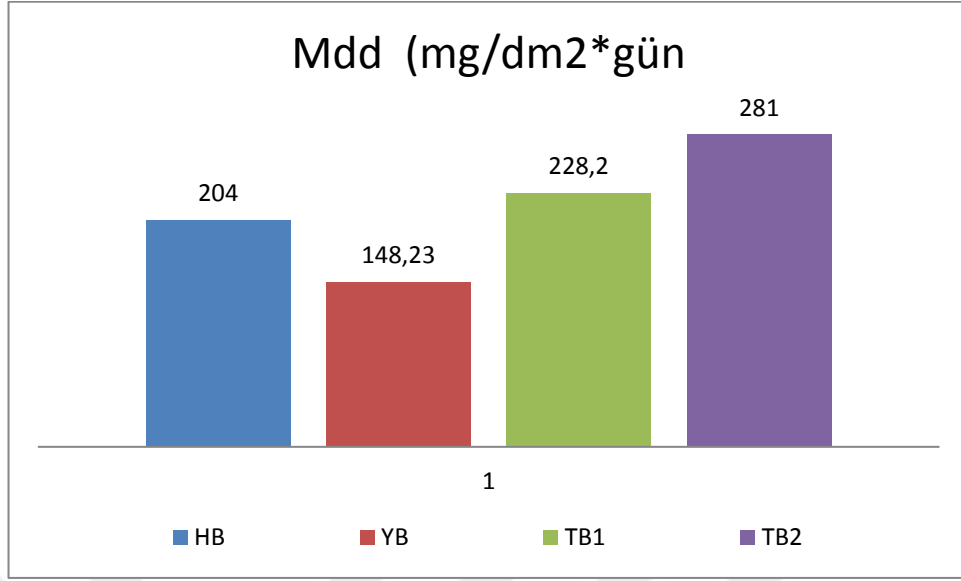
olduğu görülmüştür. Korozyon dirençleri işlem kademelerine göre karşılaştırıldığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe doğru şöyledir.  $Y > H > T1 > T2$ .

5083 Al-Bi (Şekil 4.4.(B)) malzemesinde de en iyi korozyon direncini Yaşlandırma ile gösterip, en zayıf direnç ise TB2 malzemesi olmuştur. Korozyon dirençleri işlem kademelerine göre karşılaştırıldığında elde edilen sıralama büyükten küçüğe doğru şöyledir.  $YB > HB > TB1 > TB2$ . Her iki malzemenin de korozyona karşı gösterdikleri direnç, işlem kademeleri olarak aynı benzer Şekil ler ortaya çıkarmış olsada ,%1,2 Bizmut ilave edilmiş malzemenin 5083 Al alaşımına göre korozyon direncinin daha iyi olduğu söylenebilir.

24 saatlik ağırlık kayıplarından yararlanarak korozyon hızı tespitinde kullanılan Mdd (bir günde mg cinsinden kütle kaybı) hesaplaması yapılarak  $mg/dm^2 \cdot day$  cinsinden Şekil 4.16 de mdd değerleri verilmiştir. Bu değerlere göre 5083 malzemede kütle kaybının en fazla T2de olduğu ,en az kütle kaybının ise normal yaşlandırılmış numunede olduğu görülmüştür. Kütle kaybının en fazladan en aza sıralması  $T2 > T1 > H > Y$  şeklindedir. 5083 Al-Bi malzemesinde de 5083 deki sıralama değişmemiş, Kütle kaybının en fazladan en aza sıralması  $TB2 > TB1 > HB > YB$  şeklindedir.



(A)



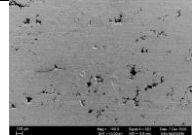
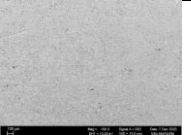
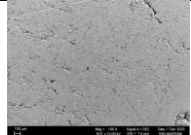
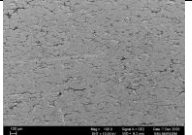
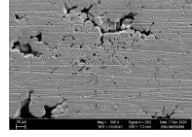
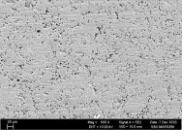
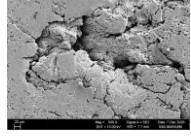
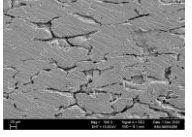
(B)

Şekil 4.16. (A) 5083 Al alaşımasının Mdd grafiği (B) 5083 Al-Bi alaşımasının mdd grafiği.

Daldırma deneyi sonrası malzemelerin korozyon yüzeylerine SEM de bakılarak korozyon mekanizmaları belirlenmiştir. SEM görüntüleri ile ağırlık kaybı sonuçları arasında görsel bağlantının sağlanması ve de EDX analizi yapılarak elementel sonuçlara bakılarak, oksitlenme durumunun ve çökeltilerin korozyon üzerindeki etkisinin üzerine tartışma yapılmıştır.

Çizelge 4.8.de verilen Daldırma deneyi sonrası 5083 Al malzemenin her işlemdeki korozyon yüzeyine SEM de bakıldığında zamana bağlı ağırlık kaybı grafiği ve Mdd sonuçlarıyla örtüşmektedir. Düşük ve Yüksek büyütmede bakılan korozyon yüzeylerde korozyon direnci normal yaşlandırma daha iyi olduğu, Termomekanik işlem 2 de ise en zayıf korozyon direncinin olduğu görülmüştür. Çukurlaşmaların tane sınırlarında yoğunlaştığı, oyuk oluşumunun fazlaştığı görülen SEM görüntülerinde orantılı olarak korozyon direncinde azalmıştır.

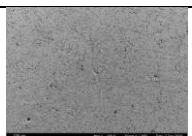
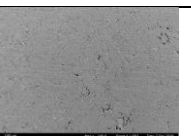

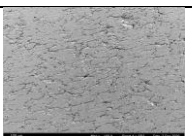
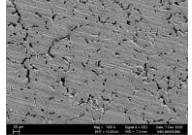
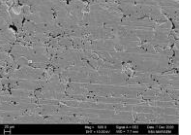
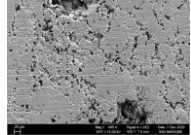
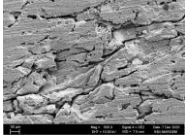
Çizelge 4.8. Daldırma deneyi sonrası 5083 Al alaşımının korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.

	H	Y	T1	T2
Düşük Büyütme				
Yüksek Büyütme				

Çizelge 4.9 de verilen Daldırma deneyi sonrası 5083 Al –Bi malzemenin düşük ve Yüksek büyütmedeki SEM görüntüleri sırasıyla Homojenleştirme ,normal Yaşlandırma,Termomekanik işlem 1 ve Termomekanik işlem 2 olarak verilmiştir.SEM görüntülerinden yola çıkarak en fazla oyuk ve çukur oluşumunun ,tane sınırlarında belirgin parça kopmalarının olduğu görüntü Termomekanik işlem uygulanmış (TB2) malzemesidir.En az çukurlaşma ve parça kaybı ise SEM görüntülerine bakıldığında Normal yaşlandırılmış malzemedeki görülmektedir.Sem görüntülerine bakarak Çukurlaşmanın ve oyuk oluşumunun en azdan en fazla sıralaması şu şekildedir.YB<HB<TB1<TB2.

5083 AL ve 5083 Al-Bi malzemesinde Ağırlık kaybı sonuçları ve SEM görüntüleri karşılaştırıldığında birbiriyle tutarlı sonuçlar çıkmıştır.

Çizelge 4.9. Daldırma deneyi sonrası 5083 Al –Bi alaşımının korozyona uğramış yüzey SEM görüntüleri.

	HB	YB	TB1	TB2
Düşük Büyütme				
Yüksek Büyütme				

AA 5083 alaşımları, nakliye endüstrilerinde [60] ve deniz yapılarında [61] uygulamaları için önemli ticari alaşımlardır. Yüksek özgül mukavemete, mükemmel sünekliğe, deniz ortamlarında iyi korozyon direncine ve kaynaklanabilirliklerine sahiptirler [62]. Ancak Al 5083 alaşımlarında Mg aşırı doygundur ve uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kaldığında dislokasyonlarda ve tane sınırlarında çökelecektir [63]. Tane sınırlarında oluşan çökeltme (esas olarak  $\beta$  fazı,  $Al_3Mg_2$ , fcc), bu alaşımların taneler arası korozyon (IGC) ve gerilmeli korozyon çatlaması (SCC) davranışından doğrudan sorumludur [64]. Önceki çalışmalarda [[65],[66]], Al-Mg alaşımındaki çökeltme davranışını ve çökelmeyi araştırmak için diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), öz direnç ölçümleri ve TEM kullanılmıştır. Al-Mg alaşımlarının aşağıdaki gibi olduğu bulundu [67].

Aşırı doymuş katı çözültü ( $\alpha$ )  $\rightarrow$  GP bölgeleri  $\rightarrow \beta'' \rightarrow \beta' \rightarrow \beta (Al_3Mg_2)$

Son zamanlarda, yüksek sıcaklıkta yaşlandırılmış Al 5083 alaşımında oluşan çökeltileri karakterize etmek için birkaç TEM çalışması yapılmıştır. Searles ve ark. [68] numunelerini 343K'da 333 saate kadar yaşlandırma sonucunda  $\beta$  fazının tane sınırlarında heterojen bir şekilde oluştuğunu ortaya çıkardı.

Gaorong Yi<sup>1</sup>, Yakun Zhu<sup>1</sup> 5083 Al içerisindeki çökeltileri tayin etmek için uzun süreli yaşlandırmaya maruz bıraktılar. Yaşlandırma öncesi yapıda TEM yaparak  $Al_6MnFe$ ,  $Mg_2Si$  fazının yapıya hakim olduğuna başka çökelti göremediklerini kaydettiler. Uzun süreli yaşlandırma sonunda STEM uyguladılar ve yapıda tane sınırlarına toplanmış altıgen görünümlü  $\beta$  fazının ( $Al_3Mg_2$ , fcc) gözlemlidiler [69].

Ying-Kai Lin<sup>1</sup>, Shing-Hai Wang<sup>2</sup>,  $Al_3Mg_2$ 'nin 50–200 C sıcaklık aralığında yaşlandırma sonrası yapıya hakim olduğunu, bu fazın Al-Mg alaşımlarında birincil korozyon sorunlarına sebep olduğunu, tane sınırlarında faz tabakalarının oluşması nedeniyle kademeli olarak bir korozyona karşı hassaslaşma, aşınma direncini azaltmak olgusuna neden olduğunu söylemişlerdir. Mg içeriğinin Al-Mg alaşımlarında duyarlılığı ve stres korozyonu üzerindeki etkisini araştırmış ve çökelti ve Al matrisi arasında potansiyel farklılıklar bulmuşlardır. Mg içeriği arttıkça -faz çökeltme oranı arttığını çökmeye bağlı olarak da korozyon direncinin

zayıfladığını stress korozyonun fazlaştığını dile getirmişlerdir.  $\beta$ -fazı çökeltileri fazlaştıkça kütle kaybının arttığını, taneler arası korozyon hassasiyetini etkileyen ana faktördürün bu faz olduğu ikincil faktörün ise mikro yapı olduğuna dikkat çekmişlerdir. Sonuç olarak Korozyon duyarlılığını ve taneler arası korozyonu ve aşınma direncini azalttığını yeniden kristalleşen yapıların arttırdığını yaptıkları çalışmada kanıtlamışlardır [70].

Safaa A.S. Almtori1, Haider T. Naeem1 5083 AA malzemeye homojenleştirme uygulaması, ardından sırasıyla %2,5-%3-%5 olmak üzere olmak üzere soğuk defarmasyon uygulayarak korozyon deneyi uygulamışlardır. Çalışma sonucunda soğuk deformasyon uygulanan malzemelerin korozyon direncinin Homojenleştirilmiş malzemedan daha zayıf olduğuna söylemişlerdir [71].

Önceki çalışmalar, Al 6 (Fe, Mn) fazının alüminyuma [72] göre daha asil potansiyele sahip olduğuna ve bu nedenle, alaşım matrisinde [73] çukur oluşumundan sorumlu olan katodik reaksiyonlar meydana geldiğini göstermektedir. Oksijen indirgememesinin katodik reaksiyonu, çukur oluşumunu teşvik eden Fe içeren partiküllerin yakınındaki oksit tabakasını kırmaya yardımcı olan hidroksil anyonları üretir [73-74]. Öte yandan, Mg-Si fazının (Mg 2 Si), çevreleyen alüminyum matrise [75] göre benzer korozyon potansiyeli değerlerine veya alüminyum matrise [76] kıyasla daha düşük bir korozyon potansiyeline sahip olduğu bildirilmektedir. Orta derecede ısı işlem durumunda, tane sınırları boyunca  $\beta$ -fazı (Al 3 Mg 2) çökeltileri oluşabilir [77-78].  $\beta$ -fazı, Yüksek korozyon potansiyeline sahiptir. Bu potansiyellik ısı işlem sırasında oluşan aktif fazların çökeltileri ile alüminyum alaşımlarının tane sınırlarında meydana gelen gerilmeli korozyon çatlamasının (SCC) ana nedenidir [79]. Mg 2 Si fazı potansiyel matrisi nispeten daha düşük bulunmaktadır. Ayrıca, magnezyumun yüksek reaktivitesi, bu intermetaliklerin çözünmesine ve sonuç olarak hızla dağılmasına yol açar. Bununla birlikte, korozyon sırasında oluşan hidroksit (Mg (OH) 2 ve SiO 2·n H 2 O) tortuları, çukurların derin yayılmasını engelleyen ek bir difüzyon bariyeri görevi görür.

Yine bir başka çalışmada 5083 korozyon direnci ile ilgili şunlar ele alınmıştır; 5083 alüminyum alaşımı, tipik bir 5xxx serisi alüminyum alaşımıdır ve burada Mg,

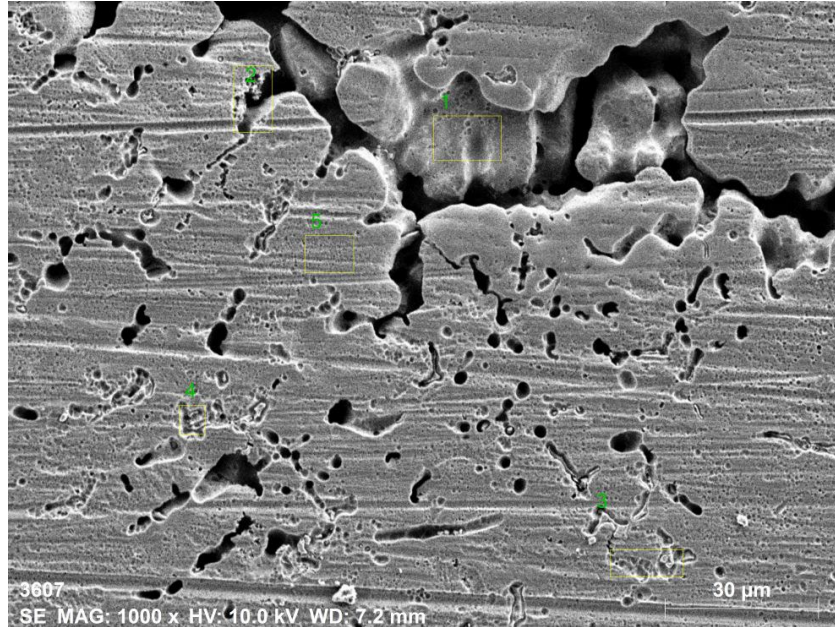
korozyon direncini artırmak için ana alaşım elementidir. Bununla birlikte, 5083 alüminyum alaşımı, özellikle ağırlıkça % 3'ü aşan Mg seviyelerine sahip olanlar için, tane sınırlarındaki karmaşık çökeltme nedeniyle çukurlaşma saldırılarına ve taneler arası korozyona karşı hassastır [80-82]. Duyarlılığın neden olduğu taneler arası korozyon hasarını önlemek, kontrol etmek veya ortadan kaldırmak önemlidir. Alüminyum alaşımlarının korozyon direnci, elektrolit konsantrasyonu [83], malzeme durumu [84] gibi birçok faktörden etkilenir ve malzemenin mikro yapısı veya yüzey durumu alaşımın korozyon direncinin ana faktörüdür. Ek olarak, soğuk haddelemeden sonra yeniden kristalleştirme tavlama ile tane boyutunun rafine edilmesinin alaşımın korozyon direncini iyileştirmeye yardımcı olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte, tanecik sınırları üzerindeki çökeltilerin genellikle soğuk haddelemeden sonra bantlı bir yapı oluşturduğu iyi bilinmektedir; bu durumun yeniden kristalleştirme tavlama ile ortadan kaldırılması zordur, böylece alaşımın korozyon performansını azaltır [85].

5083 Al malzemenin Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2 olmak üzere Şekil 4.17'de verilmiştir. Homojenleştirilmiş 5083 malzemenin 24 saat korozyonu sonrasında Sem ve EDX analizlerine göre yapıdaki çukurlaşmalar gözükmemektedir. Homojenleştirilmiş malzemenin korozyon dayanımının daha önceki çalışmalarına göre yaşlandırılmış malzemenin korozyon dayanımının daha iyi olması beklenmektedir. Burada Yaşlandırma işleminin korozyon potansiyelinin daha iyi olmasını yapıdaki EDX analizlerindeki Oksijen oranına bağlayabiliriz. EDX analizlerine göre Homojenleştirilmiş malzemede oksijen oranının yaşlandırılmış 5083'deki oksijen oranından daha fazla olduğu görülmektedir. Oksijen oranının fazlalığı oksitlenmenin daha fazla olması demektir. Oksitlenmenin ise korozyonu artırdığı açık olarak görülmektedir. Bu yüzden Korozyon sonuçlarında kesin sonuçlara ulaşmak için Potansiyodinamik Polarizasyon sonuçlarına bakmak daha doğru olacaktır.

Yaşlandırılmış 5083 malzemede korozyon direnci homojenleştirilmiş malzemenin ve Termomekanik işlem uygulamalarından daha iyi durumdadır. Şekil 4.17 (B) de Sem görüntüsünde çukurlaşma ve oyuk korozyonu daha az görülmektedir. Termomekanik

işlem 1 de yaşlandırma sonrası yapıda tane sınırlarında  $\beta$ -fazı çökeltilerinin olduğu daha önceki çalışmalarda söylenmiştir. Bu çökeltinin tane sınırlarında birikmesinden dolayı T1 aşamasında korozyon yaşlandırma ısıl işlemine göre kötüleşmiştir. Korozyon hassasiyetini artıran 2. bir etken ise tanecik sınırları üzerindeki çökeltilerin genellikle soğuk haddelemeden sonra bantlı bir yapı oluşturmasıdır. En fazla korozyona uğrayan Malzeme Termomekanik işlem 2 dir. SEM görüntüsüne bakıldığında derin tane sınırları, tane sınırlarında yeniden kristalleşen fazlar ve soğuk haddelemenin etkisi gibi korozyona karşı malzemeyi zayıflatacak tüm etkenler toplanmıştır. SEM görüntüsünde korozyona uğrayan bölgeler tane sınırları ve tane sınırlarına yakın bölgelerdir. Bunun sebebi tane sınırlarına çökelen ve korozyon hassasiyetini artıran fazlardır.  $\beta$ -fazı ve  $Mg_2Si$  nin varlığı tüm aşamalarda korozyon dayanımını düşürmüştür.

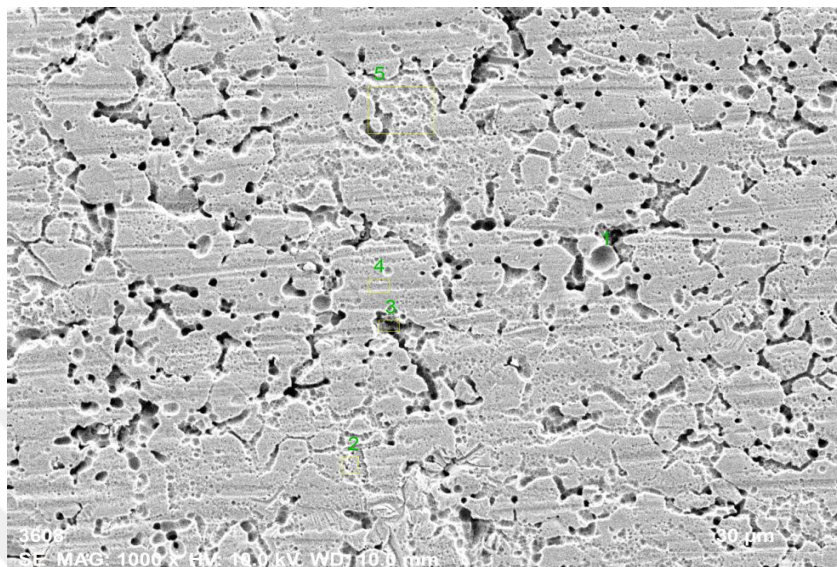
Genel olarak daldırma sonuçlarını yorumlarsak hem ağırlık kaybı Şekilleri, hemde SEM ve EDX analizleri sonuçlarına göre literatürdeki bilgilerle örtüşen bir çalışma ortaya koyduğumuz açıktır. Bu çalışmada termomekanik işlemlerin 5083 malzemede korozyon dayanımını azalttığını söyleyebiliriz.



Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1	92,19	3,76	0,0	0,63	0,00	0,0	3,41
2	90,48	3,95	0,0	0,0	0,0	0,90	4,67

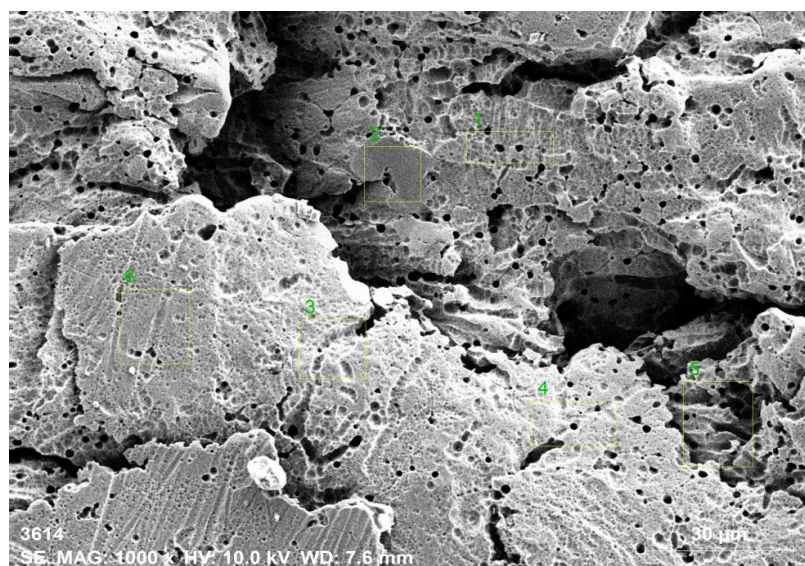
3	91,37	3,84	0,0	0,0	0,0	0,0	4,78
4	87,95	3,08	0,11	0,0	0,0	1,92	4,93
5	92,88	3,52	0,0	0,0	0,0	0,0	3,60

(A)



Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1	93,75	3,49	0,0	0,0	0,00	0,35	2,25
2	93,47	3,52	0,0	0,0	0,0	0,00	3,01
3	89,84	3,20	0,0	1,49	0,0	4,38	1,09
4	92,53	3,37	0,0	0,0	0,60	0,28	3,03
5	93,33	3,50	0,0	0,0	0,14	0,0	3,03

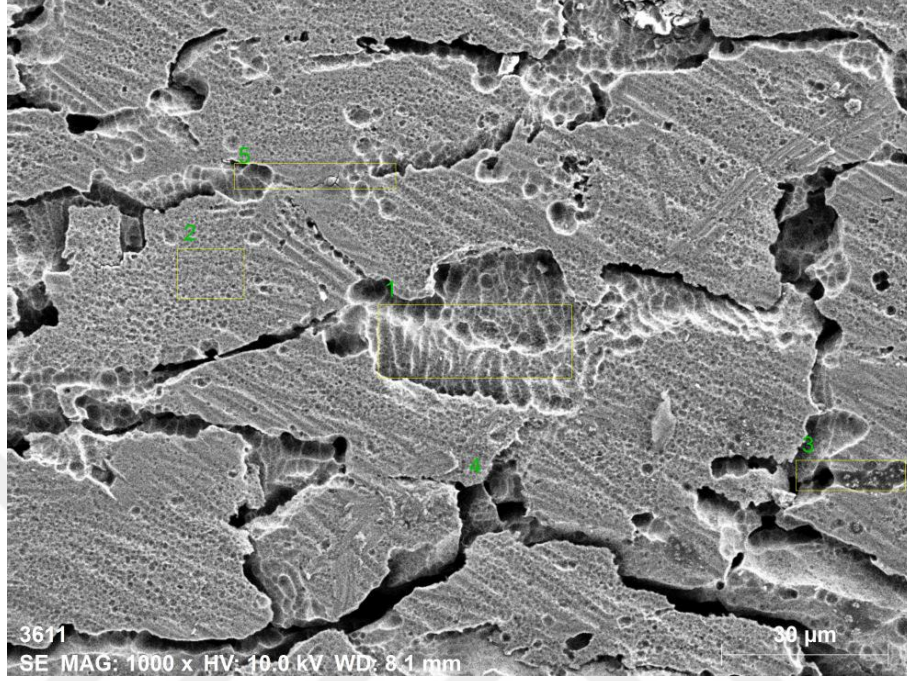
(B)



Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1	92,63	3,22	0,0	0,0	0,00	1,19	2,96
2	92,46	3,31	0,0	0,0	0,0	0,15	4,09

3	91,95	3,40	0,13	0,0	0,46	0,41	3,64
4	91,21	3,60	0,08	0,12	1,04	0,0	3,94
5	91,52	3,62	0,0	0,59	0,91	0,0	3,36
6	93,41	2,76	0,0	0,0	0,0	0,0	3,84

(C)



Element (ağ. %)							
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O
1	86,23	4,30	0,0	0,56	0,00	0,0	8,90
2	88,79	3,92	0,03	0,13	0,0	0,0	7,14
3	73,17	3,69	0,0	0,81	1,16	2,45	18,72
4	86,43	3,67	0,0	0,0	0,36	2,59	6,95
5	81,73	3,67	0,0	0,09	0,0	0,0	14,51

(D)

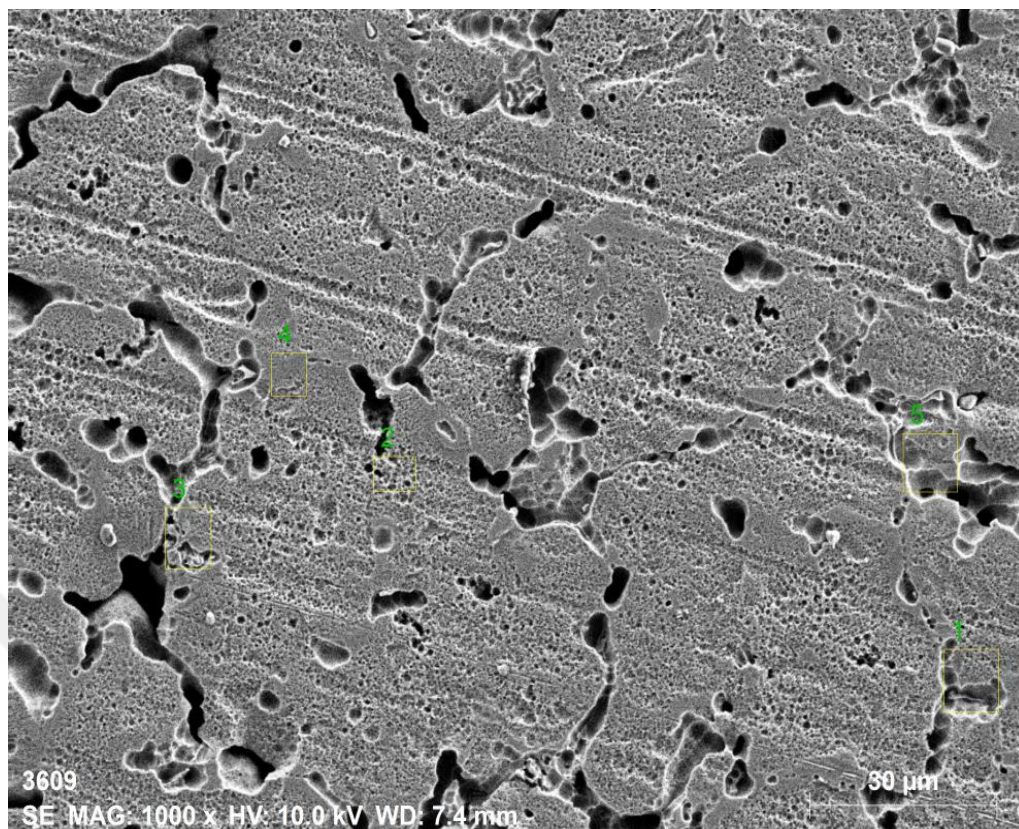
Şekil 4.17. 5083 Al malzemenin Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.

