

**T.C.**  
**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**MUNZUR**  
ÜNİVERSİTESİ  
2008

**YAŞLANMA İŞLEMİNİN AA7075 ALÜMİNYUM ALIŞIMININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ramazan ERGİN**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Dr. Öğr. Üyesi Yahya TAŞGIN**  
**TUNCELİ – 2020**

**T.C.**  
**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAŞLANMA İŞLEMİNİN AA 7075 ALÜMİNYUM ALIŞIMININ MEKANİK  
ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**Ramazan ERGİN**  
**(122107106)**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**DANIŞMAN**  
**Dr. Öğr. Üyesi Yahya TAŞGIN**

**TUNCELİ – 2020**

**T.C.**  
**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YAŞLANMA İŞLEMİNİN AA7075 ALÜMİNYUM ALIŞIMININ MEKANİK**  
**ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**Ramazan ERGİN**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**  
**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 04/02/2020 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

**İmza:.....**

**İmza:.....**

**İmza:.....**

Dr. Öğr. Üyesi Yahya TAŞGIN  
(Munzur Üniversitesi)

Doç. Dr. Uğur ÇALIGÜLÜ  
(Fırat Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Erdem IŞIK  
(Munzur Üniversitesi)

**DANIŞMAN**

**ÜYE**

**ÜYE**

Bu tez, Enstitümüz Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Prof. Dr. Olcay KAPLAN İNCE  
Enstitü Müdürü  
İmza ve Mühür

**NOT:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu”ndaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Alüminyum alaşımlarının öz kütle seviyesinin düşüklüğü, yüksek özgül mukavemet, yüksek korozyon direnci ve mekanik niteliklerinin iyileştirilmesi, biçimlendirme ve işleme rahatlığı gibi nitelikler çoğu alanda yararlanmasını sağlamaktadır. Bu alanların başında otomotiv, havacılık-uzay, elektronik, taşımacılık, makine ve imalat sektörleri gelmektedir. Özellikle otomotiv, uzay ve havacılık sektörlerinde hafif olmaları nedeniyle ağırlıklar olabildiğince düşürülerek yakıt tasarrufu sağlanmasında ve hava kirliliğinin önlenmesinde büyük bir öneme sahiptir. Alüminyum alaşımlarının önemli niteliklerinden bir diğeri de mekanik niteliklerinin geliştirilebilir olmasıdır. Bu alaşımların mekanik niteliklerinin geliştirilmesine bağlı olarak birçok sektörde kullanım alanları ortaya çıkmaktadır. Alüminyum alaşımlarının mekanik niteliklerinin geliştirilmesinde yaşlandırma işlemi büyük öneme sahiptir. En çok kullanım alanına sahip Al alaşımlarından birisi de 7075 Alüminyum alaşımlardır. 7075 alüminyum alaşımları Alüminyum-Çinko-Magnezyum-Bakır içermesi nedeniyle çeşitli yaşlandırma işlemleri yapılarak mekanik nitelikleri iyileştirilerek ticari olarak kullanıma sunulmuştur. Mukavemeti artırılan bu alüminyum alaşımı serisi endüstriyel kullanımda herhangi bir termal etkiye maruz kaldığında mekanik niteliklerindeki kaybı deformasyon yaşanması uygulanarak giderilebilir. Bu çalışmada ısıtma işlemi uygulanmış halde ticari olarak temin edilen alüminyum alaşımının mekanik özelliklerine deformasyon yaşanmasının etkisi belirlenmiş ve mekanik özellik mikro yapı arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu çalışmada, Al alaşımlarında ısıtma işlemlerin alaşımın mekanik nitelikleri ve işlenebilirlik özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Bu bağlamda farklı sürelerde yaşlandırma işlemi uygulanan numunelerin mekanik özelliklerindeki değişimler ile işlenebilirlik özellikleri ve bunlar arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Al 7075, Yaşlandırma İşlemi, Mikro Yapı