5083 Al-Bi Alaşımının Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2 olmak üzere Şekil 4.18 de verilmiştir. 5083 Al-Bi malzemenin Homojenleştirilme sonrası korozyona uğrayan yüzeyin Sem görüntüsüne bakıldığında Yaşlandırılmış malzemedan daha fazla

korozyona uğramış durumdadır. Aynı durum 5083 Al malzemedede de görülmektedir. Yaşlandırılmış malzemenin Sem görüntüsünde ise TB1 ve TB2 ye göre daha az çukurlaşma görülmektedir. Yaşlandırılmış numunede  $\beta$ -fazının varlığından dolayı homojenleştirilmiş 5083 Al-Bi malzemesine göre daha düşük korozyon dayanımı beklerken, homojenleştirilmiş malzeme daha zayıf korozyon dayanımı göstermiştir. Homojenleştirilmiş malzemenin EDX sonuçlarına bakarsak Oksitlenmenin yaşlandırılmış malzemededen daha fazla olduğuna söyleyebiliriz.

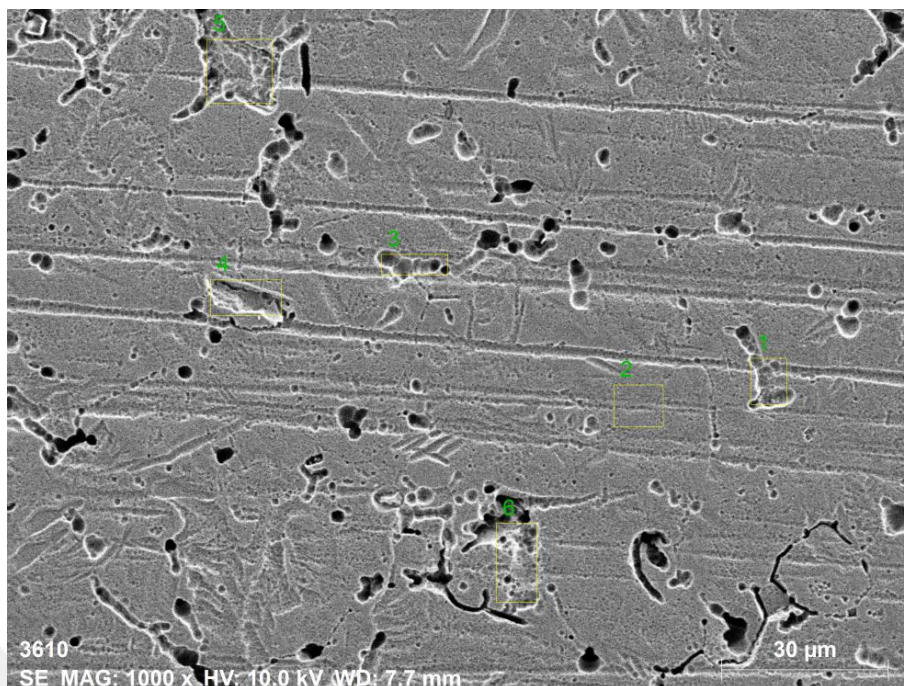
Kesin sonuç söylemek için Potansiyodinamik sonuçlarına da bakmak önem teşkil etmektedir. Termomekanik 1 ve Termomekanik 2nin SEM ve EDX analizlerine baktığımızda Soğuk Haddelenenin etkisiyle bantlaşmadan kaynaklı düşük korozyon hassasiyeti, tane sınırlarına biriken çökelti fazlarından dolayı tane sınırlarının oyuklaştığı, büyük parçaları halinde korozyona uğrayarak kütle kaybına sebep olduğu görülmektedir.

5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemenin Daldırma sonuçlarında ayırt edici bir farklılık görülmemekle birlikte Bizmut ilavesi 5083 Al-Bi malzemesinin korozyona karşı direncini artırdığını söyleyebiliriz. 5083 Al malzemesinin ağırlık kaybı Şekil lerinden yola çıkarak 5083 Al-Bi Malzeme daha az ağırlık kaybı göstermiştir. Bunun sebebi olarak 5083 malzemedeki kurucu fazlara Bizmutun bağlanması , böylece kurucu fazlardaki Mg oranının hacimce azalması, Bizmutun kurucu fazların yarattığı korozyon hassasiyetini yavaşlatmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. EDX analizlerinde Bizmut elementi hemen hemen bütün fazlarda Yüksek oranlarda görülmüştür. Bununla birlikte diğer elementler faz içinde hacimce daha az yer kapladığından dolayı daha güçlü korozyon direncine sahip olduğunu söyleyebiliriz.



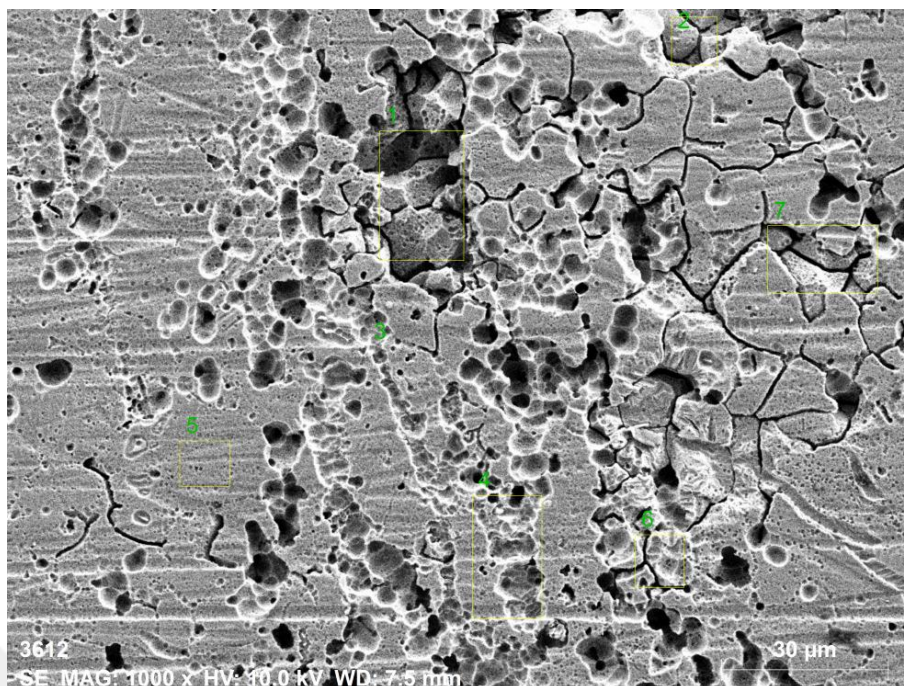
Element (ağ. %)								
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O	Bi
1	90,72	2,33	0,29	0,41	0,00	0,15	6,10	0,0
2	89,86	2,62	0,10	1,30	0,0	0,18	5,94	0,0
3	89,05	2,69	0,22	0,86	0,81	0,04	6,33	0,0
4	91,05	2,55	0,0	0,52	1,70	0,0	4,17	0,0
5	81,53	2,66	0,0	0,0	0,68	0,25	4,89	0,0

(A)



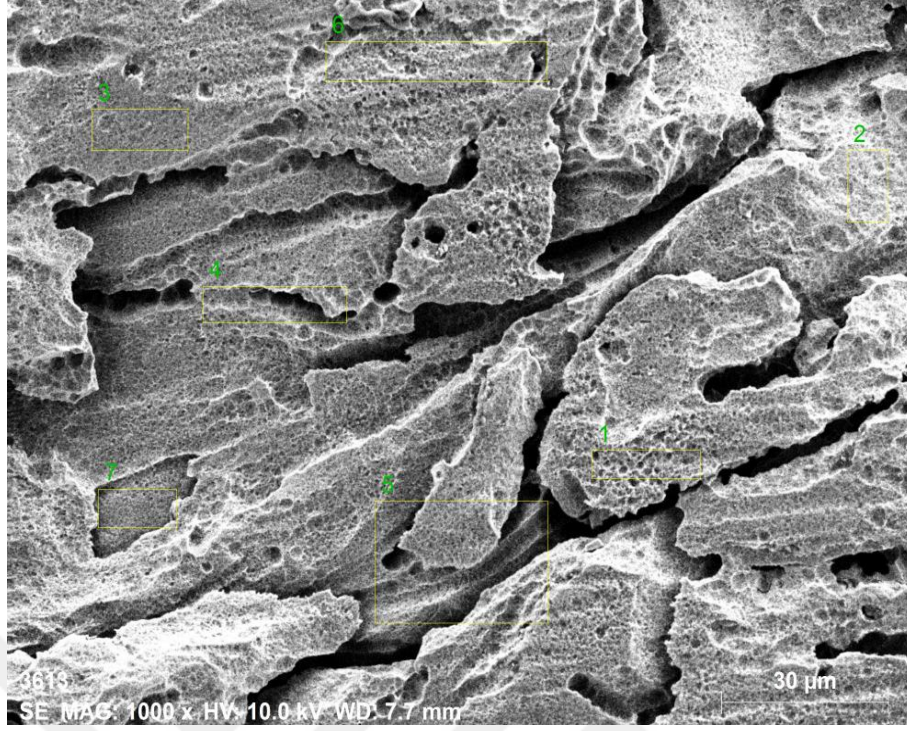
Element (ağ. %)								
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O	Bi
1	91,40	2,00	0,06	0,57	1,23	0,11	4,32	0,31
2	93,24	2,13	0,0	0,32	0,0	0,0	3,64	0,0
3	92,42	1,99	0,0	0,58	0,98	1,17	3,91	0,13
4	89,81	2,40	0,0	0,82	0,39	0,0	4,75	0,66
5	91,99	2,30	0,16	0,0	0,0	0,57	4,98	0,0
6	91,43	2,33	0,16	0,0	0,0	0,28	5,80	0,0

(B)



Element (ağ. %)								
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O	Bi
1	91,77	1,96	0,0	0,13	0,77	0,0	5,37	0,0
2	93,24	2,31	0,8	0,10	0,0	0,08	4,15	0,04
3	92,15	2,13	0,0	0,29	0,0	0,0	5,43	0,00
4	88,69	2,16	0,47	0,0	0,57	0,33	7,36	0,42
5	91,22	2,53	0,19	1,26	0,75	0,0	3,61	0,45
6	90,05	1,94	0,0	0,32	0,17	1,54	5,21	0,77
7	90,12	2,20	0,04	0,0	0,0	1,68	5,81	0,17

(C)



Element (ağ. %)								
Spektrum	Al	Mg	Si	Cr	Mn	Fe	O	Bi
1	81,04	2,18	0,0	0,13	0,77	0,0	16,40	0,33
2	82,73	2,39	0,8	0,10	0,0	0,08	14,79	0,09
3	85,95	2,19	0,0	0,29	0,0	0,0	6,24	0,00
4	88,32	2,21	0,47	0,0	0,57	0,33	8,20	0,0
5	85,70	2,07	0,0	0,0	0,71	0,0	11,52	0,0
6	81,39	2,44	0,26	0,0	0,23	0,76	14,26	0,65
7	84,46	2,32	0,0	0,0	0,0	0,0	12,70	0,52

(D)

Şekil 4.18. 5083 Al-Bi Alaşımının Daldırma deneyi sonrası korozyona uğramış yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.

#### 4.5.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları

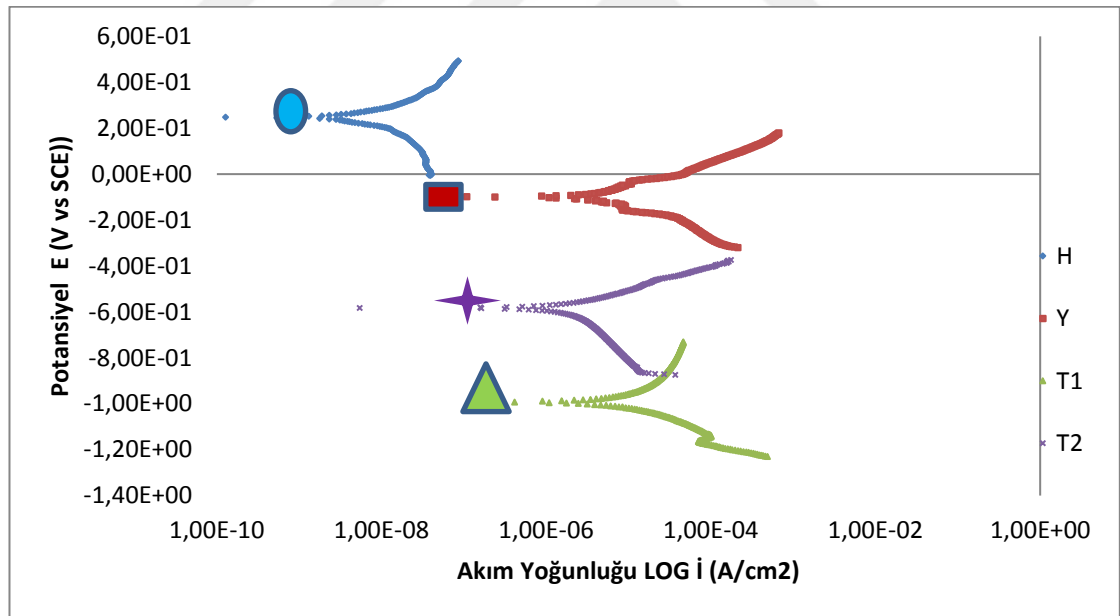
Korozyon deneylerinde 2.bir yöntem olan potansiyodinamik polarizasyon testi yapılmıştır. Şekil 4.6 döküm 5083 Al ve döküm 5083 Al-Bi alaşımlarının polarizasyon eğrileri verilmiştir. Bu eğriler Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile

incelenerek Şekil üzerinden korozyon potansiyeli ( $E_{cor}$ ) ve bu potansiyele karşılık gelen korozyon akım yoğunluğu ( $I_{cor}$ ) ve değerleri çıkarılmıştır.

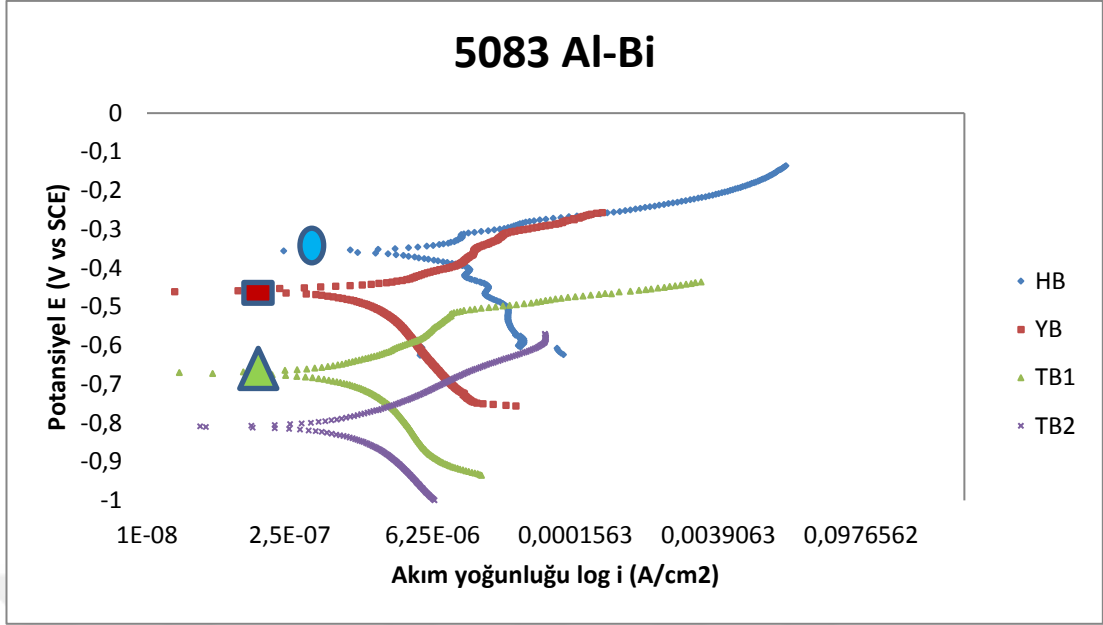
Şekil 4.19 da 5083 alaşımın potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ne bakıldığında korozyon direncinin en iyi Homojenleştirilmiş numunenin gösterdiği en zayıf korozyon direncini ise T2 malzeme göstermiştir. Polarizasyon eğrilerine göre korozyon dirençleri en güçlüden en zayıfa doğru  $H > Y > T2 > T1$ .

5083 Al-Bi malzeme için korozyon dirençleri en güçlüden en zayıfa doğru  $H > Y > T1 > T2$  şeklindedir.

Daldırma sonuçları karşılaştırıldığında Homojenleştirilmiş malzemenin akıma karşı gösterdiği direnç yaşlandırılmış malzemededen daha fazladır. Sonuç beklentiyi karşılamıştır.



(A)



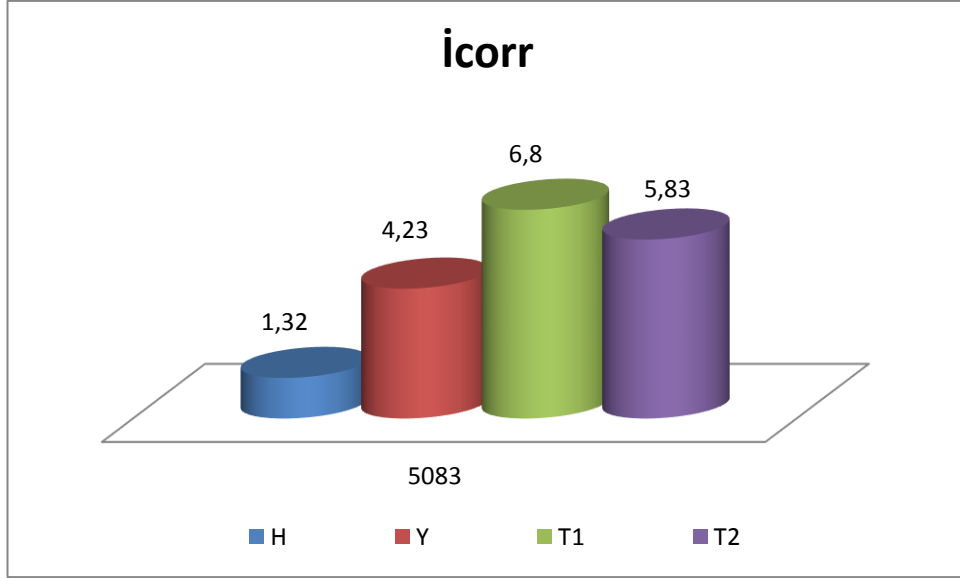
(B)

Şekil 4.19. (A)5083 Al alaşımasının potansiyodinamik polarizasyon eğrileri(B) 5083 Al –Bi alaşımasının potansiyodinamik polarizasyon eğrileri.

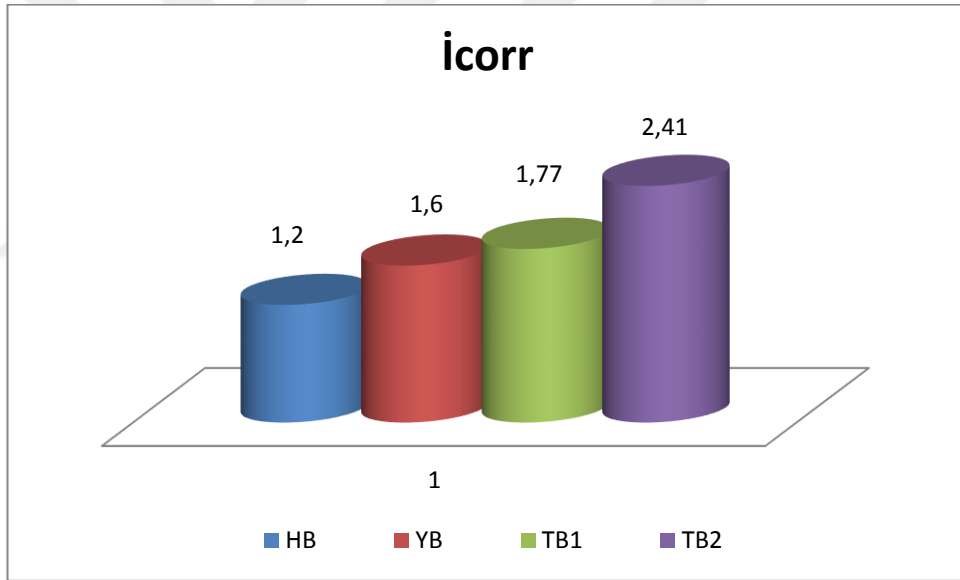
Şekil 4.20 de göre 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemesinin İcorr grafiği verilmiştir. İcorr akım yoğunluğudur, İcorr arttıkça malzemenin korozyona karşı direnci zayıftır .5083 malzemede en güçlü korozyon direnci gösteren homojenleştirilmiş Malzeme iken, en zayıf korozyon direnci gösteren ise Termomekanik işlem 1dir. 5083 Al-Bi malzemede ise en güçlü korozyon direnci homojenleştirilmiş Malzeme, en zayıf korozyon direncini ise termomekanik işlem 2 uygulanmış Malzeme göstermektedir.

Şekil 4.21.de ise 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemesinin Ecorr değerleri verilmiştir. Ecorr için akımların aşması gereken bariyer tanımı yapmak doğrudur.

Ecorr pozitifte yaklaştıkça akımların aşması gereken bariyer artar böylece malzemenin korozyona karşı dayanımı artmaktadır. Bu tanımlamaya göre 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemesinde Ecorr değeri en yüksek Homojenleştirilmiş malzemedir, en düşük Ecorr değeri ise Termomekanik işlem uygulanmış malzemededir.

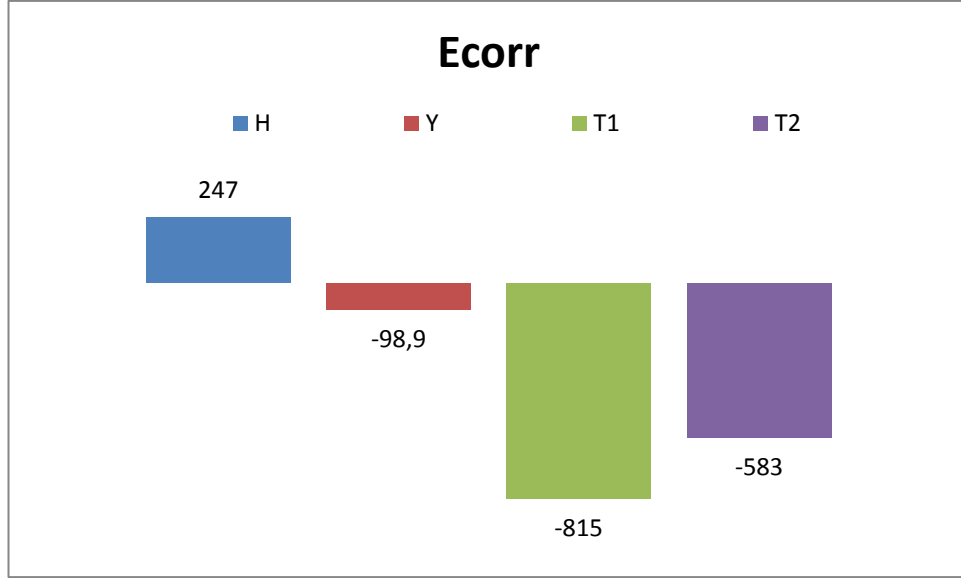


(A)

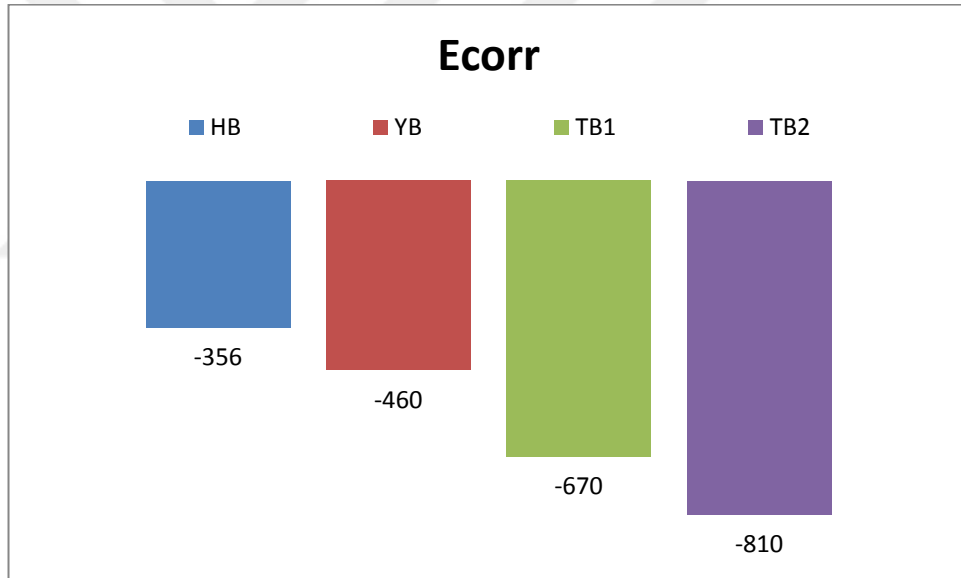


(B)

Şekil 4.20. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen İcor akım yoğunluğu (A) 5083 Al alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı.



(A)



(B)

Şekil 4.21. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden elde edilen E<sub>corr</sub> korozyon potansiyeli (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı.

#### 4.6. AŞINMA TESTİ SONUÇLARI

Bu çalışmada aşınma deneyleri kuru aşınma testi ve korozif aşınma testi olmak üzere 2 şekilde gerçekleştirilmiştir. İki malzemeninde metre cinsinden aşınma sonrası alınan yola bağlı olarak ağırlık kaybı değişim Şekil leri çizilmiştir. SEM de aşınma yüzeylerinden görüntü alınarak EDX analizleri yapılmıştır. 400 m sonundaki ağırlık

kaybı alınan yola ve uygulanan yüke oranlanarak g/Nm cinsinden aşınma hızları hesaplanmıştır. Alınan yol sonrasında her kademedeki zamana bağlı sürtünme katsayısı Şekilleri çizilmiştir. (EK 4.1, EK 4.2). Zaman-Sürtünme katsayısı Şekillerinden elde edilen verilerden, 400 metre yol sonrasındaki sürtünme katsayısının ortalaması alınarak Şekil oluşturulmuştur.

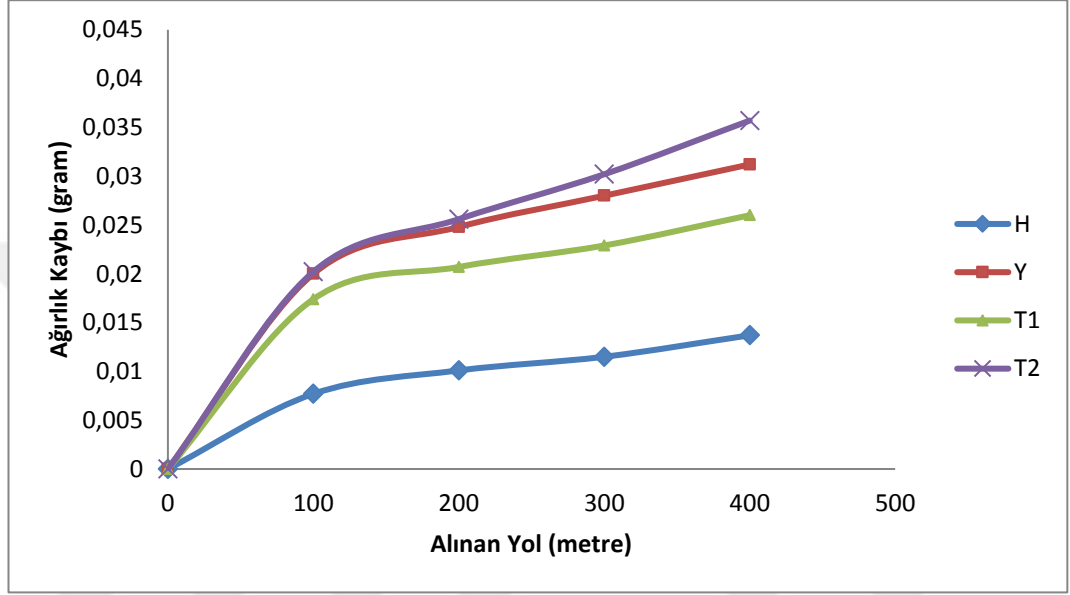
#### **4.6.1. Kuru Aşınma Test Sonuçları**

5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımlarının kuru aşınma testleri 20 N yük altında toplamda 400 m kayma mesafesinde gerçekleştirilmiştir. Her 100 metre sonunda ağırlık kayıpları ölçülerek, kayma mesafesine bağlı ağırlık kaybı değişim grafiği (Şekil 4.9) çizilmiştir. Aşınma yüzey görüntüleri SEM ile alınarak (Çizelge 4.10, Çizelge 4.11) ve EDX (elementel) analizleri (Şekil 4.23-Şekil 4.24) yapılmıştır. 400 metre kayma mesafesi sonrasındaki ağırlık kaybı alınan yola ve uygulanan yüke oranlanarak g/Nm cinsinden aşınma hızları belirlenip Şekil 4.25'de verilmiştir. 400 metre kuru aşınma sonundaki sürtünme katsayıları Şekil 4.26'de verilmiştir. Sürtünme katsayıları her 100 metredeki değerler alınarak ortalamalar üzerinden Şekil çizilmiştir (EK 4.1).

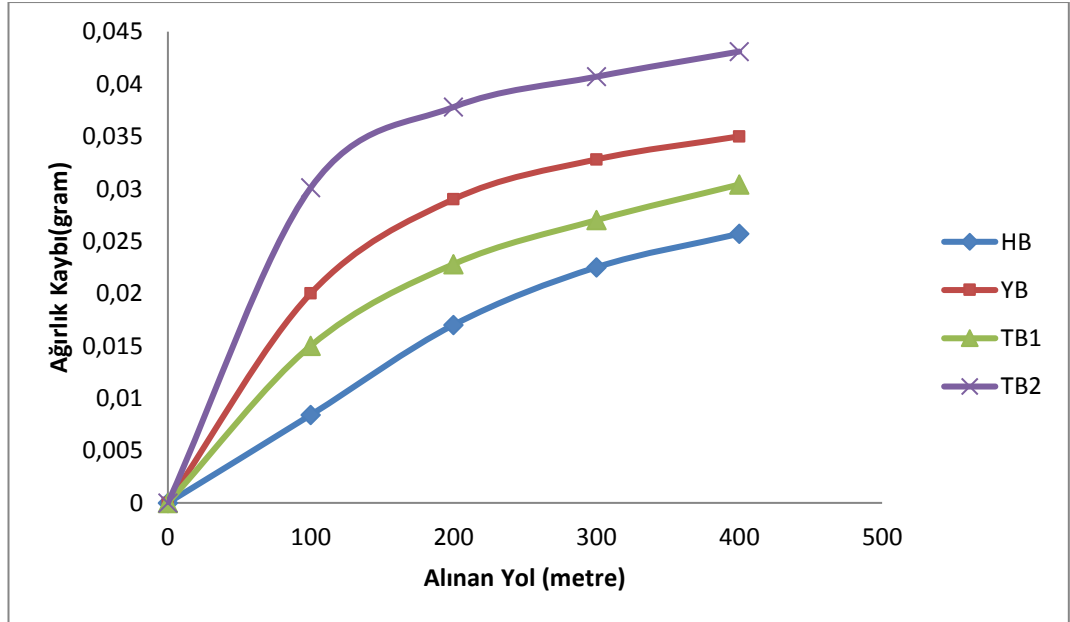
5083 malzemenin kuru aşınma deneyinde her 100 m yol mesafesinde ağırlık kayıpları hassas terazide ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına göre yola bağlı ağırlık kaybı grafiği çizilmiştir (Şekil 4.22). Şekil incelendiğinde homojenleştirilmiş, yaşlandırılmış ve Termomekanik işlem uygulanmış malzemelerin hepsinde ilk 100 metre mesafe yol almada hızlı bir ağırlık kaybı olduğu görülmektedir. Yol mesafesi 400 metreye doğru yaklaştıkça ağırlık kaybıda kararlı artan bir görünüme sahip olmuştur. 5083 malzemenin homojenleştirme uygulaması ile kuru aşınma direnci yaşlandırma ısıl işleminden ve Termomekanik işlemlerden geçmiş 5083 Al'den çok daha iyi durumdadır. En fazla ağırlık kaybına uğrayan Malzeme 5083 Al Termomekanik işlem 2 (T2) dir. 5083 Al malzemenin işlem kademelerine göre aşınma direncini sıralarsak en iyiden en kötüye;  $H > T1 > Y > T2$  şeklindedir.

5083Al-Bi Alaşımının yola bağlı ağırlık kaybı grafiğini yorumlarsak en az ağırlık kaybını gösteren malzeme homojenleştirilmiş malzemedir. En fazla ağırlık kaybı gösteren Malzeme ise TB2 malzemesidir. Tüm işlem kademelerinde ağırlık kayıpları

100 m yol aldıklarında hızlı artış gösterip daha sonra kararlı bir Şekil oluşturmuştur. Ağırlık kaybının fazla olması aşınmaya karşı gösterdiği direncin zayıf olmasından dolayı fazla aşınmaya bağlı olarak kütledeki azalmadır.5083 Al-Bi malzemenin işlem kademelerine göre aşınma direncini sıralarsak en iyiden en kötüye; H>TB1>YB>TB2 şeklindedir.



(A)

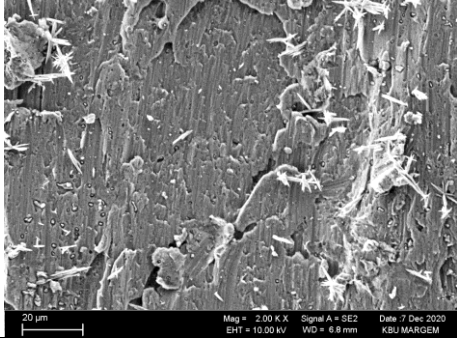
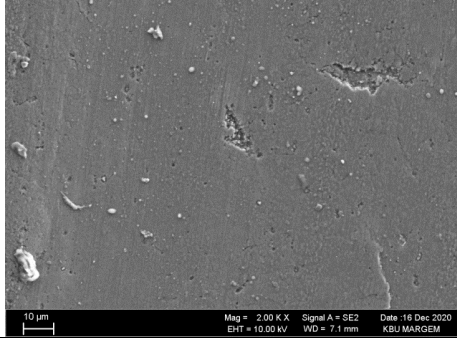
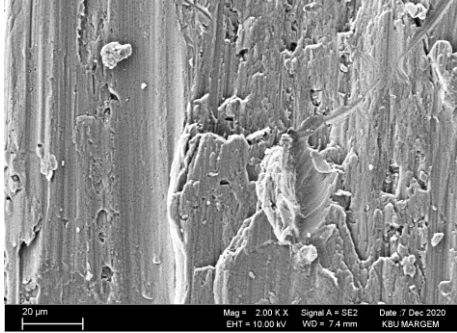
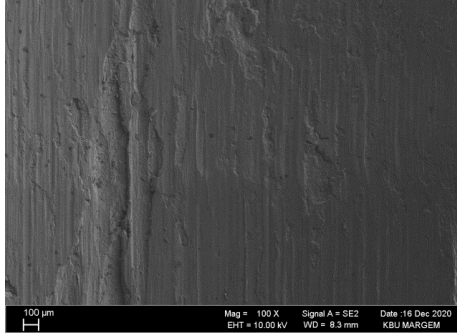


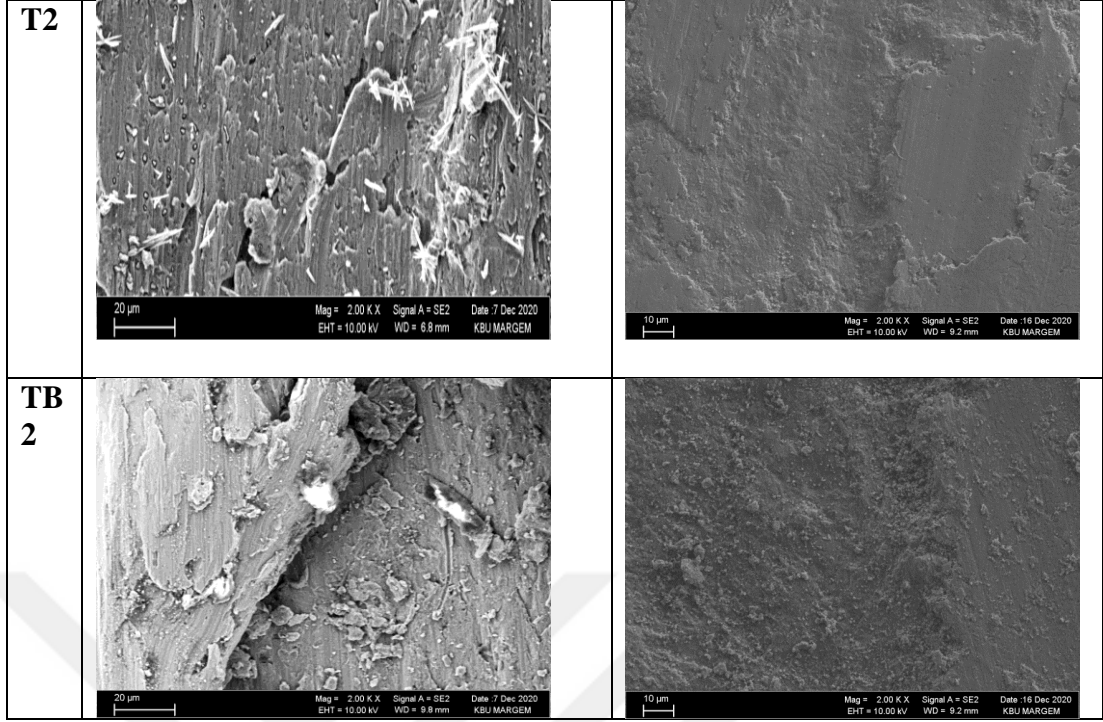
(B)

Şekil 4.22. Kuru aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları (A) 5083 alaşımı, (B) 5083 Al-Bi alaşımı.

Kuru aşınma sonrası Ağırlık kayıplarına göre en az aşınmanın homojenleştirilmiş malzemede en fazla aşınmanın ise T2 olduğunu yukarıda belirtmiştik. Aşınmış yüzeylerin SEM de görüntüleri alınarak Şekil lerle aşınma yüzeylerinin görüntülerinin birbiriyle uyumlu olup olmadığına bakılmıştır. Yola bağlı ağırlık kaybı Şekil lerinde ilk 100 metre mesafe de ağırlık kaybının birden arttığını, 400 m mesafeye doğru artışın kararlı duruma geçtiğini belirtmiştik. 100 metre ve 400 metre mesafe sonundaki aşınma yüzeylerine SEM de bakılarak bu artış yorumlanmıştır. Çizelge 4.23 de en fazla ağırlık kaybına uğrayan T2 ve TB2 malzemeleriyle en az ağırlık kaybına uğrayan H ve HB malzemelerinin 100 metre ve 400 metre yol alma sonrası SEM görüntüleri verilmiştir. 100 metre sonrası aşınma yüzeylerinde kopan ve kopmaya devam eden dağınık büyük parçaların olduğu, 400 metre sonrasında ise yüzeydeki aşınmanın yapışma özelliği gösterdiği ve kararlı hal sergilediği görülmektedir. 100 metre mesafede bu kadar büyük parçaların kopmasının Oksitlenmiş tabakanın ilk 100 metrede aşınmasına bağlayabiliriz. Aşınmış yüzeylerden Alınan EDX analizlerine göre bu yorum daha da netlik kazanacaktır.

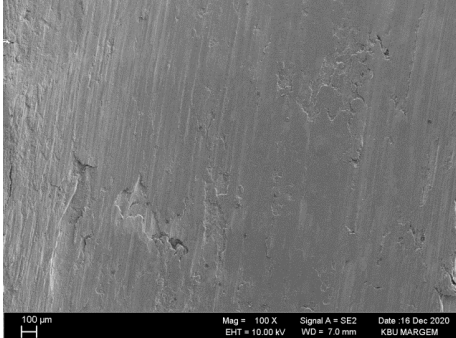
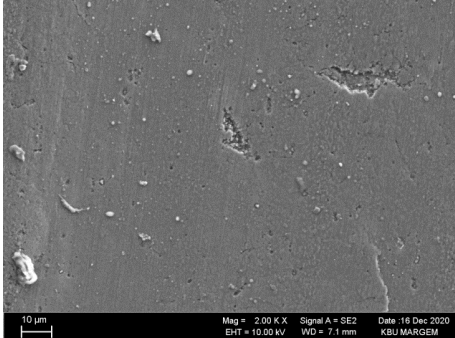
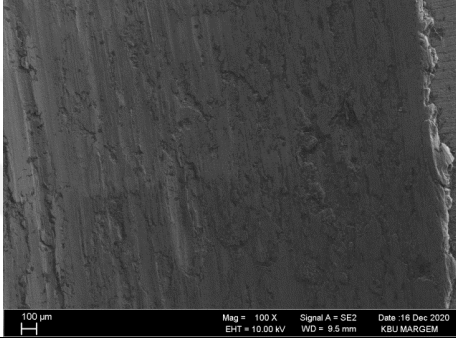
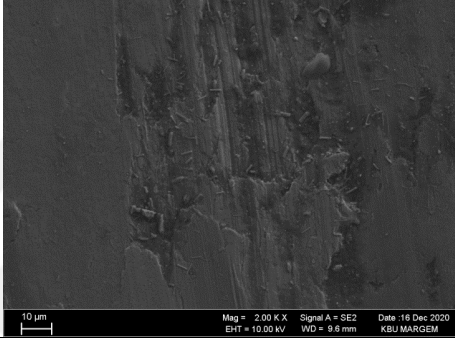
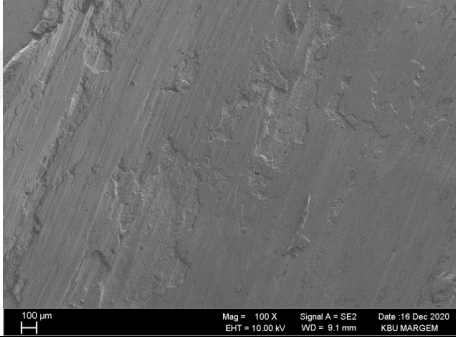
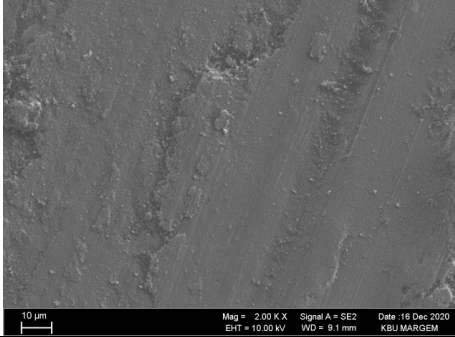
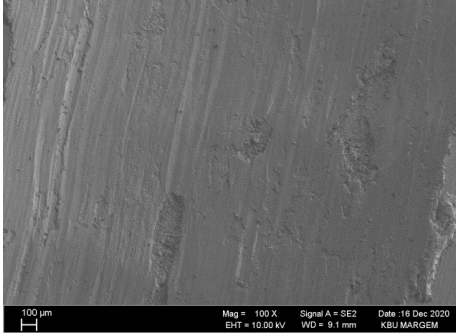
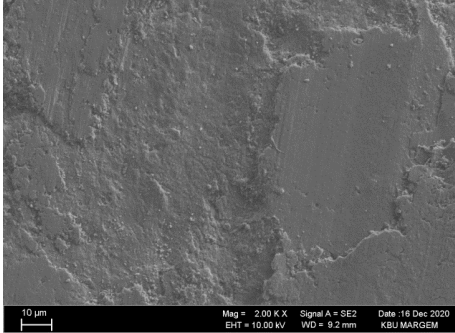
Çizelge 4.10. 100 metre ve 400 m yol alma sonrası kuru Aşınma yüzeyi SEM görüntüleri karşılaştırmaları.

2KX BÜYÜTME		
	100 m	400 m
H	 <p>20 µm Mag = 2.00 K X EHT = 10.00 kV Signal A = SE2 WD = 6.8 mm Date: 7 Dec 2020 KBU MARGEM</p>	 <p>10 µm Mag = 2.00 K X EHT = 10.00 kV Signal A = SE2 WD = 7.1 mm Date: 16 Dec 2020 KBU MARGEM</p>
HB	 <p>20 µm Mag = 2.00 K X EHT = 10.00 kV Signal A = SE2 WD = 7.4 mm Date: 7 Dec 2020 KBU MARGEM</p>	 <p>100 µm Mag = 100 X EHT = 10.00 kV Signal A = SE2 WD = 8.3 mm Date: 16 Dec 2020 KBU MARGEM</p>



5083 alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve Yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Çizelge 4.11 de verilmiştir. SEM görüntülerine göre en az aşınmış malzeme yüzey görüntüsü Homojenleştirilmiş malzemeye aittir. Yüzeyde yapışma olduğu parçaların kopmadığı görülmektedir. En fazla aşınan Malzeme T2 nin SEM görüntüsünde de aşınmış yüzeylerin fazlalığı dikkat çekmektedir. SEM görüntülerine göre aşınma direçlerini kıyaslırsak kuru aşınma sonrasındaki ağırlık kayıpları ile uyumludur.


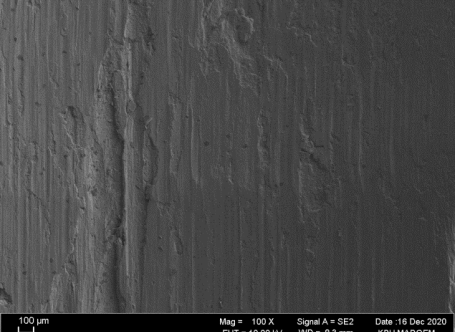
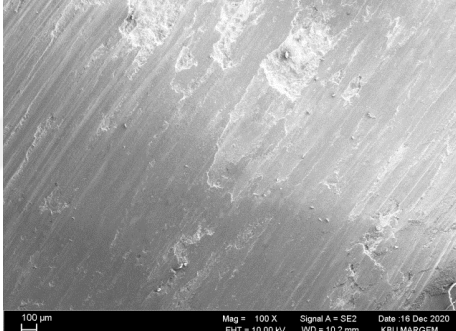
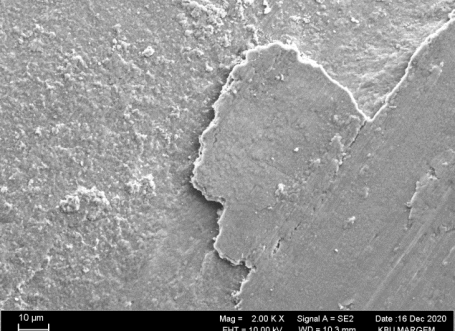
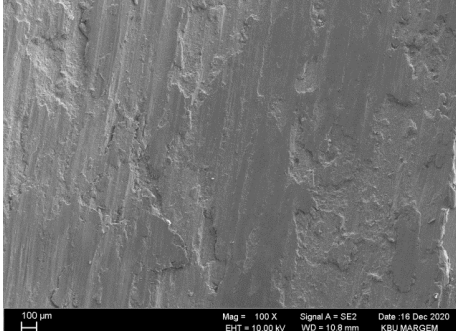
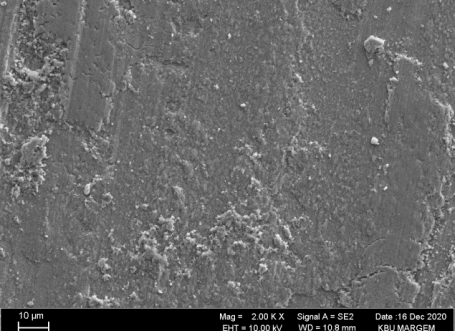
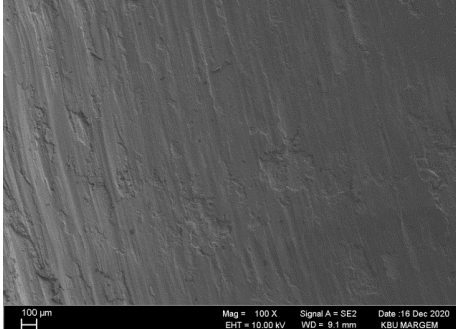
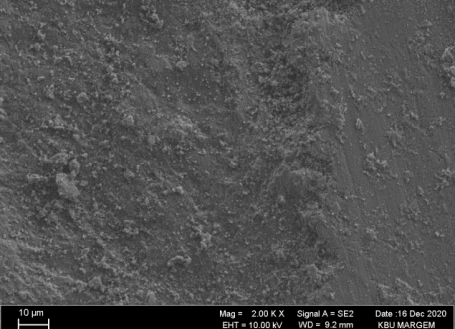
Çizelge 4.11. 5083 alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

	100X (düşük büyütme)	2KX(yüksek büyütme)
H	 <p>100 µm Mag = 100 X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 7.0 mm KBU MARGEM</p>	 <p>10 µm Mag = 2.00 K X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 7.1 mm KBU MARGEM</p>
Y	 <p>100 µm Mag = 100 X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.5 mm KBU MARGEM</p>	 <p>10 µm Mag = 2.00 K X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.6 mm KBU MARGEM</p>
T1	 <p>100 µm Mag = 100 X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.1 mm KBU MARGEM</p>	 <p>10 µm Mag = 2.00 K X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.1 mm KBU MARGEM</p>
T2	 <p>100 µm Mag = 100 X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.1 mm KBU MARGEM</p>	 <p>10 µm Mag = 2.00 K X Signal A = SE2 Date :16 Dec 2020 EHT = 10.00 kV WD = 9.2 mm KBU MARGEM</p>

5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve Yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Çizelge 4.12 de verilmiştir.SEM görüntülerine göre en az aşınma gösteren görüntü Homojenleştirilmiş malzemededir.En fazla aşınma gösteren Tabaka kalmalarının belirgin olduğu TB2 malzemesidir.Sem görüntülerine

göre aşınmış yüzeyleri azdan çoğa doğru sıralarsak HB>TB1>YB>TB2 şeklindedir. Sem görüntüleri ve ağırlık kayıpları sonuçları birbiriyle uyumludur. EDX analizlerine bakarak fazların aşınmaya olan etkisini yorumlamak 5083 AL malzemenin aşınma direnci hakkında kesin sonuçlara ulaştıracaktır.