## **ABSTRACT**

### **Examination of the Interaction of the Aging Process on the Mechanical Properties of AA 7075 Aluminum Alloy**

The properties of aluminum alloys such as low mass level, high specific strength, high corrosion resistance and improvement of their mechanical properties, forming and processing comfort enable them to benefit in many areas. Automotive, aerospace, electronics, transportation, machinery and manufacturing sectors are the leading areas. Because they are light, especially in the automotive, aerospace and aviation industries, weights are of great importance in saving fuel by reducing as much as possible and preventing air pollution. Another important feature of aluminum alloys is that their mechanical properties can be improved. Depending on the improvement of the mechanical qualities of these alloys, their use in many sectors emerges. Aging is of great importance in the improvement of the mechanical properties of aluminum alloys. One of the most used Al alloys is 7075 Aluminum alloys. Due to the fact that 7075 aluminum alloys contain Aluminum-Zinc-Magnesium-Copper, various aging processes are performed and their mechanical qualities are improved and commercially available. This aluminum alloy series, whose strength is increased, can be eliminated by applying deformation aging when it is subjected to any thermal effect in industrial use. In this study, the effect of deformation aging on the mechanical properties of a commercially available aluminum alloy with heat treatment was determined and the relationship between the mechanical properties and the microstructure was investigated. In this study, the effects of heat treatments on Al's alloys' mechanical properties and machinability properties were investigated. In this context, the changes in the mechanical properties of the samples with different aging processes, their machinability properties and the relationships between them are examined.

**Key Words:** Al 7075, Aging process, Microstructure.

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam sayın Dr. Öğr. Üyesi Yahya TAŞGIN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca her zaman yanımda olan ve desteğini esirgemeyen eşim Seniha SALCAN ERGİN'e kızım Mina Solin'e teşekkürü bir borç bilirim. Eğitim Hayatım boyunca daima yanımda olan her zaman destek olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Fevzi GÜLÇİMEN'e ve değerli hocam, abim Cihad FİDAN'a teşekkür eder saygılarımı sunarım.

Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü hocalarına ve çalışanlarına, mesai arkadaşlarıma, ayrıca ismini yazamadığım tüm kadim dostlarıma ve aileme teşekkürü bir borç bilirim.

**Ramazan ERGİN**  
**TUNCELİ - 2020**

## İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

|                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ÖZET .....</b>                                                              | <b>II</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                          | <b>III</b> |
| <b>TEŞEKKÜR.....</b>                                                           | <b>IV</b>  |
| <b>SEMBOLLER LİSTESİ .....</b>                                                 | <b>XI</b>  |
| <b>KISALTMALAR LİSTESİ .....</b>                                               | <b>XII</b> |
| <b>1. GİRİŞ.....</b>                                                           | <b>1</b>   |
| 1.1. Alüminyum.....                                                            | 2          |
| 1.1.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları.....                                  | 3          |
| 1.1.2. Alüminyumun Mekanik Özellikleri .....                                   | 4          |
| 1.1.3. Al Alaşımları Gruplandırılması.....                                     | 5          |
| 1.1.4. Al 7075 Alaşımına Ait Özellikler.....                                   | 5          |
| 1.1.5. Al Alaşımlarının Kullanım Alanları.....                                 | 9          |
| 1.2. Suni Yaşlandırma İşlemi .....                                             | 9          |
| 1.2.1. Solüsyona Alma İşlemi.....                                              | 10         |
| 1.2.2. Ani Soğutma .....                                                       | 10         |
| 1.2.3. Çökeltme.....                                                           | 11         |
| 1.2.4. Sıcaklık ve Zaman faktörünün Çökeltme Sertleşmesine Etkisi .....        | 11         |
| 1.2.5. Çökeltme Sertleşmesi Anında Görülen Dönüşümler.....                     | 11         |
| 1.2.6. Yaşlandırma İşlemi.....                                                 | 12         |
| 1.3. Literatür Taraması .....                                                  | 12         |
| <b>2. MATERYAL VE METOT.....</b>                                               | <b>16</b>  |
| 2.1. Kullanılan Cihazlar.....                                                  | 17         |
| 2.2. Kesme cihazı.....                                                         | 17         |
| 2.3. Uygulanan Isıl İşlemler .....                                             | 17         |
| 2.4. Parlatma cihazı .....                                                     | 19         |
| 2.5. Dağlama işlemi .....                                                      | 20         |
| 2.6. Optik İncelemeler .....                                                   | 20         |
| 2.7. SEM ve EDS Analiz Cihazı .....                                            | 21         |
| 2.8. Sertlik Ölçümleri .....                                                   | 21         |
| <b>3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA .....</b>                                    | <b>24</b>  |
| 3.1. Sertlik Sonuçları .....                                                   | 24         |
| 3.2. 120 °C ve 180 °C’de İşlem Yapılan Numuneler .....                         | 28         |
| 3.2.1. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (1 Nolu) Numune.....   | 28         |
| 3.2.2. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (2 Nolu) Numune.....     | 30         |
| 3.2.3. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (3 Nolu) Numune .....    | 31         |
| 3.2.4. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (4 Nolu) Numune.....   | 32         |
| 3.2.5. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (5 Nolu) Numune .....     | 33         |
| 3.2.6. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (6 Nolu) Numune.....     | 34         |
| 3.2.7. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (7 Nolu) Numune.....   | 35         |
| 3.2.8. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (8 Nolu) Numune .....    | 36         |
| 3.2.9. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (9 Nolu) Numune .....    | 37         |
| 3.2.10. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (10 Nolu) Numune.....  | 38         |
| 3.2.11. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (11 Nolu) Numune .....   | 39         |
| 3.2.12. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (12 Nolu) Numune.....   | 40         |
| 3.2.13. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (13 Nolu) Numune..... | 41         |