Çizelge 4.12. 5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası düşük ve Yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

	100X (düşük büyütme)	2KX (yüksek büyütme)
<b>HB</b>		
<b>YB</b>		
<b>TB1</b>		
<b>TB2</b>		

Mg düşük aşınma direnci nedeniyle mühendislik uygulamaları sınırlıdır. Bu alaşımların mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmek, mikroyapıyı uygun döküm prosedürleri ile kontrol ederek, ısıl işlem uygulayarak veya küçük alaşım elementleri ekleyerek mümkündür. Alaşım elementlerinin eklenmesi, alaşımların mekanik ve aşınma özelliklerini iyileştirmenin en kolay ve en etkili yöntemidir [86] , [87]. Sb, Ca, Bi, Pb, Ti, Zn ve Zr, Mg alaşımlarına eklenen alaşım elementlerinden bazılarıdır. Eklenen alaşım elementleri mikro yapı içinde ya çözünür ya da bileşikler oluşturur. Alaşım elementlerinin eklenmesi, katı çözeltiler ve sertleşme çökeltisi yoluyla onları güçlendirdiği için Mg alaşımlarının aşınma özellikleri üzerinde etkili olabilir [88] . Birkaç yazar, çeşitli alaşım elementlerinin Mg alaşımlarının mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır [89-93].

Genel olarak, Mg alaşımları, mevcut diğer Mg alaşımlarına kıyasla nispeten ucuz olan Mg-Al sistemlerine dayanmaktadır. Al- Mg alaşım sistemlerinde bilinen Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> mekanik özellikleri kötüleştirilen zararlı bir bileşiktir. Çünkü Mg 17 Al 12 çok sert ve kırılabilir bir fazdır. Mg 17 Al 12 fazının mekanik özellikler üzerindeki zararlı etkisini azaltmanın en etkili yollarından biri üçüncü alaşım elementi (Pb, Ti, Cr ve nadir toprak elementleri vb.) eklemektir [94].

Panagopoulos ve Georgiou [95], % 3,5 NaCl solüsyonunda serbest korozyon koşulu altında 5083 alüminyum alaşımının korozif aşınmasını araştırdı. Bu araştırmacılar, uygulanan yükün artmasının, 5083 alüminyum alaşımı-paslanmaz çelik malzeme çiftinin sürtünme katsayısının azalmasına neden olduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, bu alaşımın serbest korozyon koşulları altında aşınması sırasında, yoğun plastik deformasyon ve delaminasyon aşınma fenomeninin kapsamlı oyuk korozyonuyla birlikte var olduğunu gözlemlediler.

Chen ve Thomson [96], takım çeliğine ve yüksek sıcaklık çimento karşı yüzey malzemelerine karşı kayarken uygulanan yük ve sıcaklığın 5083 ve 7075 alaşımının aşınma davranışı üzerindeki etkisini inceledi. 5083 ve 7075 alüminyum alaşımlarının baskın aşınma mekanizmalarının yapılaşma, plastik deformasyon ve aşınma olduğunu gözlemlediler. Yukarıdaki aşınma mekanizmalarının esas olarak uygulanan yüke bağlı olduğu bulunmuştur.

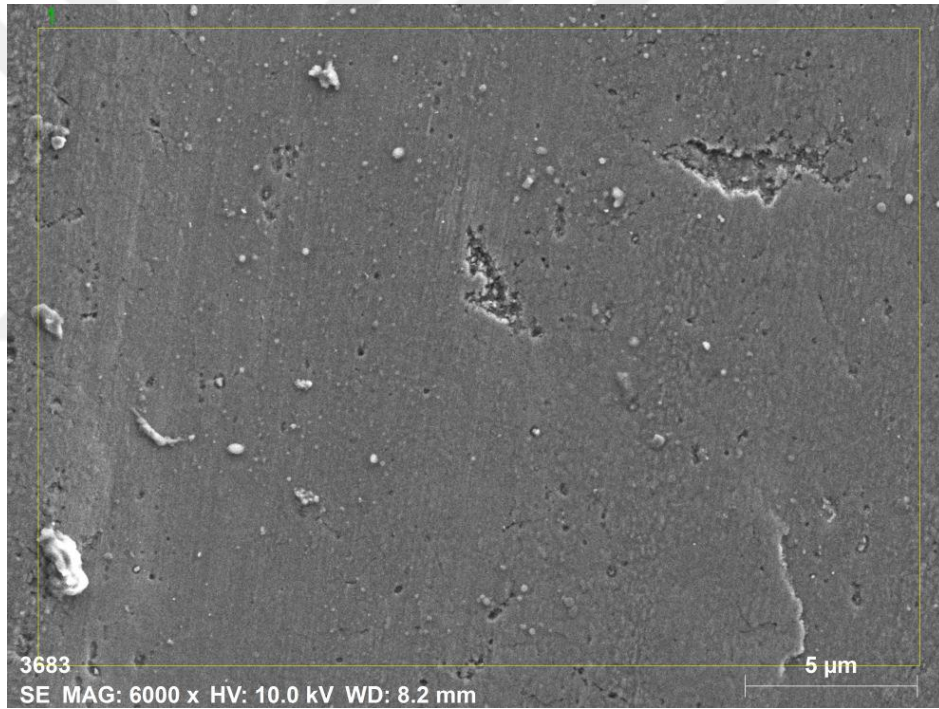
Meyer-Rodenbeck vd. [97] , çok çeşitli döküm ve işlenmiş alüminyum alaşımlarının aşındırıcı ve korozif aşınma koşulları altında aşınma davranışını inceledi. Bu araştırmacılar, işlenmiş alüminyum alaşımları 7017, 7075, 5083 ve 5251'in seçilen koşullar altında en iyi aşınma direncini sağladığını buldular. Bu araştırmacılar mikroyapıyı incelenen alaşımların aşınma direnci ile ilişkilendirdiler.

C.N. Panagopoulos , E.P. Georgiou 5083 Al malzemeye Soğuk haddeleme uygulayarak aşınma davranışını incelemişlerdir. Soğuk haddeleme prosedürünün alaşımın yüzey katmanlarının ortalama tane boyutunda bir azalmaya yol açtığı söylemişlerdir. Metalik malzemelerin şekillendirilmesi sırasında tane boyutunun küçülmesi çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir [98], [99] ve strese neden olan etkenler fazların yeniden kristalleşmesine atfedilmiştir .Image Pro Analiz Programı yardımıyla, haddeleme eksenine boyunca ortalama tane boyutunun, haddelemesiz alaşım için 48  $\mu\text{m}$ 'den % 7 soğuk haddelenmiş alaşım için 40  $\mu\text{m}$ 'ye, aynı alaşım için % 15 soğuk haddeleme ile 34  $\mu\text{m}$ 'ye düşürüldüğü bulunmuştur. Tane boyutunun azalmasıyla sertlik artışının olduğu ,sertlik artışında aşınma mekanizmasındaki sürtünme katsayısını azalttığını dile getirmişlerdir. Soğuk Haddelemenin Sürtünme kat sayısını azalttığı genel sonuç olarak çalışmada belirtmişlerdir.

5083 Al malzemesinin aşınma davranışı üzerine çalışmalar sınırlı sayıdadır. Özellikle Termomekanik işlem uygulanmış, yaşlandırma ısıl işlemi yapılmış 5083 alaşımının aşınma davranışıyla ilgili spesifik bir çalışma bulunmamaktadır. Bu proje 5083 Al malzemenin homojenleştirme, yaşlandırma ve Termomekanik işlemler sonucunda aşınma davranışını gösteren belge niteliğinde bir çalışmadır.

5083 Al malzemenin kuru Aşınma deneyi sonrası aşınma yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2 Şekil 4.23 de verilmiştir. EDX analizlerine odaklandığımızda bizim için önemli olan Mg miktarıdır. Mg miktarının artışı orada  $\beta$ -fazı (Al<sub>3</sub>Mg<sub>2</sub>) çökeltilerinin olduğunu gösterir. EDX analizlerine baktığımızda en düşük Mg miktarının Homojenleştirilmiş malzemede olduğu, Semdede yapışma görülmüştür. Ağırlık kaybı sonuçlarında da en düşükağırlık kaybı homojenleştirilmiş

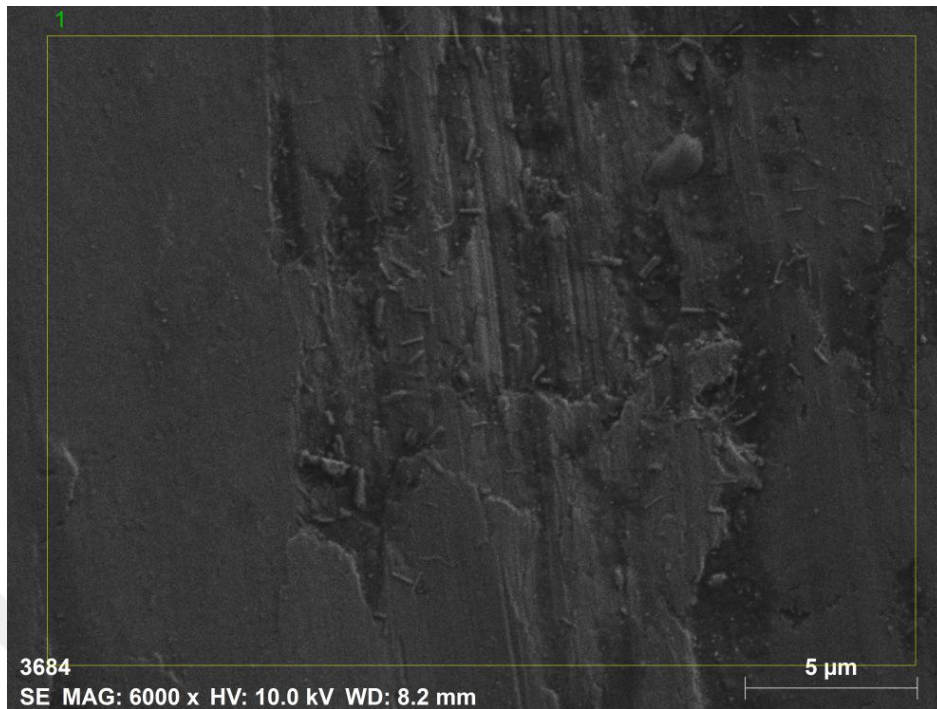
5083 Al alaşımında görülmüştür. Yaşlandırılmış numunenin EDX sonuçlarında Mg oranı homojenleştirilmiş numuneden daha fazladır. Bu da aşınma direncinin daha zayıf olduğuna göstermektedir. Daha önceki yapılan çalışmalarda Soğuk deformasyonun aşınma direncini zayıflattığını dilegetirmişlerdir. Termomekanik işlem 1 ve Termomekanik işlem 2 nin en zayıf direnci göstermesi gerekirken, Termomekanik işlem 1 yaşlandırılmış numuneden daha iyi aşınma direnci sergilemiştir. Bu durumun yapısında bulunan Mg oranının Yaşlandırılmış numuneden daha az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Termomekanik işlem 2 nin en zayıf aşınma direncini göstermesi ,yapıda çökelen B fazının ve soğuk deformasyonun etkisinden dolayı olduğu söylenebilir



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	34.65	38.03	51.03	4.34
Mg	12	K-series	2.58	2.83	2.50	0.17
Al	13	K-series	52.45	57.57	45.80	2.39
Si	14	K-series	0.15	0.17	0.13	0.04
Mn	25	K-series	0.40	0.44	0.17	0.09
Fe	26	K-series	0.88	0.96	0.37	0.16
Total:			91.10	100.00	100.00	

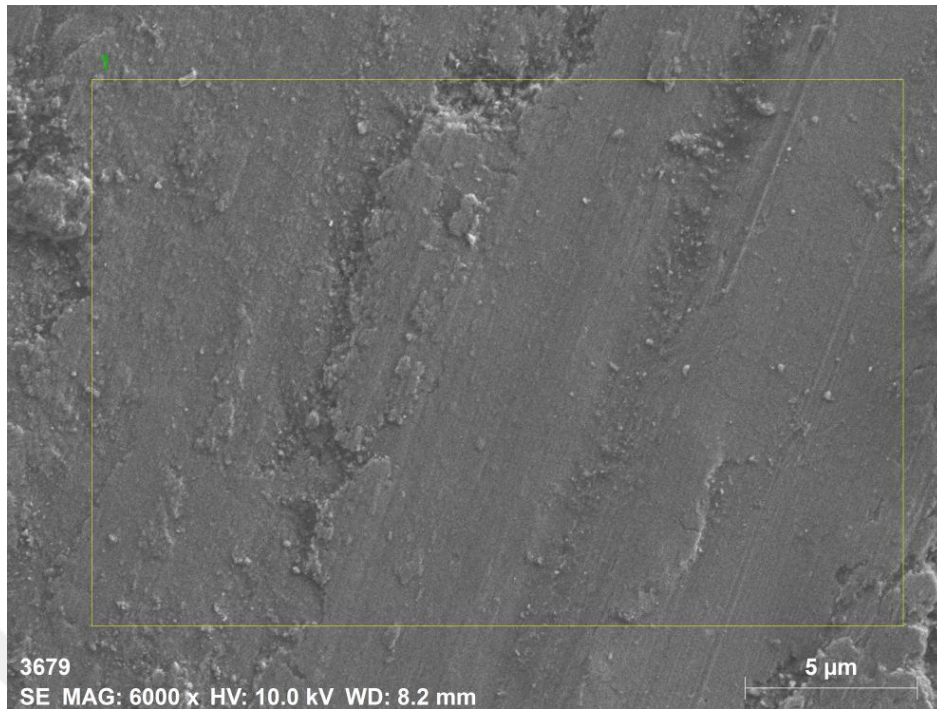
(A)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	35.33	33.08	45.34	4.53
Mg	12	K-series	3.98	3.72	3.36	0.24
Al	13	K-series	66.49	62.25	50.59	3.02
Si	14	K-series	0.94	0.88	0.69	0.09
Mn	25	K-series	0.03	0.02	0.01	0.04
Fe	26	K-series	0.04	0.04	0.01	0.05
Total:			106.80	100.00	100.00	

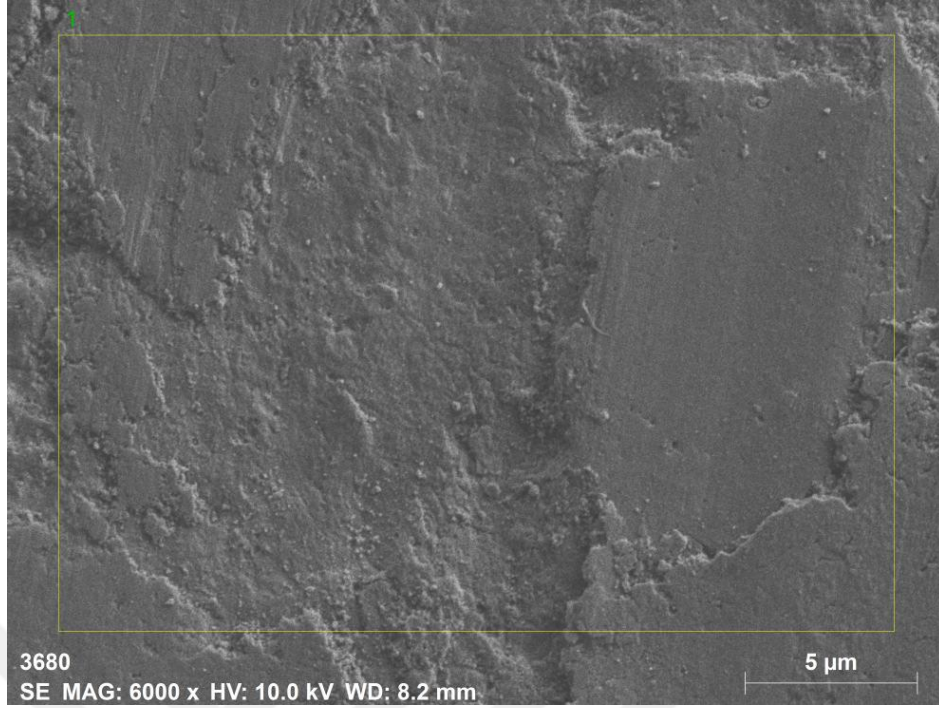
(B)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	40.34	40.98	53.82	4.94
Mg	12	K-series	2.79	2.83	2.45	0.18
Al	13	K-series	54.84	55.71	43.38	2.49
Si	14	K-series	0.47	0.47	0.35	0.06
Mn	25	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			98.42	100.00	100.00	

(C)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	46.15	42.91	55.88	5.56
Mg	12	K-series	3.03	2.82	2.41	0.19
Al	13	K-series	57.40	53.37	41.21	2.61
Si	14	K-series	0.43	0.40	0.30	0.06
Mn	25	K-series	0.29	0.27	0.10	0.08
Fe	26	K-series	0.25	0.23	0.09	0.09
Total:			107.55	100.00	100.00	

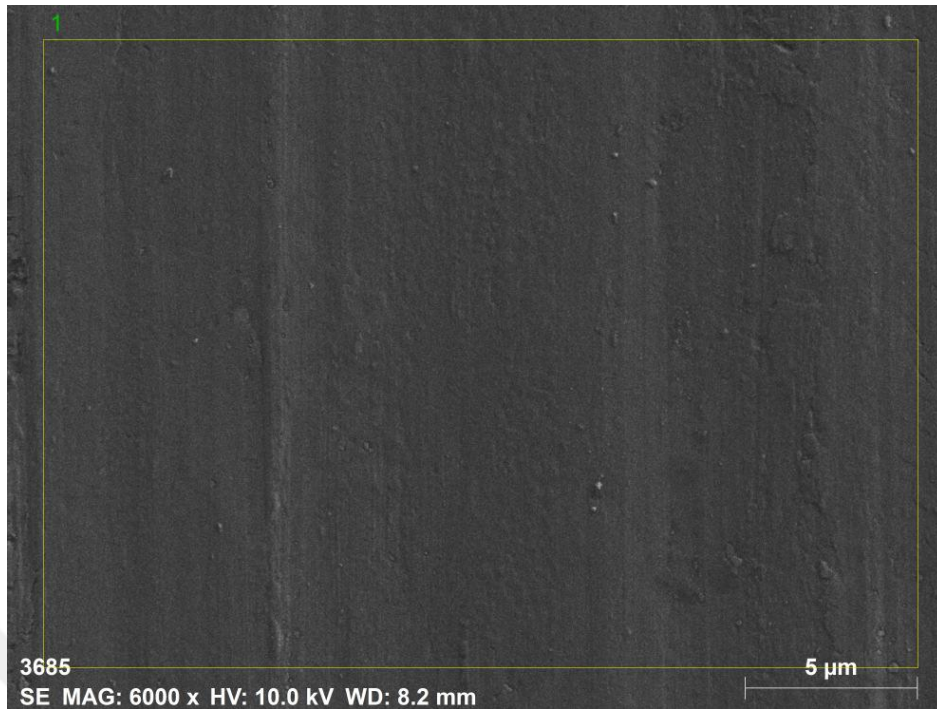
(D)

Şekil 4.23. 5083 Al malzemenin kuru Aşınma deneyi sonrası aşınma yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.

5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2 Şekil 4.24 de verilmiştir. 5083 Al-Bi malzemesinde aşınma direncini yorumlarken %1,2 Bizmut ilavesinin etkisi unutulmalıdır. Bizmutun 5083 Al alaşımına eklenmesiyle yapıdaki fazlara bağlı olarak, yapıdaki fazların olumsuz özelliklerini iyileştirdiğini daha önce bahsetmiştik. Kuru aşınma sonrası SEM ve EDX analizlerini Mg ve Bizmut

elementinin % olarak yapıda ne kadar bulunduğunu dikkate almak gerekir. Homojenleştirilmiş malzemenin EDX analizlerinde Mg içeriğinin fazla olmasının yanında en fazla Bizmut element içeriğine sahip malzemeninde bu olması, Bu malzemenin aşınma davranışının yaşlandırılmış ve Termomekanik işlem uygulanmış malzemelerden daha iyi olduğunu düşündürmektedir. Sem görüntüsüne baktığımızda en az aşınmanın homojenleştirilmiş numunede olması sanrımızı doğrular niteliktedir. Yaşlandırılmış, Termomekanik1 ve Termomekanik 2 uygulanmış numunelerin EDX analizlerinde Bizmut %0 dır. Mg yüzdelerine sıraladığımızda en fazla an en aza TB2 >YB>TB1 dir. Ağırlık kaybı sonuçlarına göre Sıraladığımızda aynı sıralamayı bulmamız, doğru bir tespit yakaladığımızın kanıtıdır.

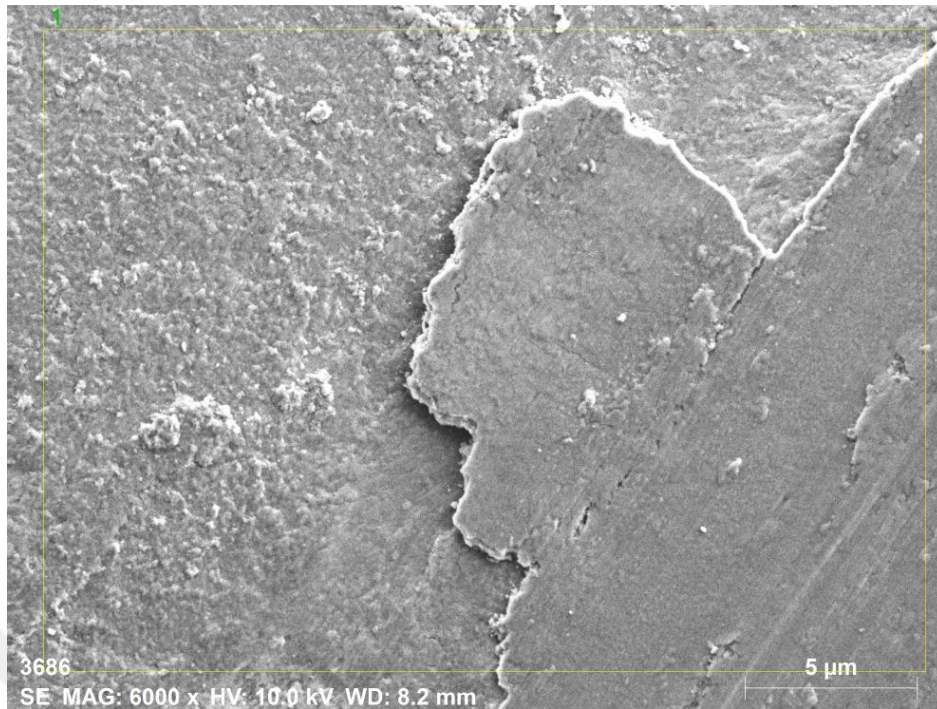
5083Al ile 5083 AL-Bi nin aşınma dirençlerini kendi arasında karşılaştırsak 5083 Al malzeme daha iyi aşınma direnci göstermiştir. Bizmutun EDX sonuçlarında görülmemesi dolayısıyla iyileştirici etkisinin olmaması, bu durumun açıklaması olabilir.