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.14. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (14 Nolu) Numune.....    | 42        |
| 3.2.15. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (15 Nolu) Numune .....   | 43        |
| 3.2.16. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (16 Nolu) Numune.....   | 44        |
| 3.2.17. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (17 Nolu) Numune .....    | 45        |
| 3.2.18. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (18 Nolu) Numune.....    | 46        |
| 3.2.19. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (19 Nolu) Numune..... | 47        |
| 3.2.20. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (20 Nolu) Numune .....  | 48        |
| 3.2.21. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (21 Nolu) Numune.....   | 49        |
| 3.2.22. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (22 Nolu) Numune.....  | 50        |
| 3.2.23. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (23 Nolu) Numune .....   | 51        |
| 3.2.24. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (24 Nolu) Numune.....   | 52        |
| 3.2.25. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (25 Nolu) Numune.....  | 53        |
| 3.2.26. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (26 Nolu) Numune .....   | 53        |
| 3.2.27. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (27 Nolu) Numune.....   | 54        |
| 3.2.28. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (28 Nolu) Numune.....  | 55        |
| 3.2.29. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (29 Nolu) Numune .....   | 56        |
| 3.2.30. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (30 Nolu) Numune.....   | 57        |
| 3.3. Numunelere Ait SEM ve EDS Analizleri.....                                  | 59        |
| 3.3.1. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (1 Nolu) Numune.....    | 60        |
| 3.3.2. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (2 Nolu) Numune .....     | 61        |
| 3.3.3. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (3 Nolu) Numune .....     | 64        |
| 3.3.4. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (4 Nolu) Numune.....    | 67        |
| 3.3.5. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (5 Nolu) Numune .....      | 70        |
| 3.3.6. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (6 Nolu) Numune.....      | 73        |
| 3.3.7. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (25 Nolu) Numune.....   | 76        |
| 3.3.8. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (26 Nolu) Numune .....    | 79        |
| 3.3.9. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (27 Nolu) Numune.....    | 82        |
| 3.3.10. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (28 Nolu) Numune.....  | 85        |
| 3.3.11. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (29 Nolu) Numune .....   | 88        |
| 3.3.12. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (30 Nolu) Numune.....   | 91        |
| <b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                               | <b>94</b> |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                           | <b>95</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                           | <b>98</b> |

## **SEKİLLER LİSTESİ**

## **Sayfa No**

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Boksitten Alüminanın Elde Edilişi.....                                                  | 2  |
| Şekil 1.2. 7075 T6 İçin Kalınlık İle Tokluk Değişimi Grafiği .....                                 | 6  |
| Şekil 1.3. Stres ve döngü düşüşü 7075-T76 .....                                                    | 6  |
| Şekil 1.4. Tipik bir 7075 alüminyumda yorulma çizgileri .....                                      | 7  |
| Şekil 1.5. a) Yaşlandırma b) Kademeler.....                                                        | 10 |
| Şekil 1.6. Çökelme sertleşmesi anında oluşan değişimler.....                                       | 11 |
| Şekil 1.7. $\theta$ fazının çökmesi sırasında ortaya çıkacak ara fazlar ve sertliğe etkileri ..... | 12 |
| Şekil 2.1. Deneyde kullanılan 30 adet numune .....                                                 | 16 |
| Şekil 2.2. Metkon marka kesme cihazı.....                                                          | 17 |
| Şekil 2.3. Isıl işlem yapılan fırının görüntüsü. ....                                              | 19 |
| Şekil 2.4. Metkon marka Parlatma cihazı.....                                                       | 19 |
| Şekil 2.5. Dağlayıcı için gerekli malzemeler.....                                                  | 20 |
| Şekil 2.6. Optik cihazı NİKON MA/100N .....                                                        | 21 |
| Şekil 2.7. SEM ve EDS görüntüleme cihazı.....                                                      | 21 |
| Şekil 2.8. Mitutoyo Sertlik Test Cihazı (Hardness Testing Machine) HM .....                        | 22 |
| Şekil 3.1. Numunelere ait mikro-sertlik değerleri .....                                            | 26 |
| Şekil 3.2. Numuneler ve yapılan yaşlandırma aşamaları.....                                         | 27 |
| Şekil 3.3. 1 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 29 |
| Şekil 3.4. 2 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 30 |
| Şekil 3.5. 3 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 31 |
| Şekil 3.6. 4 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 32 |
| Şekil 3.7. 5 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 33 |
| Şekil 3.8. 6 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 34 |
| Şekil 3.9. 7 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                        | 35 |
| Şekil 3.10. 8 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                       | 36 |
| Şekil 3.11. 9 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                       | 37 |
| Şekil 3.12. 10 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 38 |
| Şekil 3.13. 11 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 39 |
| Şekil 3.14. 12 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 40 |
| Şekil 3.15. 13 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 41 |
| Şekil 3.16. 14 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 42 |
| Şekil 3.17. 15 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 43 |
| Şekil 3.18. 16 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 44 |
| Şekil 3.19. 17 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 45 |
| Şekil 3.20. 18 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 46 |
| Şekil 3.21. 19 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 47 |
| Şekil 3.22. 20 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 48 |
| Şekil 3.23. 21 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 49 |
| Şekil 3.24. 22 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 50 |
| Şekil 3.25. 23 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 51 |
| Şekil 3.26. 24 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 52 |
| Şekil 3.27. 25 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 53 |
| Şekil 3.28. 26 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 53 |
| Şekil 3.29. 27 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 54 |
| Şekil 3.30. 28 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü.....                                      | 55 |

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.31. 29 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü.....                                    | 56 |
| Şekil 3.32. 30 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü.....                                    | 57 |
| Şekil 3.33. 1 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntü .....    | 58 |
| Şekil 3.34. 1 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 59 |
| Şekil 3.35. 1 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 59 |
| Şekil 3.36. 1 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 60 |
| Şekil 3.37. 1 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                    | 60 |
| Şekil 3.38. 2 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü .....  | 61 |
| Şekil 3.39. 2 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 62 |
| Şekil 3.40. 2 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 62 |
| Şekil 3.41. 2 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 63 |
| Şekil 3.42. 2 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                    | 63 |
| Şekil 3.43. 3 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü .....  | 64 |
| Şekil 3.44. 3 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 65 |
| Şekil 3.45. 3 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 65 |
| Şekil 3.46. 3 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 66 |
| Şekil 3.47. 3 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                    | 66 |
| Şekil 3.48. 4 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü .....  | 67 |
| Şekil 3.49. 4 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 68 |
| Şekil 3.50. 4 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 68 |
| Şekil 3.51. 4 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 69 |
| Şekil 3.52. 4 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 69 |
| Şekil 3.53. 5 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü .....  | 70 |
| Şekil 3.54. 5 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 71 |
| Şekil 3.55. 5 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 71 |
| Şekil 3.56. 5 Numaralı numunenin Elementer Yüzdelik Dağılım<br>Görüntüsü.....                    | 72 |
| Şekil 3.57. 5 Numaralı Numunenin Elementer Yüzdelik Dağılım Görüntüsü.....                       | 72 |
| Şekil 3.58. 6 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü .....  | 73 |
| Şekil 3.59. 6 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                                | 74 |
| Şekil 3.60. 6 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                      | 74 |
| Şekil 3.61. 6 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                      | 75 |
| Şekil 3.62. 6 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                    | 75 |
| Şekil 3.63. 25 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü ..... | 76 |
| Şekil 3.64. 25 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                               | 77 |
| Şekil 3.65. 25 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                     | 77 |
| Şekil 3.66. 25 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                     | 78 |
| Şekil 3.67. 25 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                   | 78 |
| Şekil 3.68. 26 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x<br>büyütme SEM görüntüsü ..... | 79 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 3.69. 26 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                            | 80 |
| Şekil 3.70. 26 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                  | 80 |
| Şekil 3.71. 26 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                  | 81 |
| Şekil 3.72. 26 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                | 81 |
| Şekil 3.73. 27 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü ..... | 82 |
| Şekil 3.74. 27 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                            | 83 |
| Şekil 3.75. 27 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                  | 83 |
| Şekil 3.76. 27 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                  | 84 |
| Şekil 3.77. 27 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                | 84 |
| Şekil 3.78. 28 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü ..... | 85 |
| Şekil 3.79. 28 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                            | 86 |
| Şekil 3.80. 28 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                  | 86 |
| Şekil 3.81. 28 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                  | 87 |
| Şekil 3.82. 28 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi.....                                 | 87 |
| Şekil 3.83. 29 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü ..... | 88 |
| Şekil 3.84. 29 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                            | 89 |
| Şekil 3.85. 29 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                  | 89 |
| Şekil 3.86. 29 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                  | 90 |
| Şekil 3.87. 29 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                | 90 |
| Şekil 3.88. 30 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü ..... | 91 |
| Şekil 3.89. 30 Numaralı numunenin EDS analizi.....                                            | 92 |
| Şekil 3.90. 30 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi .....                                  | 92 |
| Şekil 3.91. 30 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü .....                  | 93 |
| Şekil 3.92. 30 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi .....                                | 93 |