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	64.27	47.85	60.89	7.86
Mg	12	K-series	3.27	2.43	2.04	0.21
Al	13	K-series	64.92	48.33	36.47	2.95
Si	14	K-series	0.89	0.66	0.48	0.09
Mn	25	K-series	0.07	0.05	0.02	0.06
Fe	26	K-series	0.16	0.12	0.04	0.09
Bi	83	M-series	0.74	0.55	0.05	0.09
Total:			134.31	100.00	100.00	

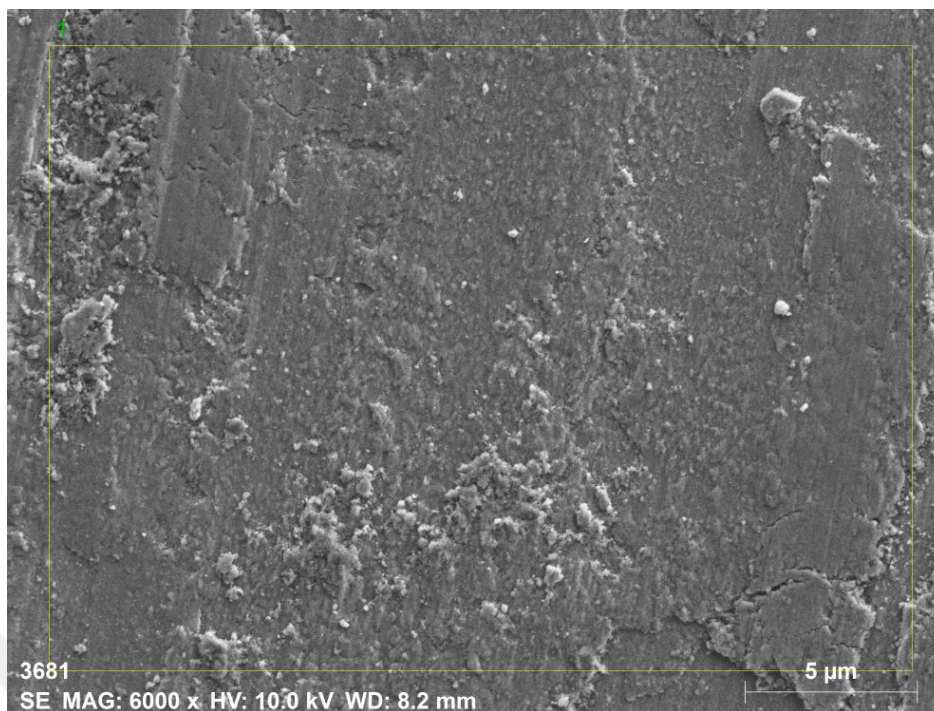
(A)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	39.62	39.32	52.26	4.70
Mg	12	K-series	2.22	2.20	1.93	0.15
Al	13	K-series	57.85	57.41	45.25	2.62
Si	14	K-series	0.43	0.42	0.32	0.05
Mn	25	K-series	0.21	0.21	0.08	0.06
Fe	26	K-series	0.43	0.42	0.16	0.10
Bi	83	M-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			100.76	100.00	100.00	

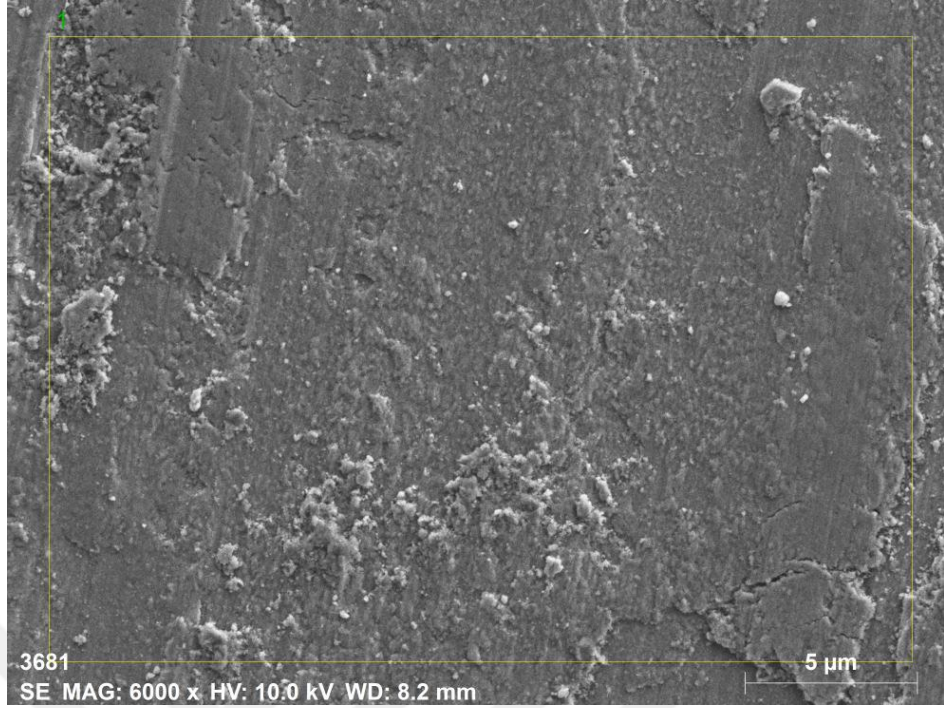
(B)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	40.63	41.68	54.65	4.84
Mg	12	K-series	1.88	1.93	1.67	0.13
Al	13	K-series	54.29	55.70	43.31	2.46
Si	14	K-series	0.30	0.31	0.23	0.05
Mn	25	K-series	0.19	0.20	0.07	0.06
Fe	26	K-series	0.17	0.17	0.07	0.07
Bi	83	M-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Total:			97.47	100.00	100.00	

(C)



Spectrum: 1

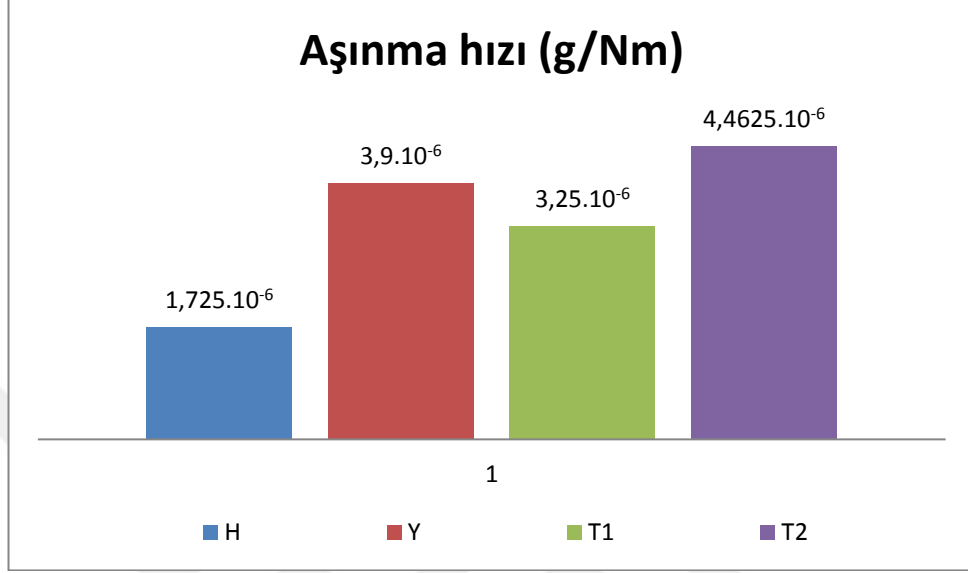
El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	34.39	32.65	44.95	4.23
Mg	12	K-series	2.39	2.27	2.06	0.16
Al	13	K-series	67.89	64.46	52.63	3.07
Si	14	K-series	0.46	0.44	0.34	0.06
Mn	25	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	26	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	83	M-series	0.20	0.19	0.02	0.05
Total:			105.32	100.00	100.00	

(D)

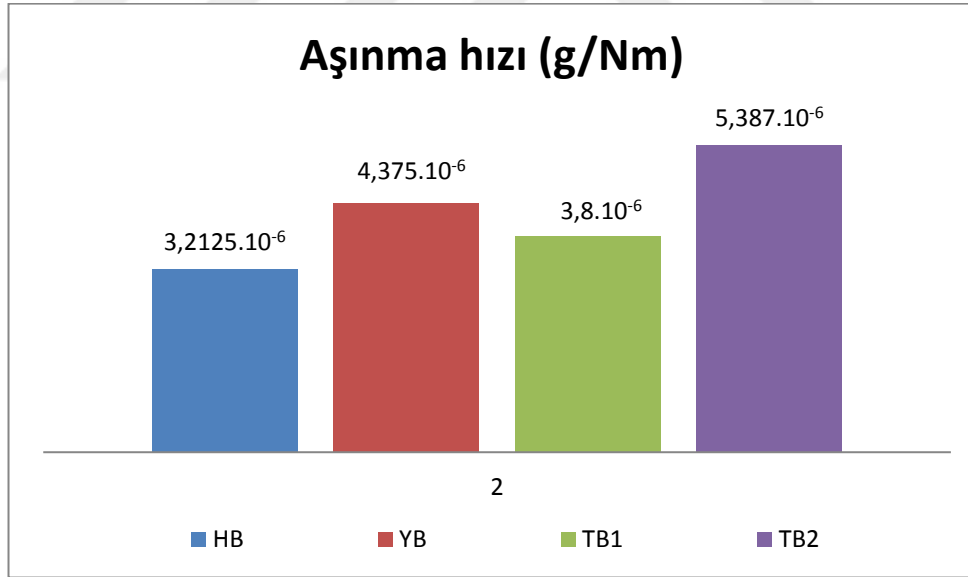
Şekil 4.24. 5083 Al-Bi alaşımının kuru aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX (A) homojenleştirilmiş (B) normal yaşlandırma (C) termomekanik işlem 1 (D) termomekanik işlem 2.

Kuru aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı aşınma hızları g/NM cinsinden hesaplanarak Şekil 4.25 de verilmiştir. 5083 Al aşınma hızlarına göre Termomekanik 2 işlem uygulanmış malzeme en hızlı aşınma hızına sahiptir. Aşınma hızı en düşük malzeme Homojenleştirilmiş malzemeye aittir. İşlem kademelerini aşınma hızlarına göre sıralarsak en düşükten en yükseğe; H<T1<Y<T2 şeklindedir. 5083 Al-Bi (Şekil

4.25 B) malzemesinde ise aşınma hızı en yüksek malzeme TB2 iken, en düşük aşınma hızına sahip HB malzemesidir. İşlem kademelerini aşınma hızlarına göre sıralarsak en düşükten en yükseğe; HB<TB1<YB<TB2 şeklindedir



(A)

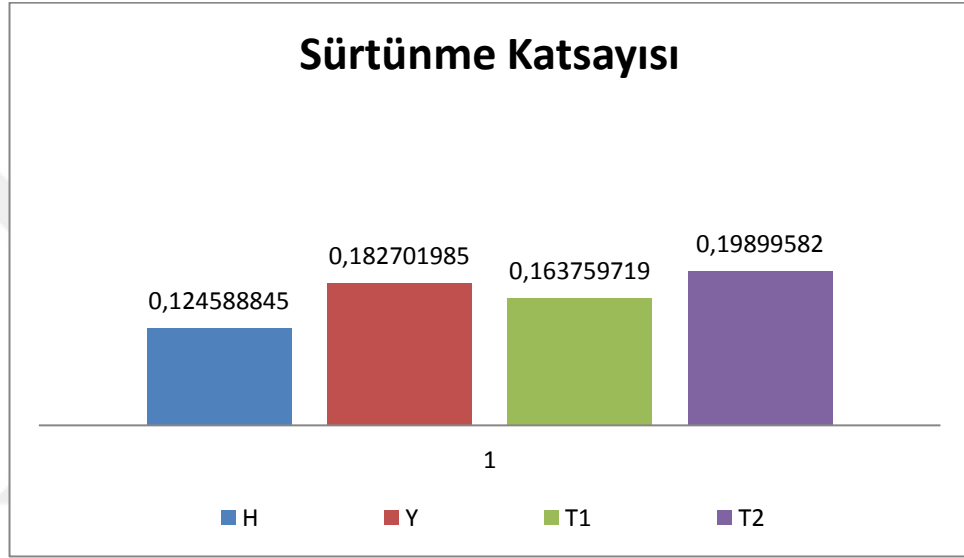


(B)

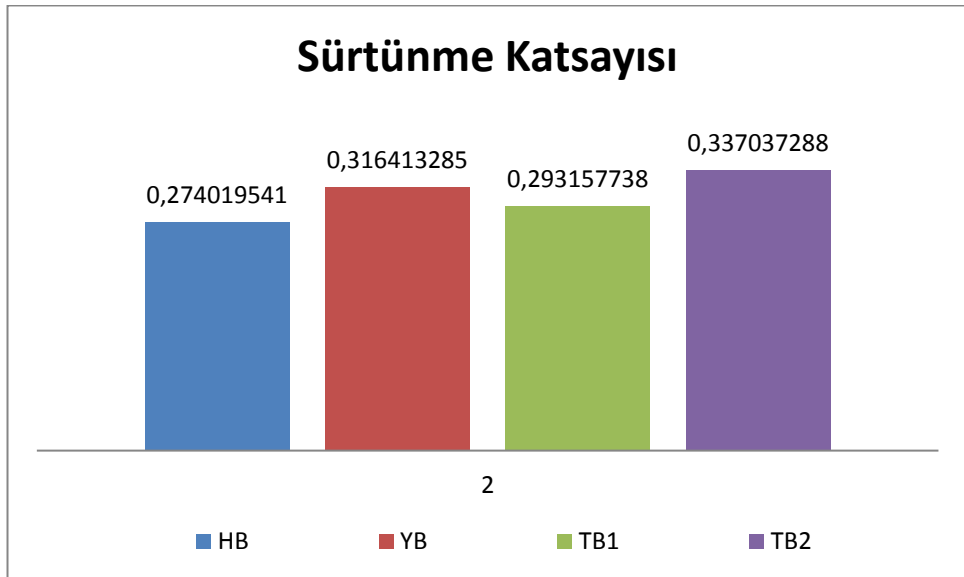
Şekil 4.25. Kuru aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı aşınma hızları (A)5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı.

Kuru Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A)5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı Şekil 4.26 de verilmiştir. Sürtünme katsayılarına göre en düşük sürtünme katsayısı 5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımlarının her ikisinde Homojenleştirilmiş Malzemede

görülürken, en yüksek sürtünme katsayısı ise yine her iki alaşım da Termomekanik işlem 2 malzemeleridir. 5083. Soğuk Haddelenenin sürtünme katsayısını düşürdüğü daha önceki yapılan çalışmalarda belirtilmiştir. Yaşlandırma işleminin sürtünme katsayısı her iki malzemedede de Termomekanik işlem 1 den daha yüksektir. Sonuç olarak Yaşlandırma işleminin ve Termomekanik işlemlerin Sürtünme katsayısını yükselttiğini, Homojenleştirilmiş malzemenin sürtünme katsayısının daha düşük olduğu sonucunu çıkartabiliriz.



(A)



(B)

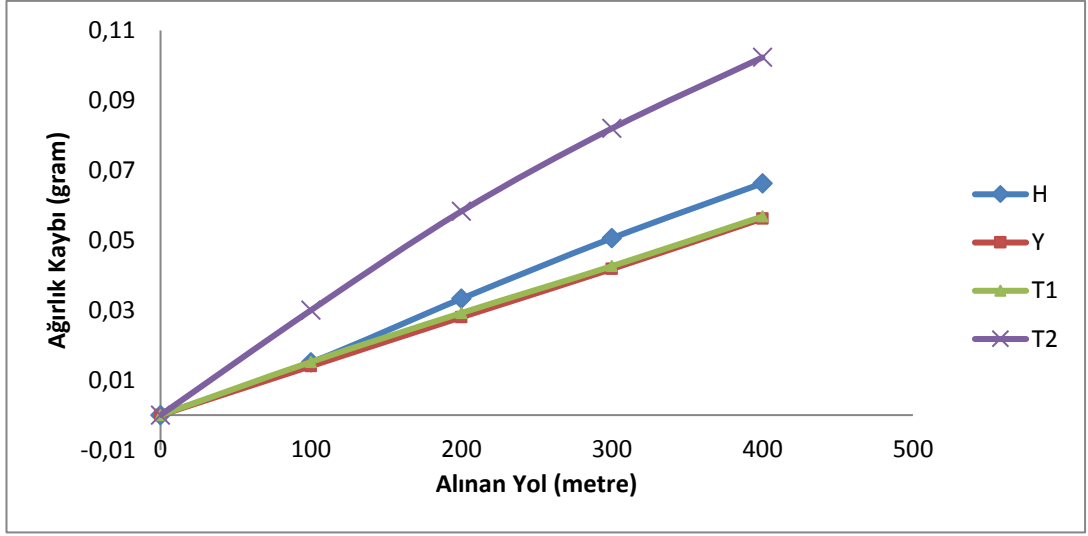
Şekil 4.26 Kuru Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A)5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı

#### 4.6.2. Korozif Aşınma Test Sonuçları

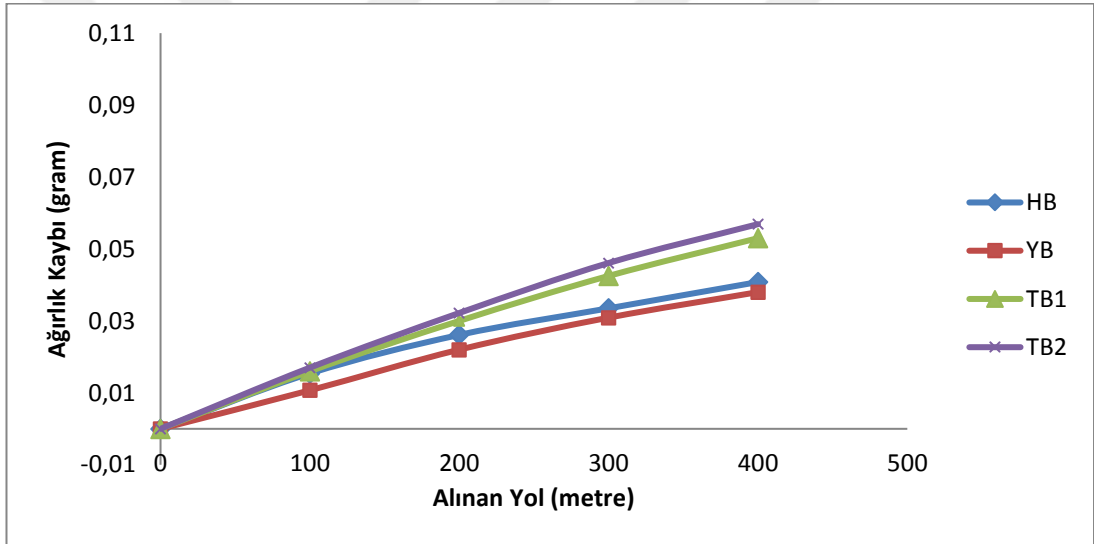
5083 Al ve 5083 Al-Bi alaşımlarının korozif aşınma testleri %3,5 NaCl çözelti içerisinde 20 N yük altında gerçekleştirilmiştir. Kayma mesafesine bağlı ağırlık kaybı değişim grafiği Şekil 4.27 de verilmiştir. 400 metre kayma mesafesi sonrasındaki ağırlık kaybı alınan yola ve uygulanan yüke oranlanarak aşınma hızı belirlenmiştir.

Korozif aşınma yüzeylerinden SEM de görüntü alınarak Çizelge 4.13 ve Çizelge 4.14 de 5083 Al ve 5083 Al Bi alaşımlarının korozif aşınma sonrası Sem görüntüleri verilmiştir. Şekil 4.28 –Şekil 4.29 da yüksek büyütmede elementel analiz yapılarak SEM görüntüleri verilmiştir. Aşınma hızı g/N.m biriminde olup incelenen malzemelerin aşınma hızları Şekil 4.30 de verilmiştir. 400 metre korozif aşınma sonundaki sürtünme katsayıları Şekil 4.31 de verilmiştir. Grafiğe göre en düşük ağırlık kaybı yaşlandırılmış 5083 Al alaşımında ,en fazla ağırlık kaybına ise Termomekanik işlem 2 kademesinde görülmektedir. Yaşlandırılmış malzemenin korozif aşınmada en az ağırlık kaybına uğraması, Daldırma sonuçlarıyla birebir uyum içindedir. %3,5 NaCl içinde Daldırma korozyon deneyi ve Korozif aşınmada en güçlü malzeme yaşlandırılmış 5083 Al ve 5083 Al-Bi malzemesi olmuştur. Grafiğe göre 5083 Al malzemenin ağırlık kayıplarını en azdan en fazla ağırlık kaybı gösterene doğru sıralarsak;  $Y < T1 < H < T2$  şeklindedir. 5083 Al-Bi malzemesinin ağırlık kayıplarını en azdan en fazla ağırlık kaybı gösterene doğru sıralarsak;  $YB < HB < TB1 < TB2$  şeklindedir.

50853 Al ve 5083 Al-Bi alaşımını korozif aşınmaya karşı gösterdikleri dirençleri kıyaslanırsa 5083 Al-Bi malzemesinin direnci daha iyidir. %1,2 Bizmut ilavesinin korozif aşınmaya iyileştirici etkisi olmuştur.



(A)

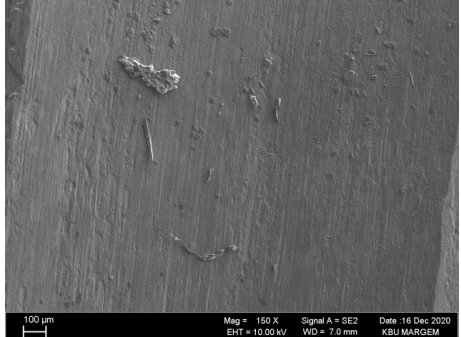
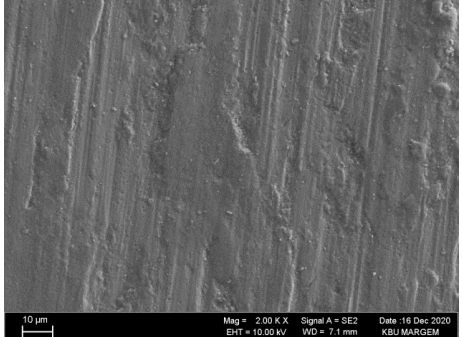
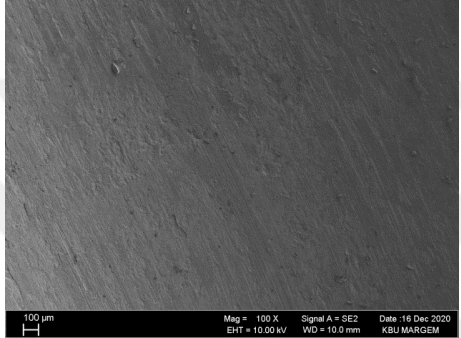
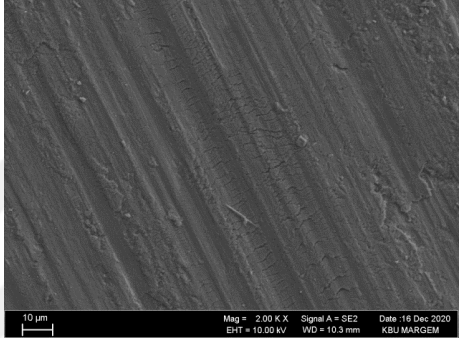
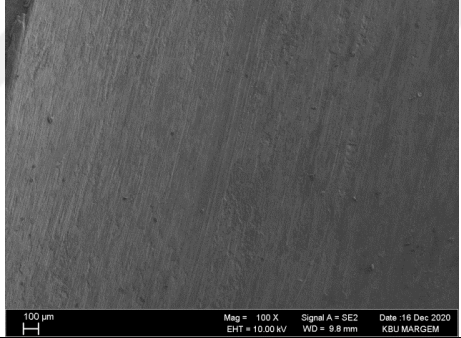
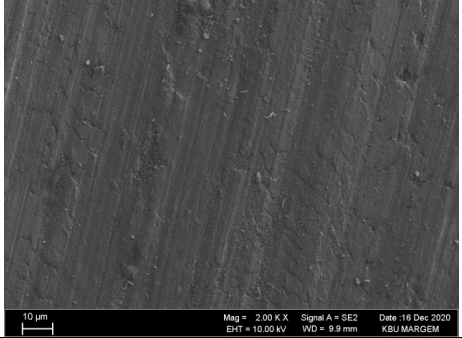

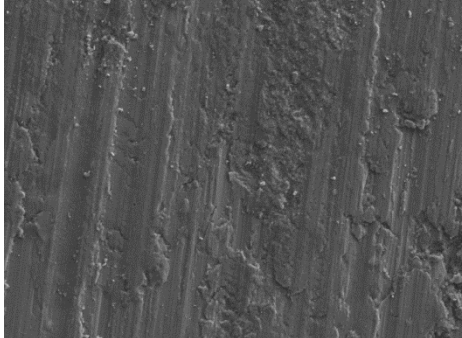


(B)

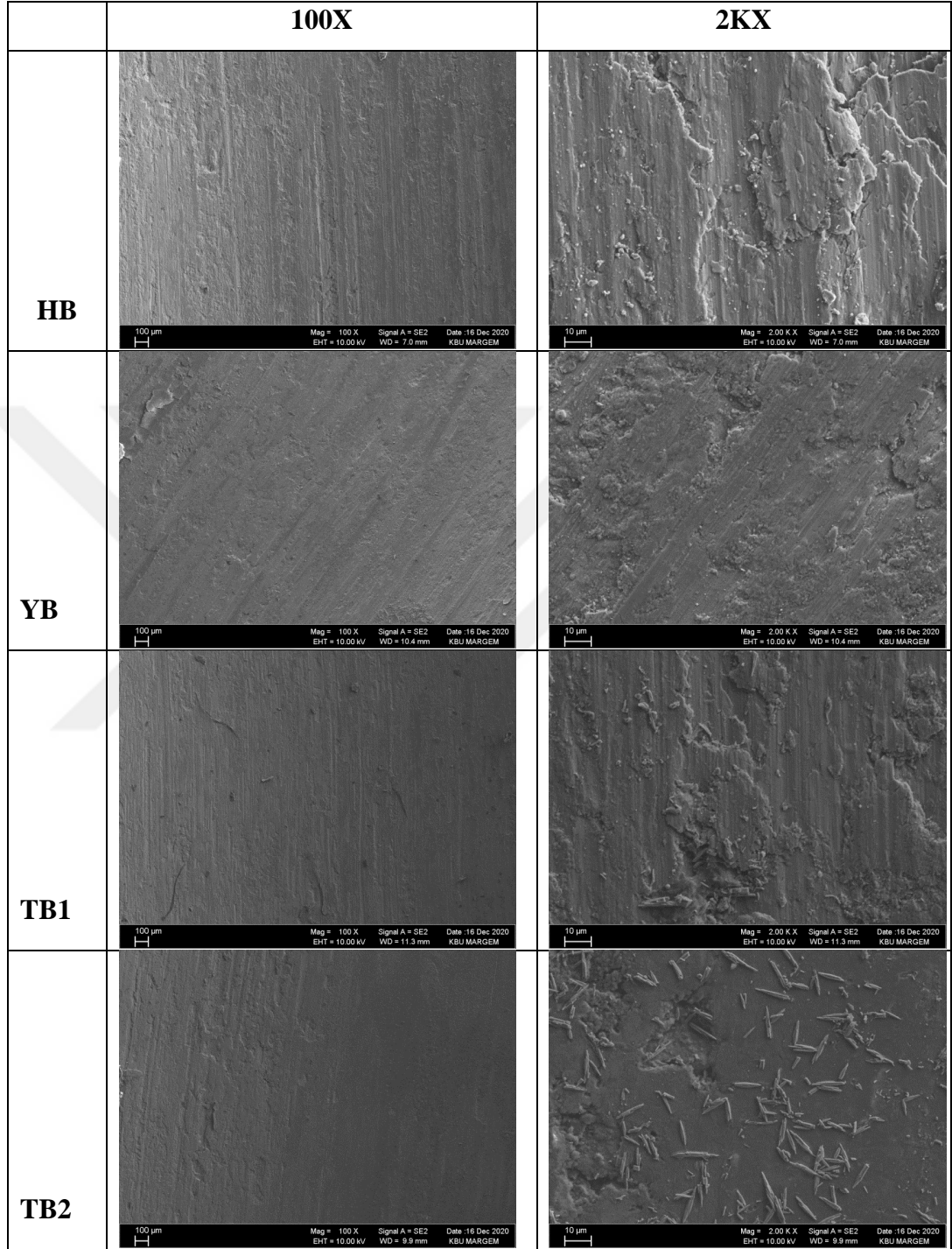
Şekil 4.27. Korozif aşınma deneyi sonrası ağırlık kayıpları (A) 5083 alaşımı, (B) 5083 Al-Bi alaşımı.

5083 alaşımının korozif aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri Çizelge 4.13 de verilmiştir. Sem görüntülerindeki aşınma yüzeylerinin görüntüleriyle ağırlık kaybı sonuçları birbirini tamamlamaktadır. En fazla aşınma T2, En az aşınma yüzeyi görüntüsü ise Y malzemesindedir. Çizelge 4.12 de verilen 5083 Al-Bi Alaşımının düşük ve yüksek büyütmedeki SEM görüntülerine bakıldığında en az aşınmagöstren malzeme yaşlandırılmış Malzeme, en fazla aşındırılmış yüzey görüntüsüne sahip Malzeme ise TB2dir.

Çizelge 4.13. 5083 alaşımının korozif aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.

	100X	2KX
H		
Y		
T1		
T2		

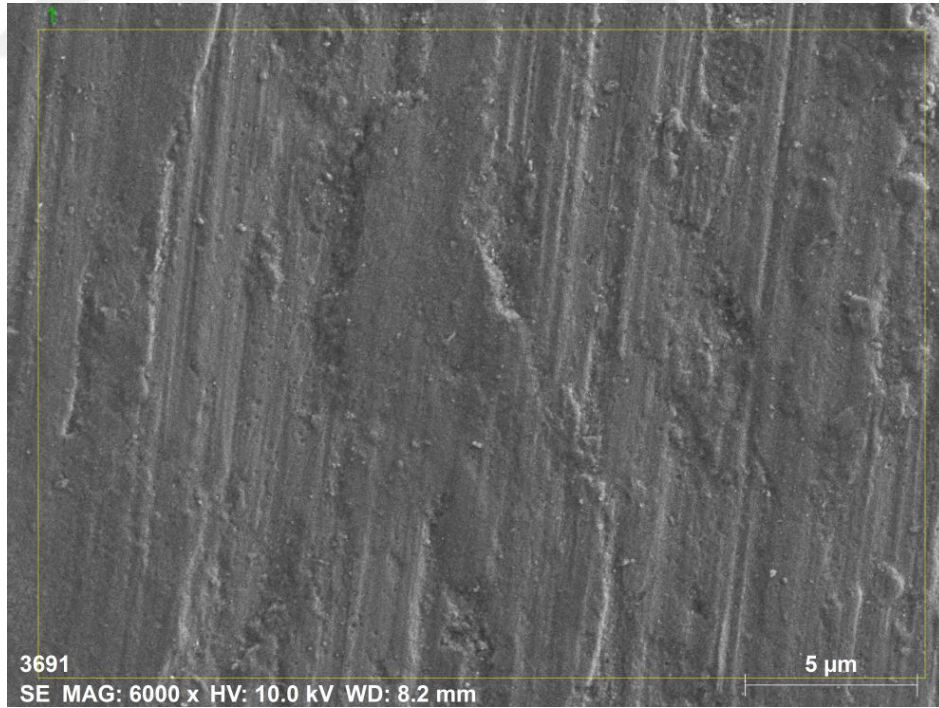
Çizelge 4.14. 5083 Al-Bi alaışımının korozif aşınma deneyi sonrası düşük ve yüksek büyütmede aşınma yüzeyi SEM görüntüleri.



5083 Al malzemenin korozif aşınma deneyi sonrası aşınma yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş, H (B) normal yaşlandırma, Y (C) termomekanik işlem 1, T1 (D) termomekanik işlem 2 T2 Şekil 4.28 de verilmiştir.

Korozif aşınmaya karşı en fazla direnç gösteren yaşlandırma numunesinin Şekil 4.11 (B) deki EDX analizlerine baktığımızda Mg oranının en düşük Mg oranına sahip olduğuna görmekteyiz. Düşük magnezyum oranı düşük B fazı çökelmeleri demektir. Çökeltilerin az olması, korozif aşınmaya karşı malzemeyi dirençli hale getirmiştir. En zayıf direnç gösteren T2 malzemesinin EDX analizlerinde ise düşük Mg rağmen Yüksek silis oranının varlığı  $Mg_2Si$  açısından zengin olduğunu bu yüzden korozif aşınmaya karşı direncinin düşük olduğunu söyleyebiliriz.  $Mg_2Si$  fazı korozyona karşı hassasiyeti artırmakta aşınmanın da etkisiyle parça kopması artarak ağırlık kaybı fazlaşmaktadır. EDX sonuçlarında ayırt edici Etken Mg yüzdesi ve Si yüzdesidir. Silis düşükse Mg yüksekse orada B fazı vardır. Olumsuz etkilerini malzeme üzerinde belirtmiştir. Silis yüksek Mg da belirgin seviyelerde ise  $Mg_2Si$  fazı vardır.  $Mg_2Si$  f azı korozyona karşı hassasiyeti artırmaktadır.

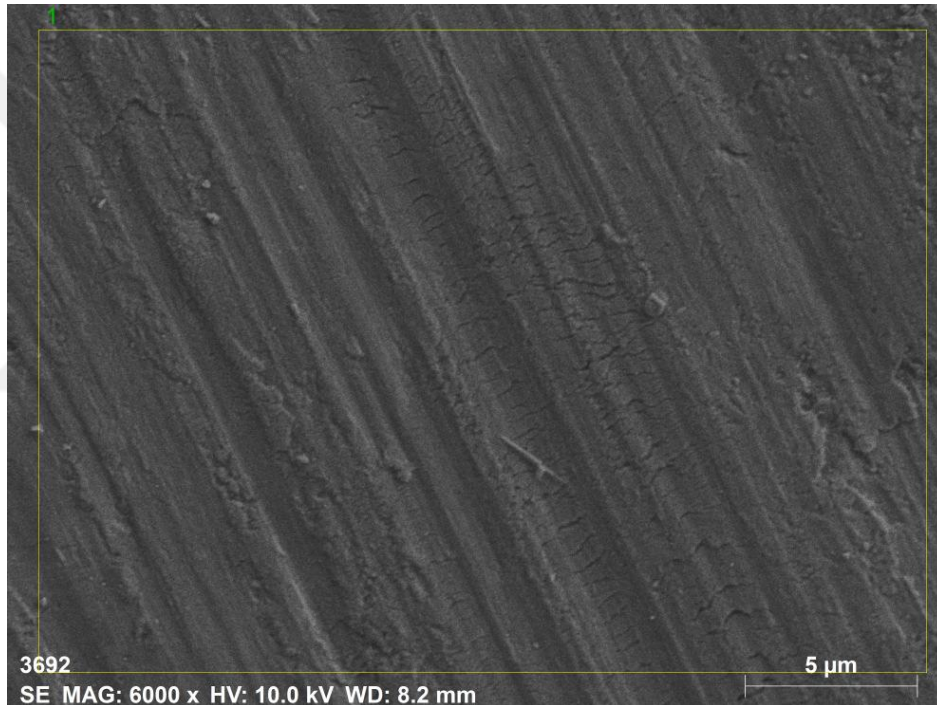
Şekil 4.29 de 5083 Al-Bi Alaşımının SEM görüntüleri ve EDX analizleri verilmiştir. 5083 Al malzemesi ile benzer sonuçlar görülmüştür.



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	26.64	29.25	41.10	3.65
Mg	12	K-series	3.21	3.52	3.26	0.21
Al	13	K-series	59.76	65.63	54.68	2.72
Si	14	K-series	0.73	0.80	0.64	0.08
Mn	25	K-series	0.12	0.13	0.05	0.07
Fe	26	K-series	0.61	0.67	0.27	0.16
Total:			91.06	100.00	100.00	

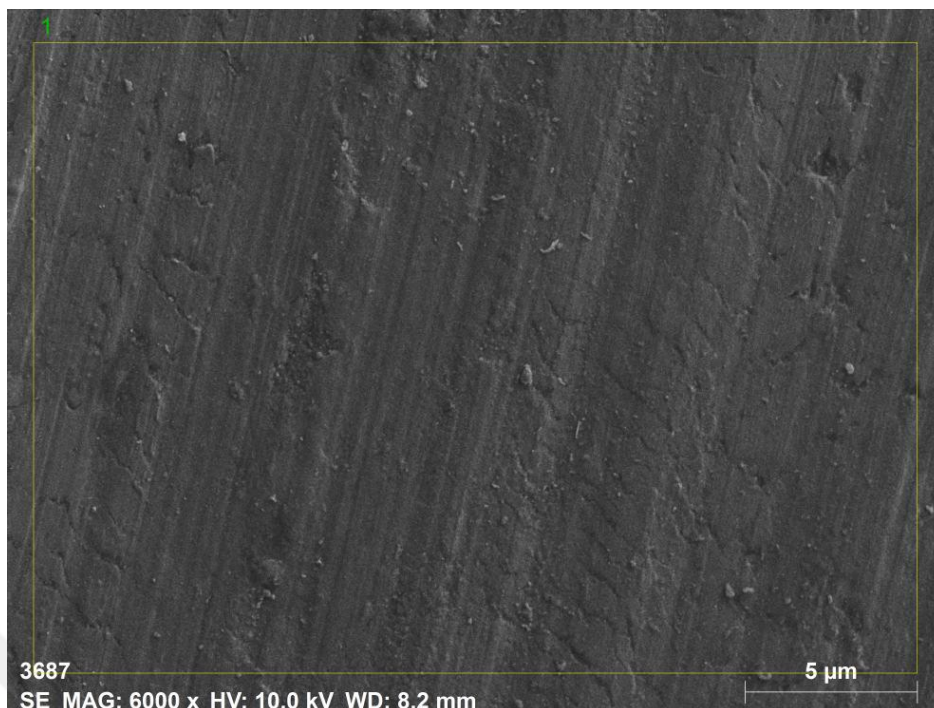
(A)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	62.18	52.70	65.26	7.61
Mg	12	K-series	2.66	2.26	1.84	0.18
Al	13	K-series	51.88	43.97	32.29	2.37
Si	14	K-series	0.75	0.64	0.45	0.08
Mn	25	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe	26	K-series	0.51	0.43	0.15	0.14
Total:			117.99	100.00	100.00	

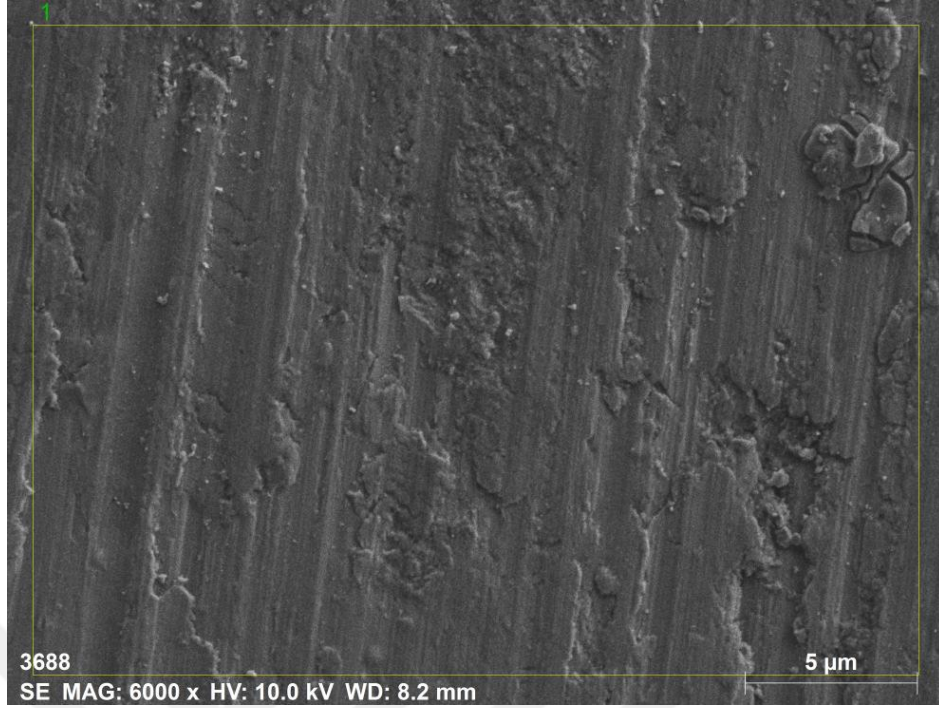
(B)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	28.87	28.47	40.50	3.75
Mg	12	K-series	2.30	2.27	2.12	0.16
Al	13	K-series	67.90	66.97	56.49	3.08
Si	14	K-series	0.83	0.82	0.66	0.08
Mn	25	K-series	0.21	0.21	0.09	0.08
Fe	26	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	83	M-series	1.28	1.26	0.14	0.10
Total:			101.38	100.00	100.00	

(C)

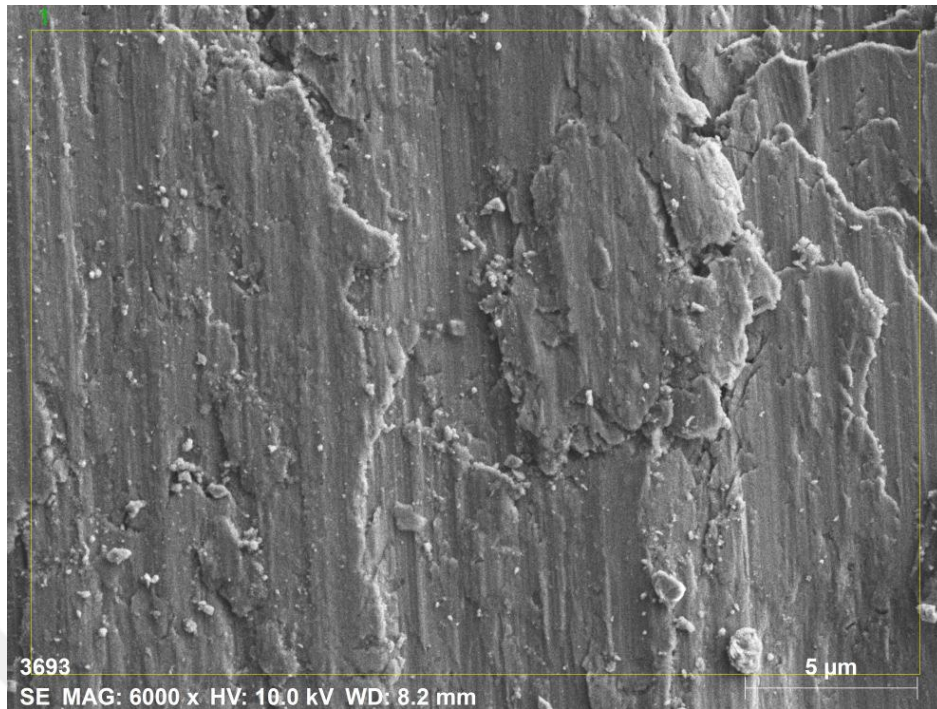


Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	50.32	56.96	69.29	6.12
Mg	12	K-series	1.61	1.82	1.46	0.12
Al	13	K-series	33.62	38.05	27.45	1.55
Si	14	K-series	2.07	2.34	1.62	0.13
Mn	25	K-series	0.00	0.00	0.00	0.03
Fe	26	K-series	0.36	0.40	0.14	0.11
Bi	83	M-series	0.37	0.42	0.04	0.06
Total:			88.34	100.00	100.00	

(D)

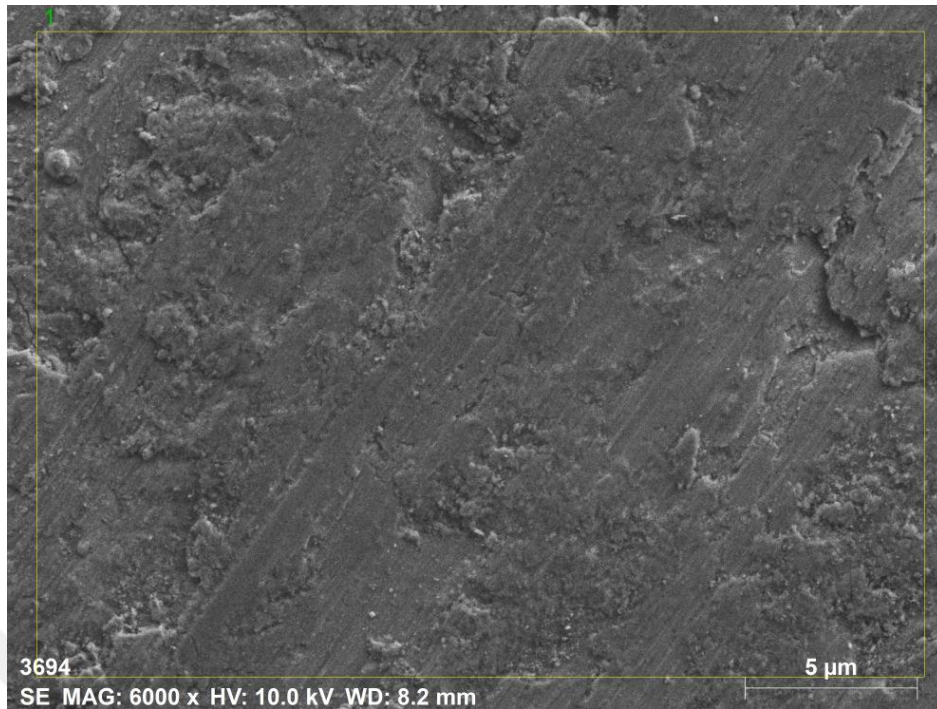
Şekil 4.28. 5083 Al malzemenin korozif aşınma deneyi sonrası aşınma yüzey Sem görüntüsü ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş,H (B) normal yaşlandırma,Y (C) termomekanik işlem 1,T1 (D) termomekanik işlem 2 T2.



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	10.04	11.85	18.49	1.56
Mg	12	K-series	2.35	2.78	2.85	0.16
Al	13	K-series	71.44	84.36	78.03	3.24
Si	14	K-series	0.35	0.42	0.37	0.06
Mn	25	K-series	0.46	0.54	0.25	0.10
Fe	26	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	83	M-series	0.04	0.05	0.01	0.04
Total:			84.69	100.00	100.00	

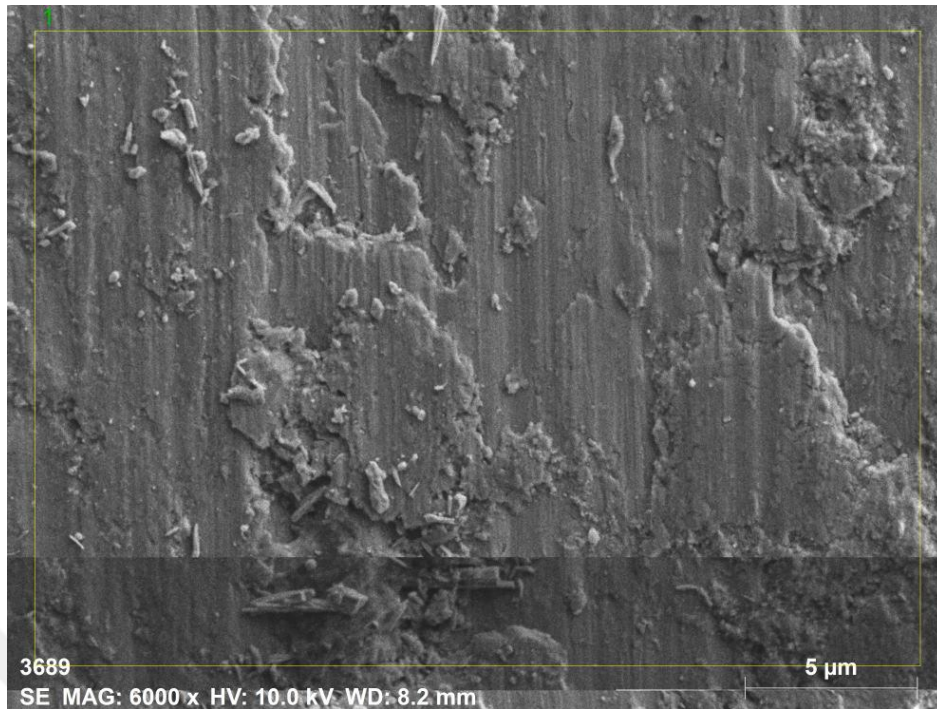
(A)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	36.16	34.62	47.54	4.57
Mg	12	K-series	1.93	1.85	1.67	0.14
Al	13	K-series	64.36	61.62	50.18	2.92
Si	14	K-series	0.47	0.45	0.35	0.06
Mn	25	K-series	0.24	0.23	0.09	0.08
Fe	26	K-series	0.09	0.09	0.04	0.07
Bi	83	M-series	1.19	1.14	0.12	0.10
Total:			104.45	100.00	100.00	

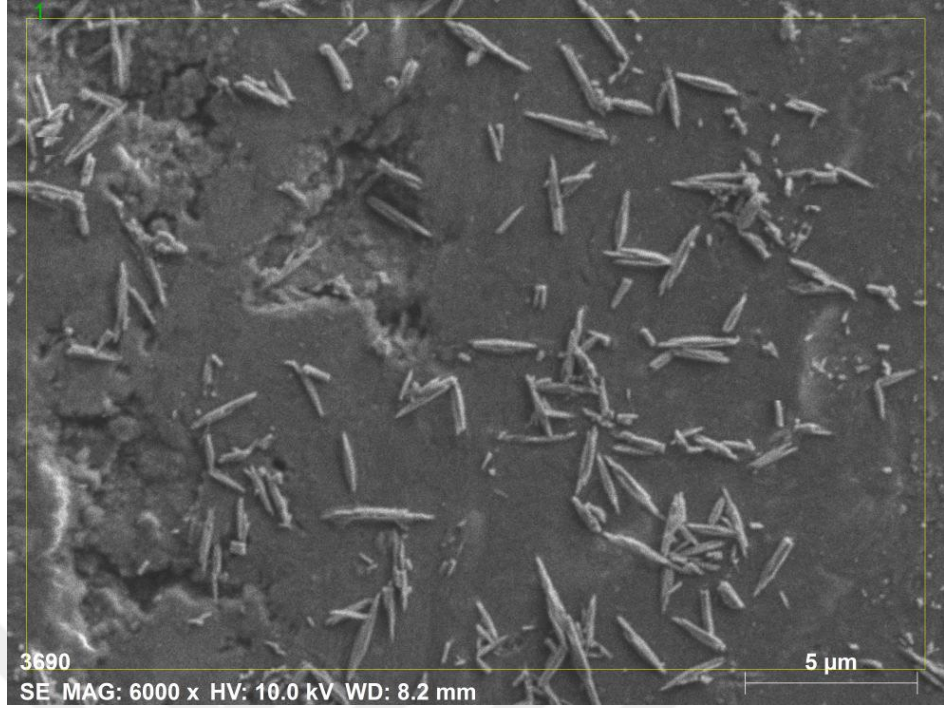
(B)



Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	28.87	28.47	40.50	3.75
Mg	12	K-series	2.30	2.27	2.12	0.16
Al	13	K-series	67.90	66.97	56.49	3.08
Si	14	K-series	0.83	0.82	0.66	0.08
Mn	25	K-series	0.21	0.21	0.09	0.08
Fe	26	K-series	0.00	0.00	0.00	0.00
Bi	83	M-series	1.28	1.26	0.14	0.10
Total:			101.38	100.00	100.00	

(C)



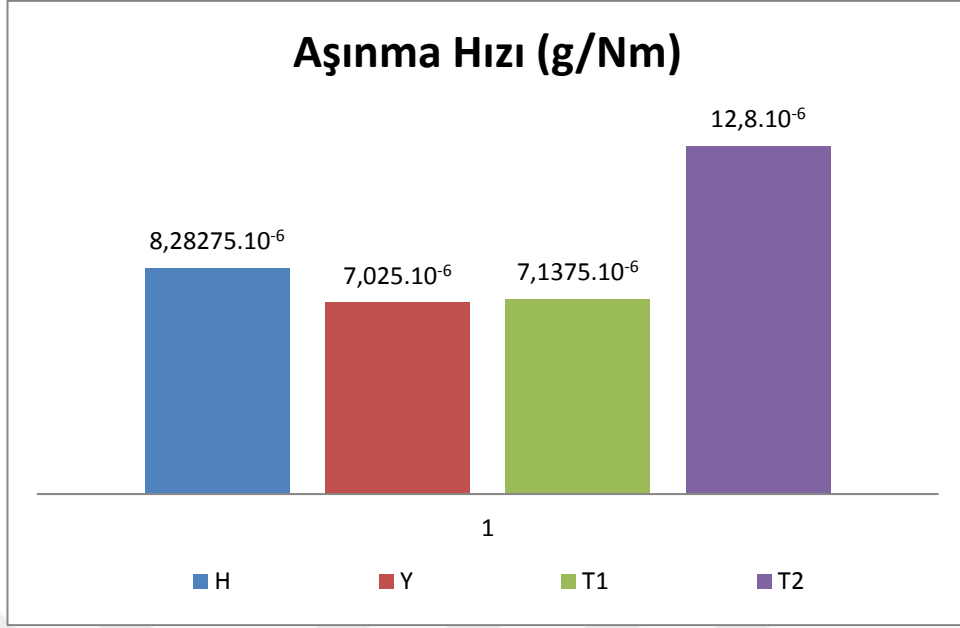
Spectrum: 1

El	AN	Series	unn. C [wt.%]	norm. C [wt.%]	Atom. C [at.%]	Error (1 Sigma) [wt.%]
O	8	K-series	50.32	56.96	69.29	6.12
Mg	12	K-series	1.61	1.82	1.46	0.12
Al	13	K-series	33.62	38.05	27.45	1.55
Si	14	K-series	2.07	2.34	1.62	0.13
Mn	25	K-series	0.00	0.00	0.00	0.03
Fe	26	K-series	0.36	0.40	0.14	0.11
Bi	83	M-series	0.37	0.42	0.04	0.06
Total:			88.34	100.00	100.00	

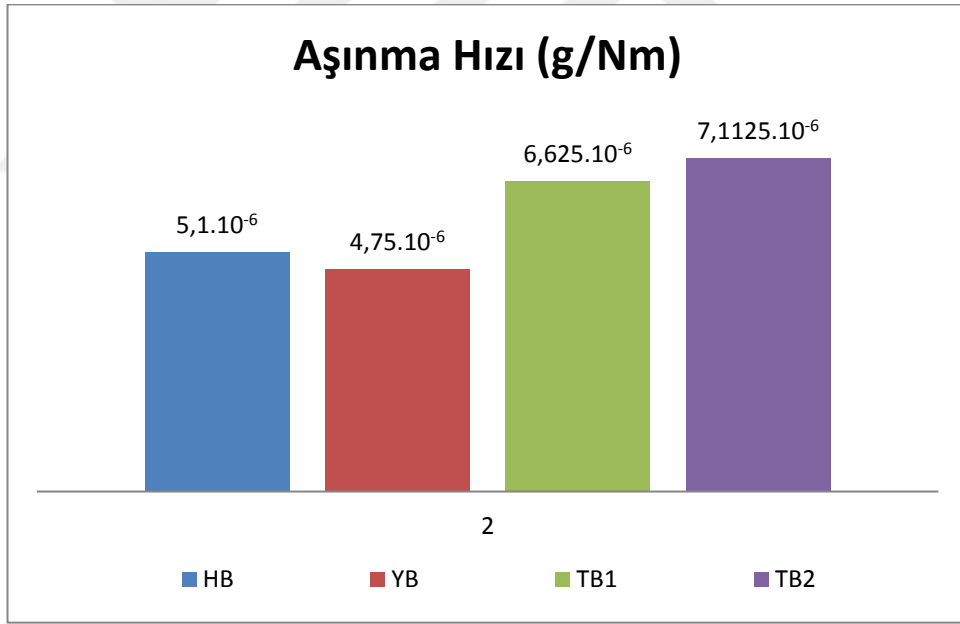
(D)

Şekil 4.29. 5083 Al-Bi alaşımının korozif aşınma deneyi sonrası aşınma yüzeyi SEM görüntüleri ve EDX analizleri (A) homojenleştirilmiş, HB (B) normal yaşlandırma, YB (C) termomekanik işlem 1, TB1 (D) termomekanik işlem 2, TB2.