## **TABLULAR LİSTESİ**

## **Sayfa No**

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1.1. Tipik boksit kimyasal kompozisyonu .....                           | 3  |
| Tablo 1.2. Gruplandırılma. ....                                               | 5  |
| Tablo 1.3. Al alaşımlarının yaşlandırma numaraları .....                      | 8  |
| Tablo 1.4. Al alaşımlarının kullanım yerleri ve oranları. ....                | 9  |
| Tablo 2.1. İşlem akış şeması.....                                             | 16 |
| Tablo 2.2. Isıl işlem sıcaklıkları ve süreleri.....                           | 18 |
| Tablo 2.3. Yapılan ısıl işlem sıcaklık derecesi ve zamanları açıklamalı ..... | 18 |
| Tablo 2.4. Dağlayıcı karışımı .....                                           | 20 |
| Tablo 3.1. Kullanılan malzemelerin özellikleri .....                          | 23 |
| Tablo 3.2. Numunelere ait mikro-sertlik ortalama sonuçları .....              | 25 |





## SEMBOLLER LİSTESİ

**AA:** Alüminyum alaşımı

**Al:** Alüminyum

**C:** Karbon

**Cu:** Bakır

**Fe:** Demir

**Li:** Lityum

**Mg:** Magnezyum

**Mn:** Manganez

**Na:** Sodyum

**O:** Oksijen

**Si:** Silisyum

**Zn:** Çinko

**µm:** Mikrometre

## KISALTMALAR LİSTESİ

**HV:** Vickers Sertlik Değeri

**R:** Retrogression (Retrogresyon Isıl İşlemi)

**RR:** Az Retrogression and Reaging (Retrogresyon ve Yeniden Yaşlandırma Isıl İşlemi)

**SEM:** Scanning Electron Microskop

**H:** MgZn<sub>2</sub> ara çökelti

**T:** Kübik (AlZn)<sub>49</sub>Mg<sub>32</sub>

**T<sub>1</sub>:** Hekzagonal (AlZn)<sub>49</sub>Mg<sub>32</sub>

**R<sub>m</sub>:** Çekme Dayanımı

**R<sub>p</sub>:** Akma Dayanımı

**T6:** Yapay Yaşlandırma Isıl işlem Simgesi

**T73:** Aşırı Yaşlandırma İşlem Simgesi

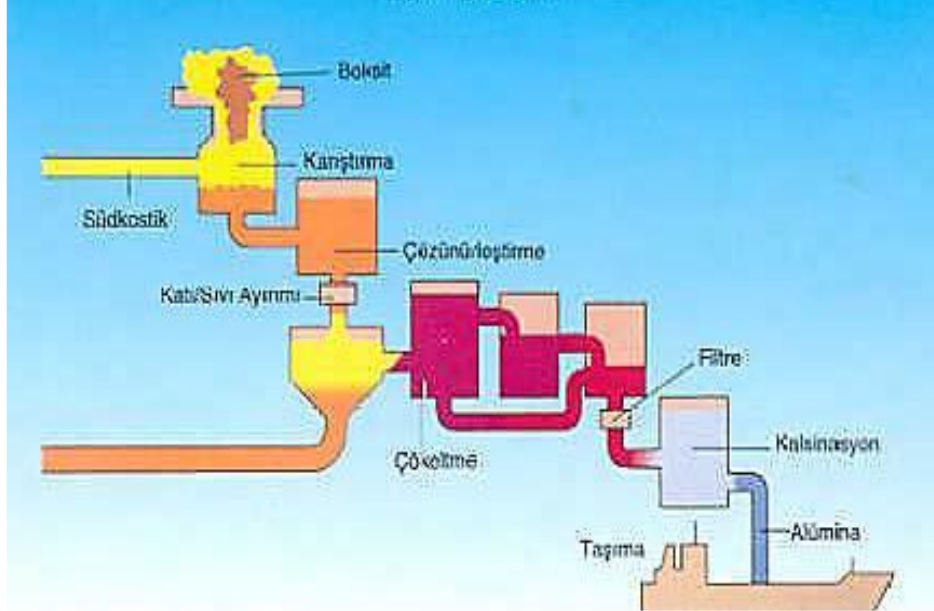
## 1. GİRİŞ

Alüminyum kullanım alanı çeşitlilik göstermekle beraber gıda, elektrik iletim hatlarında, yapı sektöründe, motor sanayisinde ve havacılıkta yaygın olarak görülür. Ağırlık ve mukavemetin yanı sıra kolay şekillendirilebilmesi sebebiyle büyük bir Pazar hacmine doğru gitmektedir. Havacılık sanayisinde genel alüminyum alaşımları düşük yoğunluğa, yüksek mukavemete ve işlenebilirlik açısından uygun olmasından dolayı tercih edilmektedir. ARGE çalışmalarında ve kompozit malzeme üretiminde en çok tercih edilen metaller arasında yer almaktadır. Alüminyum bazlı alaşımlar üzerinde çalışmalar akademik olarak her geçen gün artmaktadır.

Alüminyum alaşımlarının çeşitli serileri vardır. Bunlardan biride 7XXX serisidir. Al-Mg-Zn-Cu alaşımı olan Al-7075-T651 serisi, yüksek mukavemetin, hafifliğin ve korozyona direncin tercih edilen yerlerde alüminyum kullanılır. Havacılıkta, gemi sanayisinde, otomotiv endüstrisi ve ordu donanım malzemesi olarak kullanılır. Alüminyum alaşımları yüksek direnci sebebiyle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu seride T6 uygulandığında dayanım ve sertlik artar. Buna istinaden korozyon direncinin azalması nedeniyle T73 uygulanır. Buna aşırı yaşlandırma işlemi denir. Bunu sağlamamızdaki sebep ise, dayanımla beraber korozyon özelliklerini görmektir.

## 1.1. Alüminyum

Hafif, ucuz, kolay işlenebilirliği, zehirsiz olması, manyetik özelliği olmaması ve sert olmaması en önemli özelliğidir.



Şekil 1. 1. Boksitten alüminanın elde edilişi (Ulucak, 2013).

Neredeyse tüm alümina, yaklaşık % 50  $Al_2O_3$  içeren alüminyum hidroksitleri şekil 1.1'deki gibi boksitten yapılır. Cevher kostik soda ile sindirilerek alüminayı demir oksitler ve diğer büyük safsızlıklar içeren kırmızı çamur geride bırakılır. Basınç altında çözelti, aynı zamanda sodyum silikayı en aza indirmek için alüminyum silikat da çamurun üzerine indirilmelidir. Aksi takdirde nihai alüminyum hidroksit kontamine olur. Çökeltme döngüsel olarak gerçekleştirilir. Sonunda, hidroksit 1200 °C'de alüminaya kalsine edilir ve >% 99 saf bir ürün elde edilir. 1 ton alüminyum üretmek, yaklaşık 2 ton  $Al_2O_3$  gereklidir.

**Tablo 1.1.** Tipik boksit kimyasal kompozisyonu (URL-1, 2020).

| Bileşen                        | %(Ağırlıkça) |
|--------------------------------|--------------|
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 30-60        |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1-30         |
| SiO <sub>2</sub>               | < 0.5-10     |
| TiO <sub>2</sub>               | < 0.5-10     |
| Organik karbon                 | 0.02-0.40    |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.02-1.0     |
| CaO                            | 0.1-2.0      |
| V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0.01-0.10    |
| ZnO                            | 0.002-0.10   |
| Ga <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.004-0.013  |
| Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.003-0.30   |
| S                              | 0.02-0.10    |
| F                              | 0.01-0.10    |
| Hg (ppb)                       | 50-1000      |

Alüminyum hafif olduğundan otomotiv endüstrisinde büyük rağbet görmektedir. Bu aynı zamanda yakıttan tasarrufta sağlamaktadır. Bu sadece otomotiv sektörünü kapsamamaktadır. Aynı zamanda kara, hava ve deniz ulaşımında n üst yerlerde yerini almaya başlamıştır. Yapılan iyileştirmelerle savunma sektöründe de söz sahibi olmuştur.

Alüminyum özelliği sayesinde ısıtma ve soğutma sektöründe söz sahibidir. Çabuk ısınıp ve çabuk soğuması, onu öne çıkarmıştır (URL-2, 2020).

### **1.1.1. Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları**

Alüminyum yeryüzünde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementtir. Elektroliz ile üretimine başlanan Alüminyum, dinamounun icadıyla üretimi hızlanmıştır (Ulucak, 2003).

T3 temperlerinde yaşlanmanın malzemenin mukavemeti üzerindeki etkilerini tahmin etmek. Mukavemet özellikleri, soğuk çalışma ve doğal yaşlı temperlerde çökeltiiler arasındaki etkileşim kendini gösterir. Metalürjistler, üretimin ilk günlerinden beri gözlemlemektedirler. 2024-T3 ve 2024-T351 ve daha yakın zamanda 2324-T39 üretiminde,

o zaman söndürme ve germe arasındaki oda sıcaklığı gücü etkiler, ancak mekanizma belirsizdir. Sonuç olarak, deneyler etkilerin büyüklüğünü belirlemek için kullanılmalıdır.