Korozif aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı aşınma hızları (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı Şekil 4.30 da verilmiştir. Korozif aşınma hızını en yüksek den en düşüğe doğru sıralarsak 5083 Al malzemede  $T2 > H > T1 > Y$  şeklindedir. 5083 Al-Bi Malzeme için ise korozif aşınma hızını en yüksek den en düşüğe doğru  $TB2 > TB1 > HB > YB$  şeklinde olmaktadır.



(A)

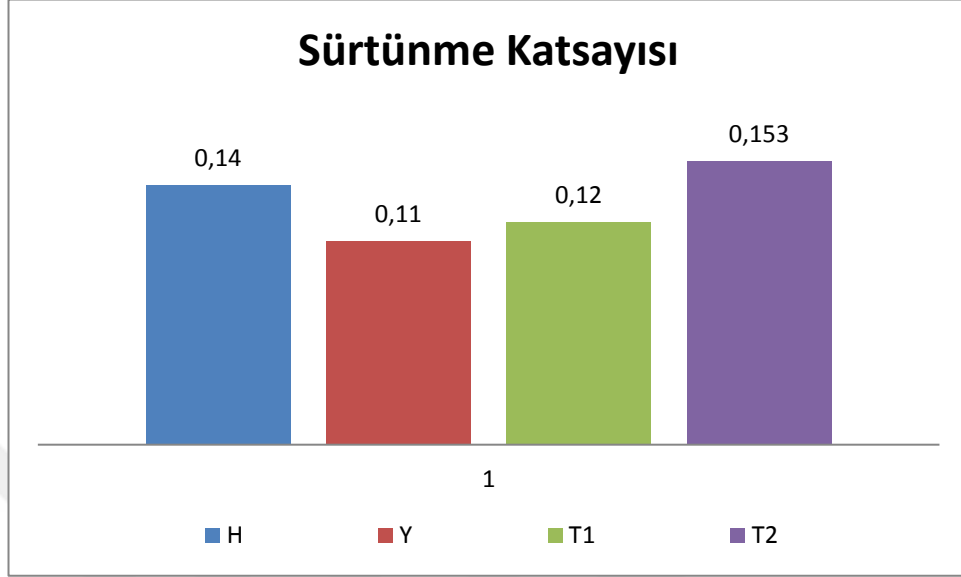


(B)

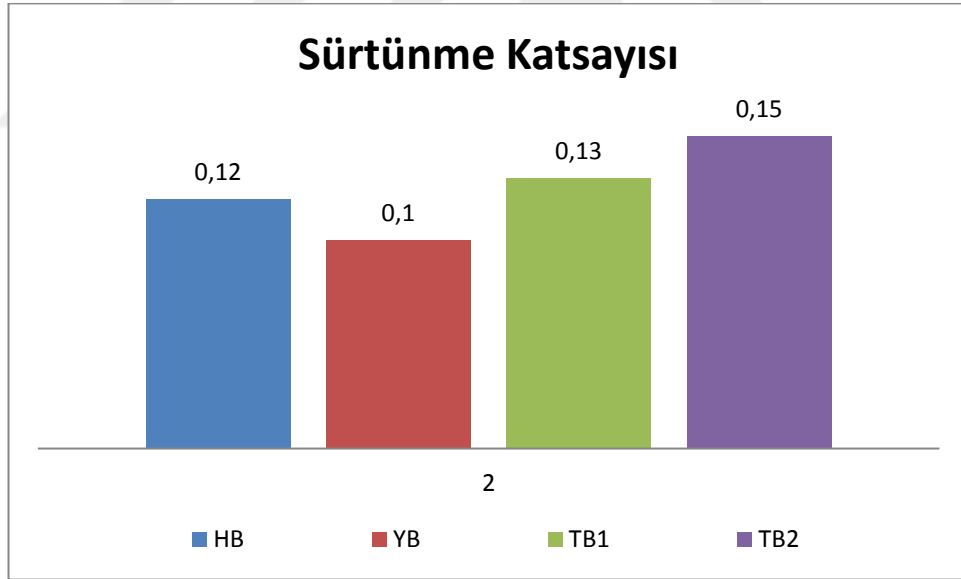
Şekil 4.30. Korozif aşınma sonrası ağırlık kayıplarına bağlı aşınma hızları (A) 5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı.

Korozif Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A)5083 alaşımı (B) 5083 Al-Bi alaşımı Şekil 4.31 da verilmiştir. Sürtünme katsayıları 5083 Al malzemedede en azdan

çoğa  $Y < T1 < H < T2$  şeklindedir. 5083 Al-Bi malzemesinde ise en azdan en çoğa sıralaması  $YB < HB < TB1 < TB2$  dir.



(A)



(B)

Şekil 4.31. Korozif Aşınma sonrası Sürtünme katsayıları (A) 5083 alaşımı, (B) 5083 Al-Bi alaşımı

## BÖLÜM 5

### GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada Mg oranı açısından zengin Al-Mg alaşım sistemlerinden 5083 Al Alaşımının ve Bizmut katkılı yeni tip 5083 Al-Bi alaşımının termomekanik işlem altındaki davranışları incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar;

- a) 5083 Al alaşımı ve 5083 Al-Bi alaşımı indüksiyon ark ocağında hatasız bir şekilde üretilmiştir.
- b) Bu çalışmada kullanılan 5083 Al alaşımları her ikisinde 150 C sıcaklıkta yaşlandırılmıştır. Yaşlandırma işlemi ile sertliklerinde artış, tuzlu sudaki korozyon deneylerinde ise korozyon direnci yüksek görülmüştür.
- c) Sertlik artışı her iki alaşımda da Termomekanik işlemler ile artmış, başlangıçtaki homojenleştirilmiş malzemenin sertliklerinin iki katı seviyelerine ulaşmıştır.
- d) Termomekanik işlemler ile tane sınırlarında yeniden kristalleşen yapılar görülmüştür. Bu yapılar malzemenin kuru ve korozif aşınma direncini düşürmüştür.
- e) Yeniden kristalleşen yapılar ve mikroyapıda görülen istenmeyen fazlar ( $Mg_2Si$ ,  $\beta$  fazı ( $Mg_2Al_3$ )) korozyona karşı hassasiyeti artırmış, Termomekanik işlem ile her iki malzemede korozyon direnci zayıflamıştır.
- f) Bizmut ilavesi 5083 Al içinde kurucu fazlara katılarak Mg oranının faz içerisinde hacim olarak daha az yer almasını sağlamış, Bu durumda

yenitip5083 Al-Bi malzemesini korozyon ve aşınma mekanizmalarına karşı daha güçlü hale getirmiştir.

g) 7-Termomekanik işlem her iki malzemedede sertlik artışı sağlamıştır fakat korozyona ve aşınmaya karşı alışı güçsüzleştirmiştir.



## KAYNAKLAR

1. Sielski, R. A., “Research needs in aluminum structure”, **Ships Offshore Struct**, 57-65 (2008).
2. Holroyd, N.H. and Scamans, G. M., “Environmental degradation of marine aluminum alloys—past, present, and future”, **Corrosion**,72: 136–143, European (2015).
3. Wahid, M. A., Siddiquee, A.N. and Khan, Z.A., “Aluminum alloys in marine construction: characteristics, application, and problems from a fabrication viewpoint”, **Mar. Syst. Ocean Technol.**, 15:70-80 (2020).
4. Chen, R.Y., Chu, H.Y., Lai, C.C. and Wu, C.T., “Effects of annealing temperature on the mechanical properties and sensitization of 5083-H116 aluminum alloy “, **Proc. IMEJ. Mater. Des. Appl.**, 229:339–346 (2015).
5. Free, C., Summers, P.T., Lattimer, B.Y. and Case, S.W.,” Mechanical Properties of 5000 Series Aluminum Alloys Following Fire Exposure”, **145 th Annual Meeting & Exhibition**, 657–664 (2016).
6. Lin, Y.K., Wang, S.H., Chen, R.Y., Hsieh, T.S., Tsai, L. and Chiang, C.C., “The effect of heat treatment on the sensitized corrosion of the 5383-H116 Al-Mg alloy”, **Materials**, 10: 275 (2017).
7. Tang, Z., Jiang, F., Long, M., Jiang, J., Liu, H. and Tong, M., “Effect of annealing temperature on microstructure, mechanical properties and corrosion behavior of Al- Mg-Mn-Sc-Zr alloy”, **Appl. Surf. Sci.**,146081 (2020).
8. A. B928/B928M-13, “Standard Specification for High Magnesium Aluminum-Alloy Sheet and Plate for for Marine Service and Similar Environments”, **ASTM Standard** ,(2013).
9. Zhang, R., Knight, S., Holtz, R., Goswami, R., Davies, C. and Birbilis, C., “A survey of sensitization in 5xxx series Aluminum alloys”, **Corrosion**, 72: 144–159 (2016).
10. Goswami, R., Spanos, G., Pao, P.S. and Holtz, R.L.,” Precipitation behavior of the  $\beta$  phase in Al-5083”, **Mater. Sci. Eng.**, 527:1089–1095 (2010).
11. Oguocha, I.N.A., Adigun, O. and Yannacopoulos, S., “Effect of sensitization heat treatment on properties of Al–Mg alloy AA5083-H116”, **J. Mater. Sci.**, 43:4208-4214 (2008).

12. Gupta, R.K., Zhang, R., Davies, C.H.J. and Birbilis, N., "Influence of Mg content on the sensitization and corrosion of Al-xMg(-Mn) alloys", **Corrosion**, 69: 1081–1087 (2013).
13. Ding, Y.S., Gao, K.Y., Lin, C.J., Wen, S.P., Huang, H., Wu, X.L., Nie, Z.R. and Zhou, D.J., "The effect of Mg content on intergranular corrosion of Al-Mg-Mn alloys after annealing", **Mater. Sci. Forum Trans. Tech. Publ**, 514–521 (2017).
14. Lim, M.L.C., Scully, J.R. and Kelly, R.G., "Intergranular corrosion penetration in an Al-Mg alloy as a function of electrochemical and metallurgical conditions", **Corrosion**, 69: 35–47 (2012).
15. Yan, J. and Hodge, A.M., "Study of  $\beta$  precipitation and layer structure formation in Al 5083: the role of dispersoids and grain boundaries", **J. Alloys Compd.**, 703:242–250 (2017).
16. Jain, S., Lim, M.L.C., Hudson, J.L. and Scully, J.R., "Spreading of intergranular corrosion on the surface of sensitized Al-4.4Mg alloys: a general finding", **Corrosion Sci.**, 59: 136–147 (2012).
17. Crane, C.B. and Gangloff, R.P., "Stress corrosion cracking of Al-Mg alloy 5083 sensitized at low temperature", **Corrosion**, 72: 221–241 (2016).
18. Gao, J. and Quesnel, D.J., "Enhancement of the stress corrosion sensitivity of AA5083 by heat treatment", **Metall. Mater. Trans.**, 42: 356–364 (2011).
19. Searles, J.L., Gouma, P.I. and Buchheit, R.G., "Stress corrosion cracking of sensitized AA5083 (Al-4.5Mg-1.0Mn)", **Metall. Mater. Trans.**, 32:2859–2867 (2001).
20. ASTM International, "Standard Test Method for Determining the Susceptibility to Intergranular Corrosion of 5XXX Series Aluminum Alloys by Mass Loss after Exposure to Nitric Acid (NAMLT Test)", **A.S.f. Testing** (2004).
21. Raghunathan, N., Zaidi, M.A. and Sheppard, T., "Recrystallization kinetics of Al-Mg alloys AA 5056 and AA 5083 after hot deformation", **Mater. Sci. Tech.**, 2: 938e945 (1986).
22. Sheppard, T. and Raghunathan, N. "Modification of cast structures in Al-Mg alloys by thermal treatments", **Mater. Sci. Tech.**, 5: 268e280 (1989).
23. Hollinshead, P.A., "Effect of preheat treatment on ingot structure and recrystallization of brass component of rolling texture in hot rolled AA 5182", **Mater.Sci. Tech.** 8: 57e62 (1992).

24. Engler, O., Heckelmann, I., Rickert, T., Hirsch, J. and Lücke, K., "Effect of pretreatment and texture on recovery and recrystallization in Al-4.5Mg-0.7Mn alloy", **Mater.Sci. Tech.**,10 :7711e781 (1994).
25. Radeti, T., Popovi M. and Romhanji, E., "Microstructure evolution of a modified AA5083 aluminum alloy during a multistage homogenization treatment", **Mater. Char.**, 65:16e27 (2012).
26. Engler, O., Liu Z. and Kuhnke, K., "Impact of homogenization on particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5454 e Experiment and simulation", **J. Alloys Comp.**, 560:111e122 (2013).
27. Vetrano, J.S., Lavender, C.A., Hamilton, C.H., Smith, M.T. and Bruemmer, S.M., "Superplastic behaviour in a commercial 5083-aluminum-alloy", **Scr. Metall.Mater.**, 30:565e570 (1994).
28. Iwasaki, H., Hosokawa, H., Mori, T., Tagata, T. and Higashi, K., "Quantitative assessment of superplastic deformation behavior in a commercial 5083 alloy", **Mater.Sci. Eng.** 252(A):199e202 (1998).
29. Cleveland R.M., Ghosh, A.K. and Bradley, J.R., "Comparison of superplastic behavior in two 5083 aluminum alloys", **Mater. Sci. Eng.** 351(A):228e236 (2003).
30. Alım, A., "B. Tavlama Sıcaklığı, Basınç ve Dış Manyetik Alanın Şekil Hafızalı Nanoalaşımın X-Işını Şiddet Oranları ve Valens Elektron Yapıları Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, **Atatürk Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum,30-40 (2017).
31. Alınak, M.O., "Malzemelerin Plastik ve Süperplastik Davranışlarında Bünye Denklemleri, Toz Metalürjisi Süper Alaşımı P/M Rene 95'in Sabit Dövme Sıcaklığındaki Deformasyonu ile Mikroyapısal Değişikliklerin Modellenmesi", Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (1990).
32. Tımaç, G., "Uçak endüstrisinde kullanılan alüminyum alaşımlarının TIG kaynak yöntemi ile kaynaklanabilirliğinin incelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, **Marmara üniversitesi**, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2006).
33. Yükler, G., "kişisel görüşme", **M.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi**, Hatay (2002).
34. Yeşilotah, N., "AA 3003 Alüminyum Alaşımlarında Tav Parametrelerinin Derin Çekilebilirliğe Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, **S. Demirel Üniversitesi**, FBE, Isparta 2001).
35. Rogers, R.W., Anderson, W.A., "Effect of Plastic Anisotropy of Drawing Characteristics of Aluminum Alloy Sheet Drawing", **Sheet Metal Forming**, (1985).

36. Şimşek, A.T., "Al-Mn Alüminyum Alaşımlarında İngot Homojenizasyonunun İşlenebilirlik ve Şekillendirilebilirliğe Etkileri", **II. Alüminyum Sanayi Kongresi Bildiri Kitabı**, 335-349-185-198 (1984).
37. Al Saadi, H. I. A., ve Tunay, R. F., "Suni Yaşlandırma İşleminin Alüminyum Alaşımının Sertliği Üzerine Etkisi". **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi**, 5/3:525–532 (2017).
38. Vargel, C., "Corrosion of Aluminium", **Elsevier**, 85–81(2004).
39. Rabinowicz E., "Friction and wear of materials", **John Wiley & Sons**, New York, 194 (1995).
40. Selim, Ö. ve Ergün, K., "Alüminyum silisyum alaşımların yüksek sıcaklık aşınma davranışlarının incelenmesi", **Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi** (2016).
41. Panagopoulos, C.N. and Georgiou, E.P., "Wear behaviour of 5083 wrought aluminium alloy under free corrosion conditions", **Tribol: Mater. Surf. Interf.**, 1:161–4 (2007).
42. Panagopoulos, C.N. and Georgiou E.P., "Surface mechanical behaviour of composite Ni-P-fly ash/zincate coated aluminium alloy", **Appl.Surf.Sci.**, 255: 6499–503 (2009).
43. Dieter, G.E., "Mechanical metallurgy", **McGraw-Hill**, London, 189–91(1988).
44. Callister, W.D., "Materials science and engineering an introduction", **Wiley**, New York, 163–5 (1998).
45. Kayalı, E.S., "Metallere Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları", **İTÜ Yayınları**, İstanbul (1991).
46. Novikov, İ.İ., "Metallerin Isıl İşlem Teorisi (1. Basımdan Çeviri)", Ankara: **Nobel Akademik Yayıncılık**, Ankara (2012).
47. Shan, D. and Zhen, L., "Aging Behavior and Microstructure Evolution in the Processing of Aluminum Alloys" (2012).
48. Li, Y. J., Zhang, W. Z, and Marthinsen, K., "Precipitation Crystallography of Plate-shaped Al<sub>6</sub>(Mn, Fe) Dispersoids in AA5182 alloy", **Acta Materialia**, 60: 5963-5974 (2012).
49. Olaf E. and Simon M., "Control of second-phase particles in the Al-Mg-Mn alloy AA 5083 Hydro Aluminium Rolled Products", Research and Development Bonn, **P.O. Box 2468**, D-53014, Germany (2001).
50. L.tan and Allen T.R., "Effect of thermomechanical treatment on the corrosion of AA5083 Engineering Physics", **University of Wisconsin**, 1500 Engineering

Drive, Madison, WI 53706, USA Received 13 July 2009, Accepted 7 October 2009, Available online 13 October (2009).

51. Palasantzas, G., "Electron beam induced oxidation of Al-Mg alloy surfaces", **Appl. Surf. Sci.**, 191:266-72 (2002).
52. Martinez, D. L. P. S., Verlinden, B. and Delaey, L., "Hot workability of an Al-Mg alloy AA5182 with 1 wt.% Cu", **J. Mater. Sci.**, 29:6167-74 (1994).
53. Liu, Y.L., Kang, S.B. and Kim, H.W., "The complex microstructures in an as-cast Al-Mg-Si alloy", **Mater Lett**, 41:267-72 (1999).
54. Mondolfo, L.F., "Aluminum alloys: structure and properties 1<sup>st</sup> ed", **Butter Worths**, London (1976).
55. Ahravci, C.A., ve Pekkülyüz, Ö., "Calculation of phase diagrams for the metastable Al-Fe phases forming in direct-chill (DC)-cast aluminum alloy ingots" **Calphad**, 22:147-55 (1998).
56. Murray, J.L., McAlister, A.J., Schaefer, R.J., Bendersky, L.A., Biancaniello, F.S., Moffat, D.L., "Stable and metastable phase equilibria in the Al-Mn system", **Metall Trans**, 18(A):385-92 (1987).
57. Reddy, T.V.S., Dwivedi, D. and Jain N.K., "Adhesive wear of stir cast hypereutectic Al-Si-Mg alloy under reciprocating sliding conditions", **Wear**, 266:1-5 (2009).
58. Nam, K.Y., Song, D.H., Lee, C.W., Lee, S.W., Park, Y.H. and Cho, K.M., "Modification of Mg<sub>2</sub>Si morphology in as-cast Mg-Al-Si alloys with strontium and antimony", **Mater. Sci. Forum**, 510(511):238-41 (2006).
59. Srinivasan, A., Pilla, U.T.S. and Pai, B.C., "Effects of elemental additions (Si and Sb) on the ageing behavior of AZ91 magnesium alloy", **Mater. Sci. Eng.**, 527(A) (24- 25):6543-50 (2010).
60. European Aluminum Association, "Aluminum in Commercial Vehicles", **Brussels Rev. 1.** ,44-49 (2011).
61. Sielski, R.A., "Research Needs in Aluminum Structure", **Ships Offshore Struct**, 3: 57-65 (2008).
62. Nuitable for Welded Structural Applications, "Aluminum Corporation of America", **New Kensington**, PA (1972).
63. Jones, R.H., Vetrano, J.S., and Buchheit, R. G., "Stress Corrosion Cracking of Al-Mg and Mg-Al Alloys", **Corrosion**, 60: 1144-1150 (2004).
64. Jones R.H., "Role of Mg in the Stress Corrosion Cracking of an Al-Mg Alloy", **Metallurgical and Materials Transactions A**, 32(A):1699-1711 (2001).

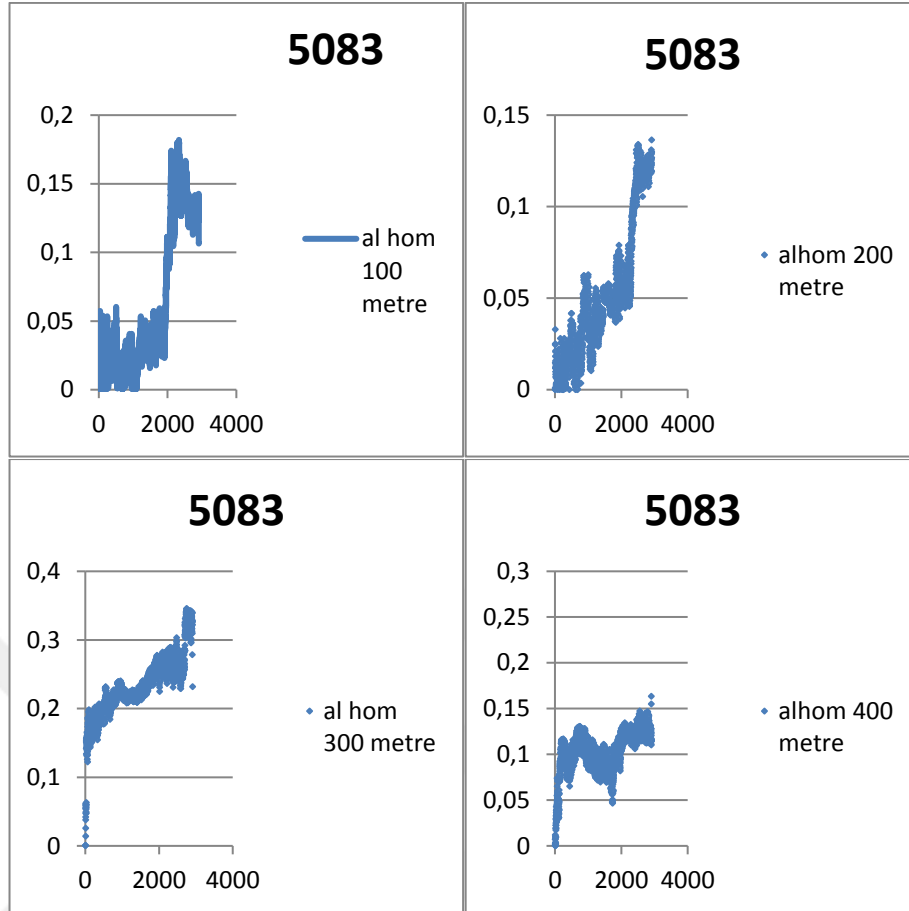
65. Starink, M.J., and Zahra, A.M., “Low-temperature Decomposition of Al-Mg Alloys: Guinier-Preston Zones and L12 Ordered Precipitates”, **Philosophical Magazine A**, 76:701-714 (1997).
66. Eikum, A., and Thomas, G., “Precipitation and Dislocation Nucleation in Quench-aged Al-Mg Alloys”, **Acta Metallurgica**,12:537-545 (1964).
67. Boucheur, M., Hamana, D., and Laout, T., “GP Zones and Precipitate Morphology in Aged Al-Mg Alloys”, **Philosophical Magazine A**, 73:1733-1740 (1996).
68. Searles J. L., Gouma P. I., and Buchheit R. G., “Stress Corrosion Cracking of Sensitized AA5083 (Al-4.5Mg-1.0Mn)”, **Metallurgical and Materials Transactions A**, 32:2859-2867 (2001).
69. Gaosong, Y., Weizhi, Z., Jonathan D. P., David, A., Cullenc, Zhifen, W. and Michael, L. F., “Characterizing and modeling the precipitation of Mg-rich phases in Al 5xxx alloys aged at low temperatures a Department of Metallurgical Engineering”, **University of Utah**, Salt Lake City, UT 84112, USA (2009).
70. Xia, S.L., Ma, M., Zhang, J.X., Wang, W.X. and Liu, W.C., “Effect of heating rate on the microstructure, texture and tensile properties of continuous cast AA5083 aluminum alloy Key Laboratory of Metastable Materials Science and Technology”, **College of Materials Science and Engineering Yanshan University**, Qinhuangdao (2014).
71. Safaa, A.S.A., Haider T. N., and Selman, T. A., “Study the Effect of Cold Rolling of Aluminum-Magnesium (5083) Alloys on the Erosion-Corrosion Test at the Impact Angles (30°, 90°) in River Water”, **Materials Engineering Dep., College of Engineering, and Physics Dep., College of Science, Basra University**, Iraq (2003).
72. Gehring, G.A. and Peterson, M.H., **Corrosion**,37 (4): 232 (1981).
73. Szklarska, Z., and Smialowska, **Corros. Sci.**, 41:1743 (1999).
74. Koroleva, E.V., Thompson, G.E., Hollrigl, G. and Bloeck, M., **Corros. Sci.**,41:1475 (1999).
75. Lucas, K.A. and Clarke, H., “Corrosion of Aluminum-Based Metal Matrix Composites”, **Research Studies Press Ltd.**, UK (1993).
76. Mizuno K., Nylund, A. and Olefjord, I., **Corros. Sci.** 43 :381 (2001).
77. Speidel, M.O., Hyatt, M.V., Fontana, M.G., Staehle R.W., “Advances in Corrosion Science and Technology”, **Plenum Press**, (New York, 1972).