Yaşlanmanın T6 ve T8 Temperlerinde malzemenin mukavemeti üzerindeki etkilerini tahmin etmek. Mevcut malzemelerin değişkenliğini azaltmak ve alaşım gelişimini hızlandırmak için alaşım içeriği ve işleme parametrelerinin işlevi olarak özellikleri tahmin etmek için regresyon analizleri kullanılmıştır. Söndürme ve yaşlanma ile tepe mukavemeti arasındaki aralık, alaşıma bağımlı olan büyük bir etkiye sahip olabilir. Termodinamiğe veya kinetiğe dayanan teoriler, bu tür etkileri niteliksel olarak tahmin edebilir, ancak hiçbir modelin, bir priori, etkinin büyüklüğünü tahmin etmesine izin veren bir model geliştirilmemiştir.

T7 temperlerinde yaşlanmanın malzemenin mukavemeti üzerindeki etkilerini tahmin etmek. T7, 7xxx alaşımları için temperler geliştirilmiş olup direnç sağlamak için stres-korozyon çatlama (SCC) ve pul pul dökülme korozyon geliştirilmiştir.

Yaşlanma 7xxx Alaşım ürünlerinin T7 Temperlerine etkilerini tahmin etmek. Elektriksel İletkenlik ele alınacak olursa, T7 temperlerinde benzer şekilde işlenmiş 7XXX malzeme için elektriksel iletkenlik pul pul dökülme korozyonuna ve SCC'YE karşı direnç ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Korelasyon o kadar yararlıdır ki elektriksel iletkenlik minima yazılmıştır.

İletkenliği elektriksel olarak baz alırsak bakıra oranla düşüktür. Yok, şayet ısıya göre alırsak büyük çıkmaktadır. Elektrik sanayisinde kullanılmasının sebebi bundan kaynaklanmaktadır. Bakır giderleri alüminyum giderlerinden fazla olması da önemli etkindir (Akdoğan, 2003).

Ekstrüzyon bize alüminyumu değişik karmaşık şekil ve sıcaklıklarda rahatça işlenebilirliğini sağlamaktadır (Alpay, 2009).

Alüminyumun içindeki katkı maddelerinin özelliklerine göre, elde edilen alaşımın özellikleri de birbirinden farklıdır (Akdoğan, 2003).

### **1.1.2. Alüminyumun Mekanik Özellikleri**

Alüminyumun aynı yük altındaki elastik deformasyon miktarı, çeliğinkinin üç katıdır. Bu özellik tasarım hesaplamalarında büyük önem taşır. Alüminyumun daha yüksek olan direnci çeliğe nispetle daha fazla miktarda enerjinin sönümlemesine imkân verir.

Alüminyumun temel özelliklerinden biri, alışılmış imal usullerine göre şekillenme ve işlenme kolaylığıdır. Ne kadar saf ise o kadar yumuşak olmaktadır. Daha rahat bir şekilde haddelenebilmekte, çekilebilmekte ve şekillendirilebilmektedir.

Homojen yapısı, alüminyum folyo gibi üretilebilmesi, hava geçirmezliği ve basit şekilde şekillenebilmesi alüminyumun ideal bir ambalaj malzemesi yapmıştır. Bundan dolayı saf alüminyum ancak levha, şerit, tel ve basılarak çekilmiş parçalar halinde kullanılır (Kılıç, 2003).

### 1.1.3. Al Alaşımları Gruplandırılması

Dövme ile beraber döküm diye sınıflandırabiliriz (Askeland, 1998).

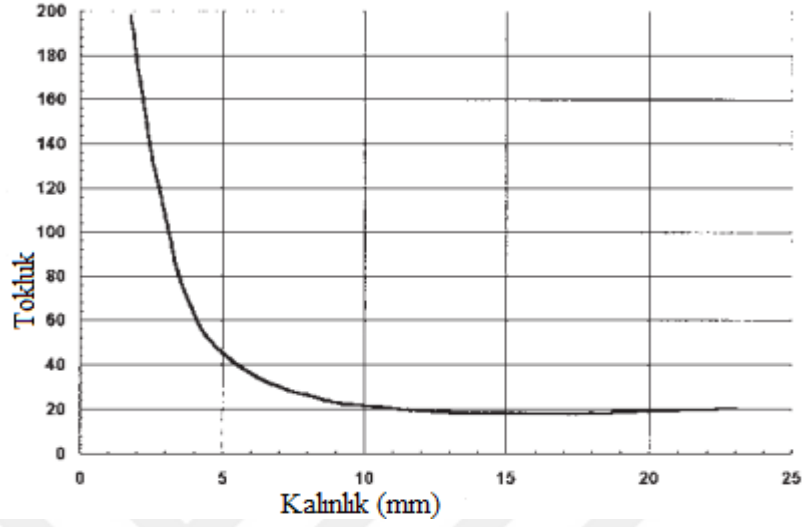
**Tablo 1.2.** Gruplandırılma (Askeland,1998).