78. Carroll, M.C., Gouma, P.I., Daehn, G.S., Mills, M.J., **Mater. Sci. Eng.** 319–321 (A): 425 (2001).
79. Carroll, M.C., Gouma, P.I., Daehn, G.S., Mills, M.J. and Dunbar, B.R., **Scripta Mater**, 42: 335 (2000).
80. Yi, G., Zeng, W., Poplawsky, J.D., Cullen, D.A., Wang, Z. and Free, M.L., “Characterizing and modeling the precipitation of Mg-rich phases in Al 5xxx alloys aged at low temperatures”, **J. Mater. Sci. Technol.**, 33: 991–1003 (2017).
81. Yan, J. and Hodge, A.M., “Study of  $\beta$  precipitation and layer structure formation in Al 5083: the role of dispersoids and grain boundaries”, **J. Alloys Compd.**, 703: 242–250 (2017).
82. Goswami, R., Spanos, G. and Pao, P.S., “Precipitation behavior of the  $\beta$  phase in Al-5083”, **Mater. Sci. Eng.**, 527(A) 1089–1095 (2010).
83. Scotto D'Antuono, D., Gaies, J. and Golumbskie, W., “Grain boundary misorientation dependence of  $\beta$  phase precipitation in an Al-Mg alloy”, **Scr. Mater.**, 76 :81–84 (2014).
84. Zhang, R., Gupta, R.K., Davies, C.H.J., Hodge, A.M., Tort, M., Xia, K. and Birbilis, N., “The influence of grain size and grain orientation on sensitisation in AA5083”, **Corrosion** ,72 :160–168 (2015).
85. Zhang, R., Gupta, R.K., Davies, C.H.J., Hodge, A.M., Tort, M., Xia, K. and Birbilis, N., “The influence of grain size and grain orientation on sensitization in AA5083”, **Corrosion**, 72: 160–168 (2015).
86. Reddy, T.V.S., Dwivedi, D., Jain, N.K., “Adhesive wear of stir cast hypereutectic Al–Si–Mg alloy under reciprocating sliding conditions”, **Wear**, 266:1–5 (2009).
87. Nam K.Y., Song D.H., Lee C.W., Lee S.W., Park Y.H. and Cho K.M., “Modification of Mg<sub>2</sub>Si morphology in as-cast Mg–Al–Si alloys with strontium and antimony”, **Mater. Sci. Forum.**, 510(511):238–41 (2006).
88. Srinivasan, A., Pilla, U.T.S. and Pai, B.C., “Effects of elemental additions (Si and Sb) on the ageing behavior of AZ91 magnesium alloy”, **Mater. Sci. Eng.**, 527(24–25):6543–50 (2010).
89. Kima, J.M., Park, B.K., Jun, J.H., Kim, K.T. and Jung, W.J., “Microstructure and properties of Mg–Al based casting alloys modified with minor alloying elements”, **Mater. Sci.**, 488–489(A):147–50 (2005).
90. Podosek, M.S. and Litynska, L., “Effect of yttrium on structure and mechanical properties of Mg alloys”, **Mater. Chem. Phys.**, 80(2):472–5 (2003).

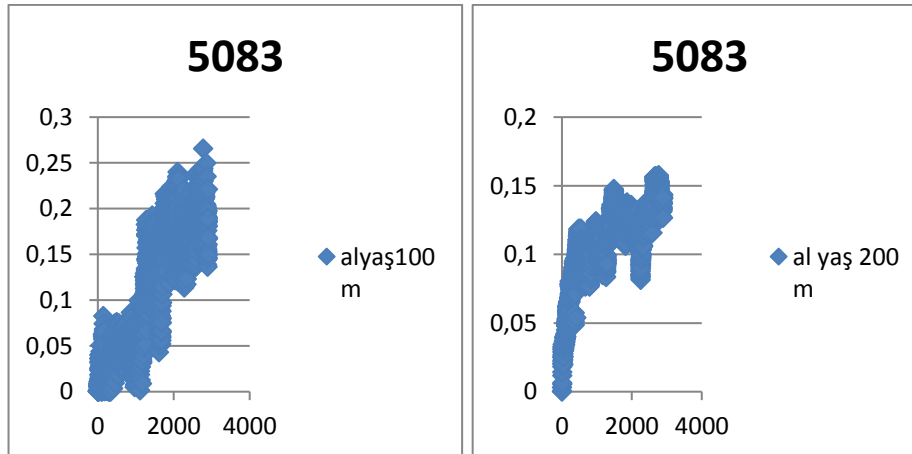
91. Zhao, H.L., Guan, S.K. and Zheng, F.Y., “Effects of Sr and B addition on microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy”, **Mater. Res. Soc.**, 22(9):2423–8 (2007).
92. Chung, Y.J, Park, J.L., Kim, N.J. and Shin, K.S., “Effects of alloying elements on mechanical properties of Mg–Al alloy”, **Mater. Sci. Forum.**, 488–489:845–8 (2005).
93. Feng, X., Xuegang, M. and Yangshan, S., “Microstructures and mechanical properties of AZ91 alloy with combined additions of Ca and Si”, **J. Mater. Sci.**, 41(15):4725–31 (2006)
94. Kurnaz, S.C., Sevik, H., Acikgoz, S. ve Ozel, A., “Influence of titanium and chromium addition on the microstructure and mechanical properties of squeeze cast Mg– 6Al alloy”, **J. Alloys. Compd.**, 509:3190–6 (2011)
95. Panagopoulos, C.N. and Georgiou, E.P., “Wear behaviour of 5083 wrought aluminium alloy under free corrosion conditions”, **Tribol: Mater. Surf. Interf.**, 1:161–4 (2007).
96. Chen. Z. and Thomson, P.F., “Friction against superplastic aluminium alloys”, **Wear**, 201:227–32 (1996).
97. Meyer-Rodenbeck, G., Hurd, T. and Ball, A., “On the abrasive–corrosive wear of aluminium alloys”, **Wear**, 154:305–17 (1992).
98. Nah, J.J., Kang, H.G., Huha, M.Y. and Engler, O., “Effect of strain states during cold rolling on the recrystallized grain size in an aluminium alloy”, **Scripta Mater**, 58:500–3 (2008).
99. Sezek, S. ve Aksakal, B., “Deformation and temperature behaviour during cold, warm and hot flat rolling of AA5454-O alloy”, **Mater. Des.**, 30:3450–9 (2009).

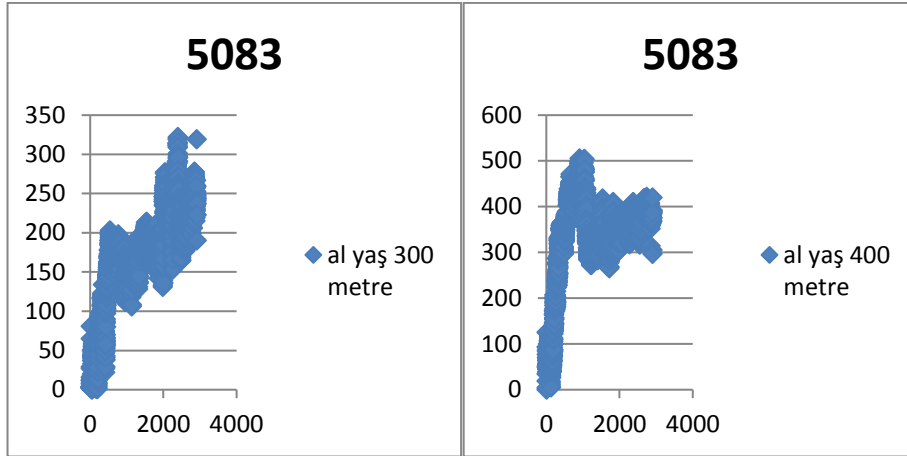
**EK AÇIKLAMALAR A.**

**5083 ALAŞIMININ KURU AŞINMA SONRASI (A)  
HOMOJENLEŞTİRİLMİŞ (B) YAŞLANDIRILMIŞ (C) TERMOMEKANİK  
İŞLEM 1 (D) TERMOMEKANİK İŞLEM 2 NİN HER 100 METRE  
MESAFEDEKİ SÜRTÜNME KATSAYI GRAFİKLERİ**

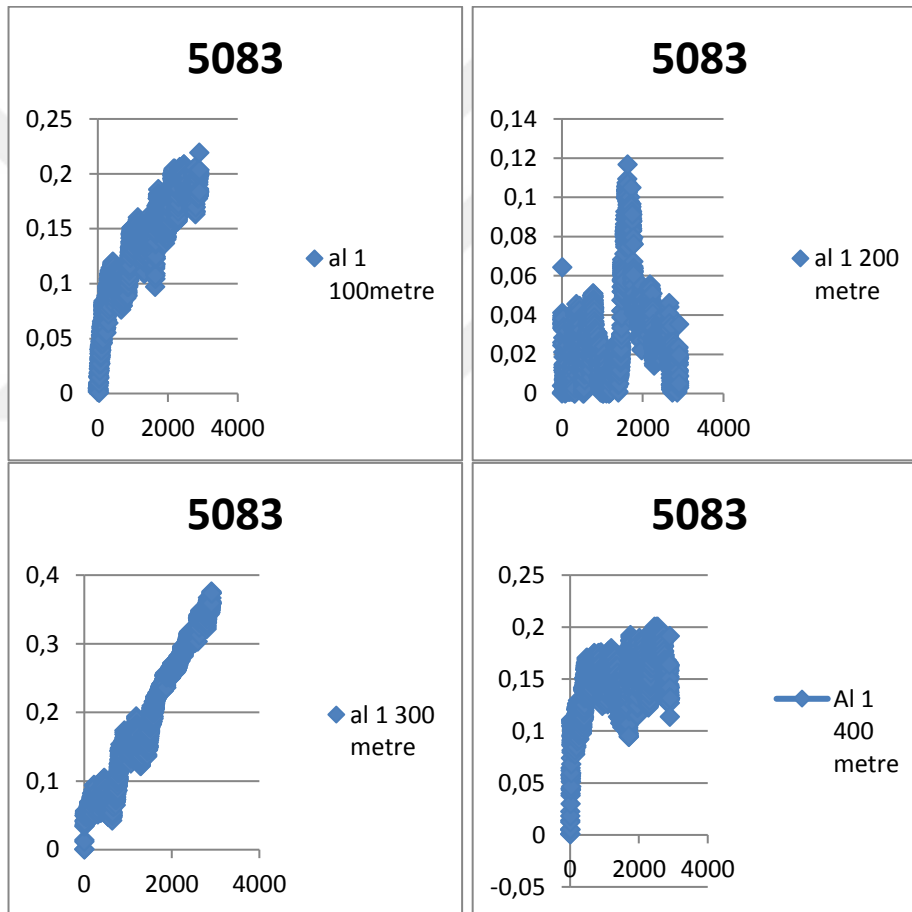


(A)

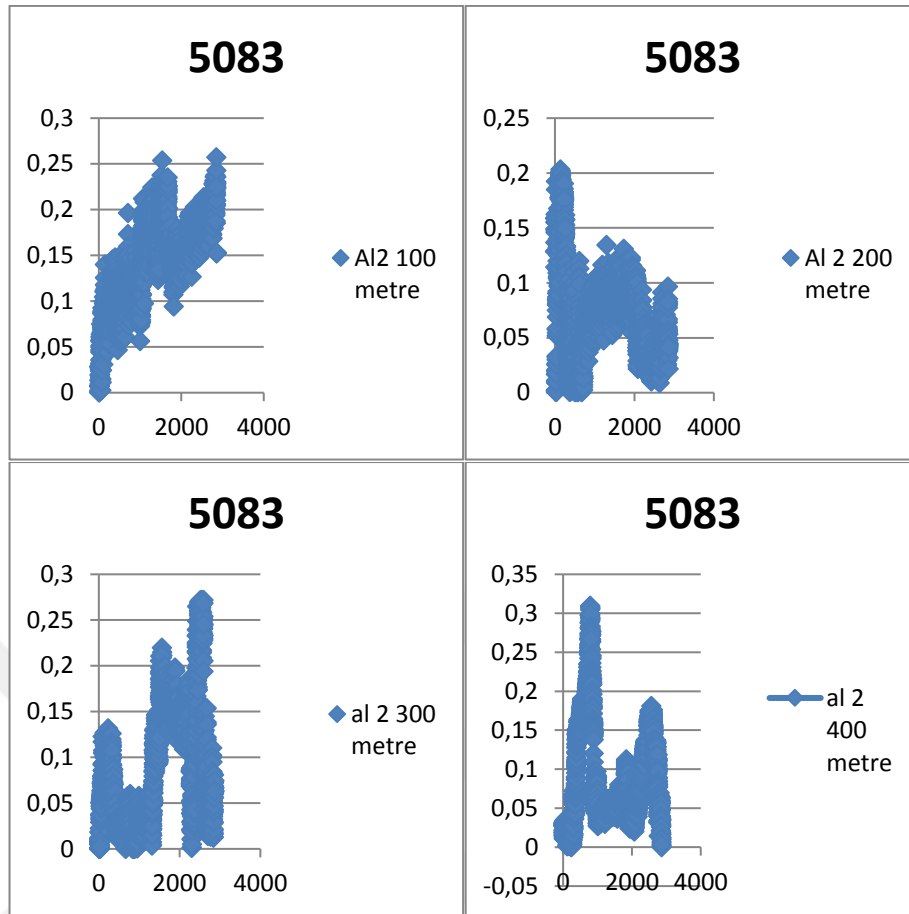




(B)



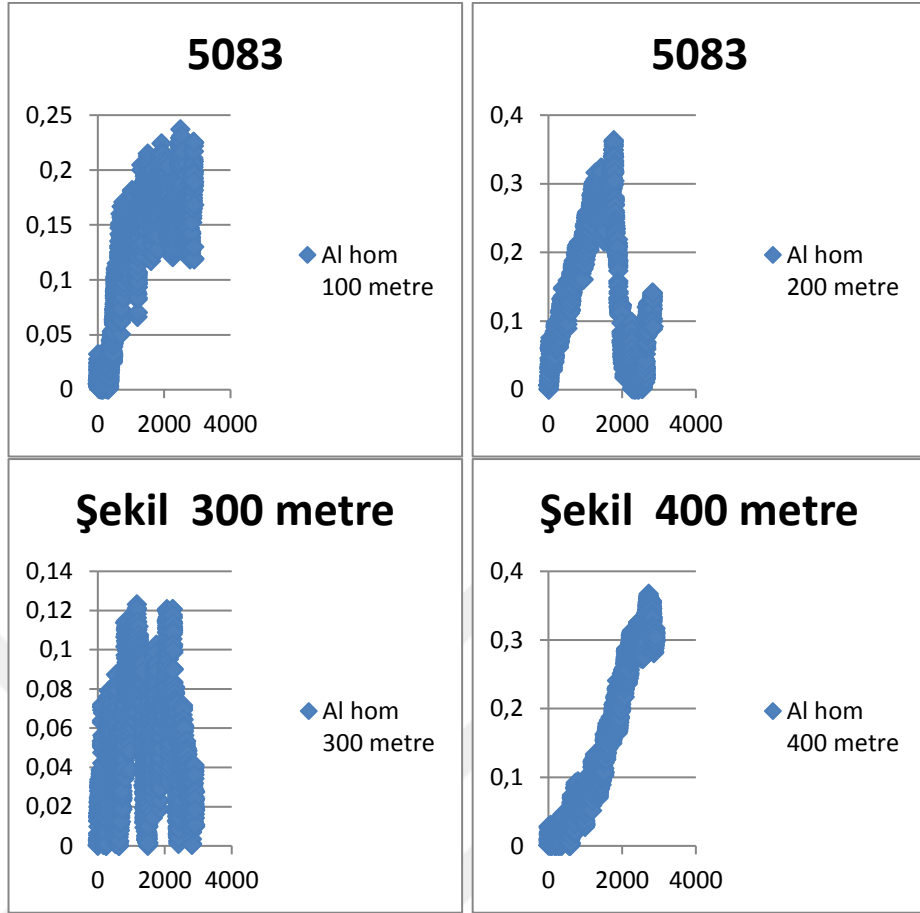
(C)



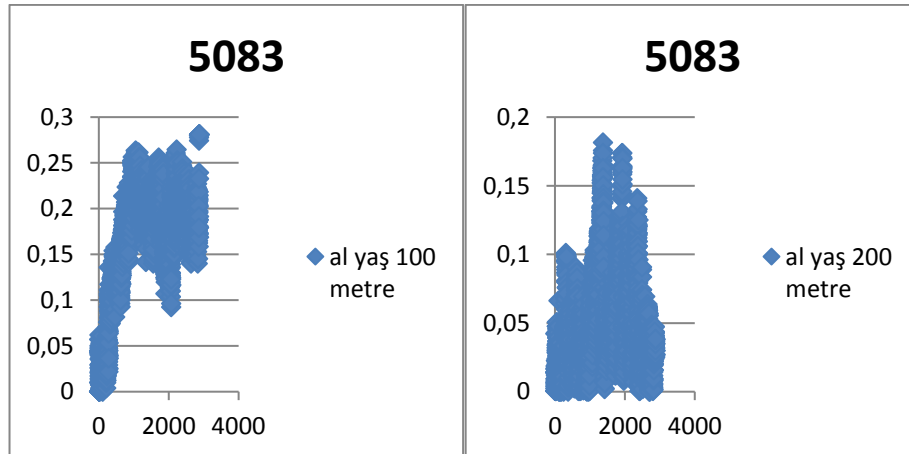
(D)

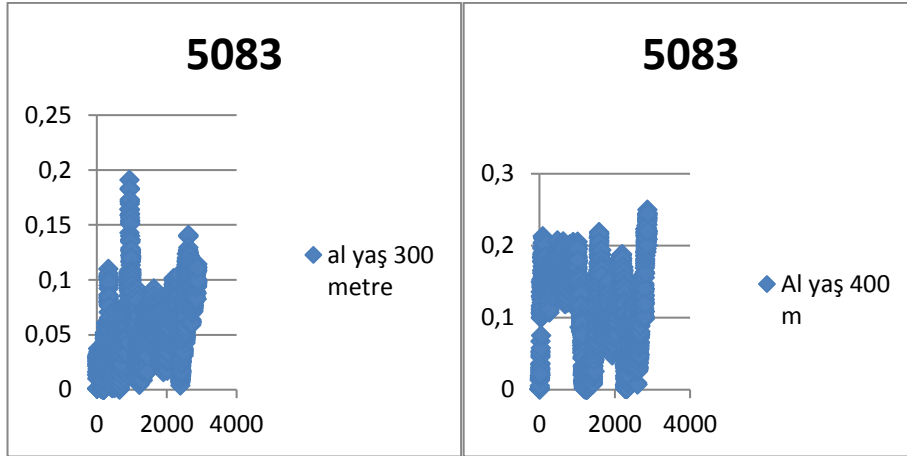
**EK AÇIKLAMALAR B.**

**5083 ALAŞIMIN KOROZİF AŞINMA SONRASI (A)  
HOMOJENLEŞTİRİLMİŞ (B) YAŞLANDIRILMIŞ (C) TERMOMEKANİK  
İŞLEM 1 (D) TERMOMEKANİK İŞLEM 2 NİN HER 100 METRE  
MESAFEDEKİ SÜRTÜNME KATSAYI GRAFİKLERİ**

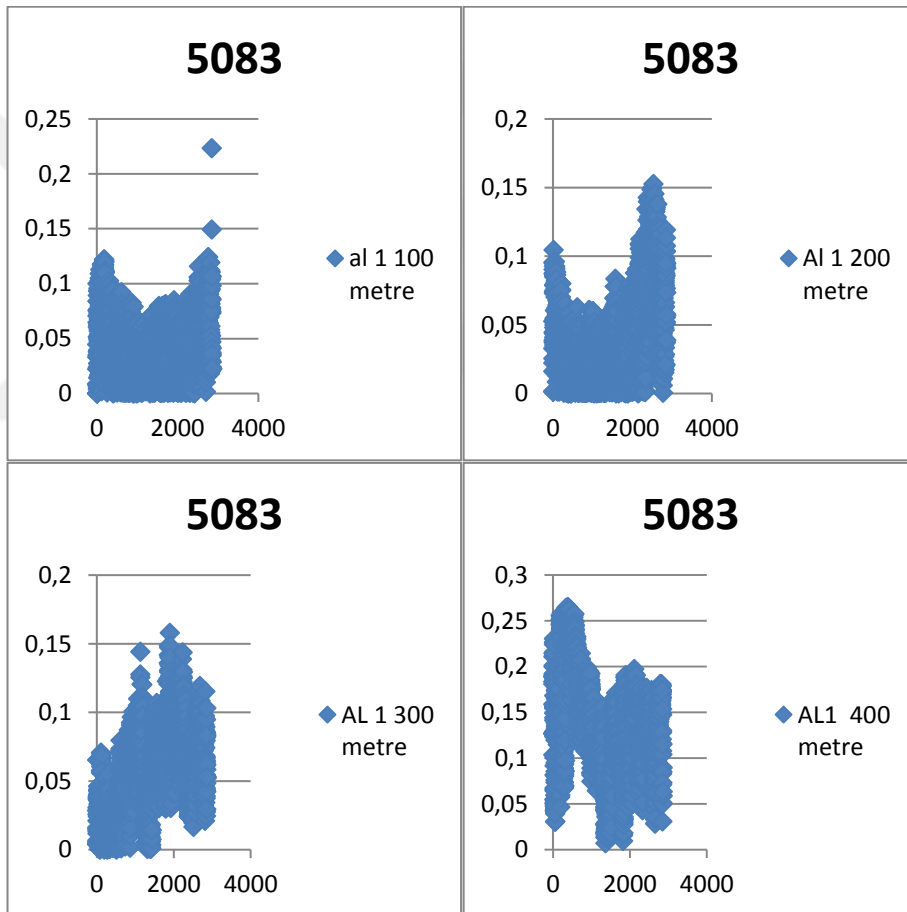


(A)

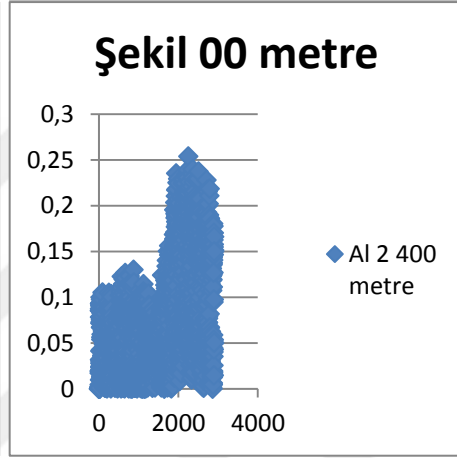
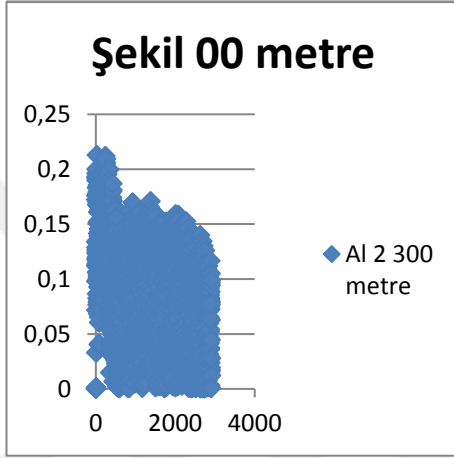
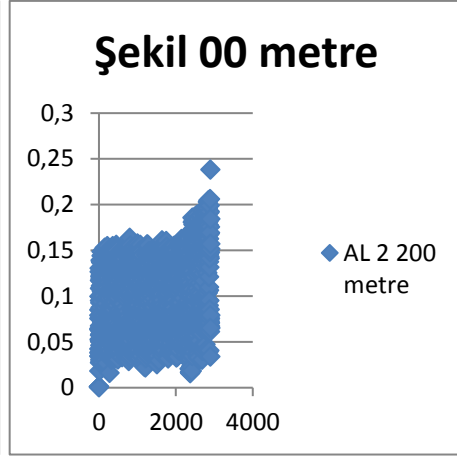
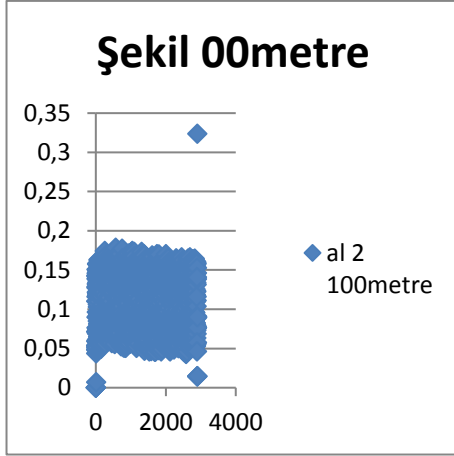




(B)



(C)



(D)

## ÖZGEÇMİŞ

Medine Kılınç ilk ve orta öğrenimini Hatay şehrinde tamamladı. Kırıkhan Gazi Anadolu Lisesi'nden mezun oldu.2013 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü'nde öğrenime başlayıp 2017 yılında mezun oldu.2018 yılında başladığı yüksek lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ana Bilim Dalında tamamladı.