| Alaşımların Simgesi | Alaşım Elementi | Açıklama                                                                                                                                                                                                       |
|---------------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1XXX                | Saf alüminyum   | Genellikle elektrik ve kimya endüstrisinde kullanılmaktadır                                                                                                                                                    |
| 2XXX                | Cu              | Yüksek mukavemet istenen havacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.                                                                                                                             |
| 3XXX                | Mn              | Boru, sıvı tankları ve mimari uygulamalarda kullanılmaktadır.                                                                                                                                                  |
| 4XXX                | Si              | Kaynaklı yapılarda, levha üretiminde, otomobil parçaları üretiminde kullanılmaktadır.                                                                                                                          |
| 5XXX                | Mg              | Denizel korozyona karşı direnci yüksek olduğundan, bu ortamda çalışacak yapıların imalatında kullanılmaktadır.                                                                                                 |
| 6XXX                | Mg-Si           | Şekillendirilme kabiliyeti yüksek olan bu alaşımlar özellikle ekstrüzyon ile üretilen parçaların imalatında sıklıkla kullanılır.                                                                               |
| 7XXX                | Zn              | Bu seri, Al alaşımlarının en yüksek mukavemete sahip olanıdır. Uçak parçaları yapımı ve diğer yüksek dayanım istenen yerlerde kullanılır.                                                                      |
| 8XXX                | Li              | Özellikle uçak ve uzay yapılarında kullanılmaya başlanan bu malzeme, iyi yorulma direnci ve iyi tokluk özelliklerine sahiptir. Fakat diğer Al alaşımları ile karşılaştırıldığında üretim maliyetleri yüksektir |

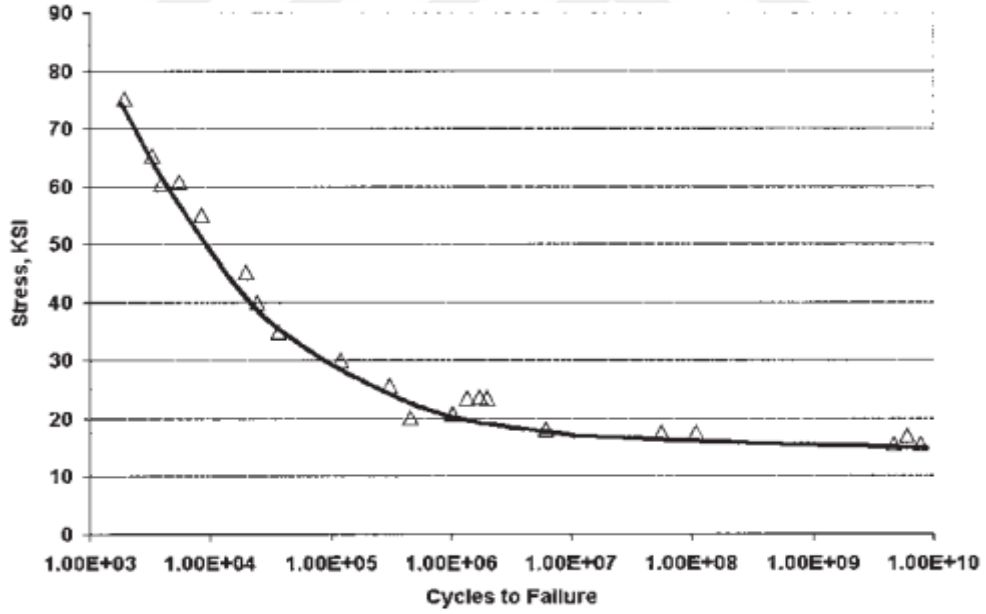
### 1.1.4. Al 7075 Alaşımına Ait Özellikler

Al-Mg-Zn-Cu alaşımı olan Al-7075-T651 serisi, yüksek mukavemetin, hafifliğin ve korozyona direncin tercih edilen yerlerde alüminyum kullanılır. Havacılıkta, gemi

sanayisinde, otomotiv endüstrisi ve ordu donanım malzemesi olarak kullanılır. Alüminyum alaşımları yüksek direnci sebebiyle havacılık endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

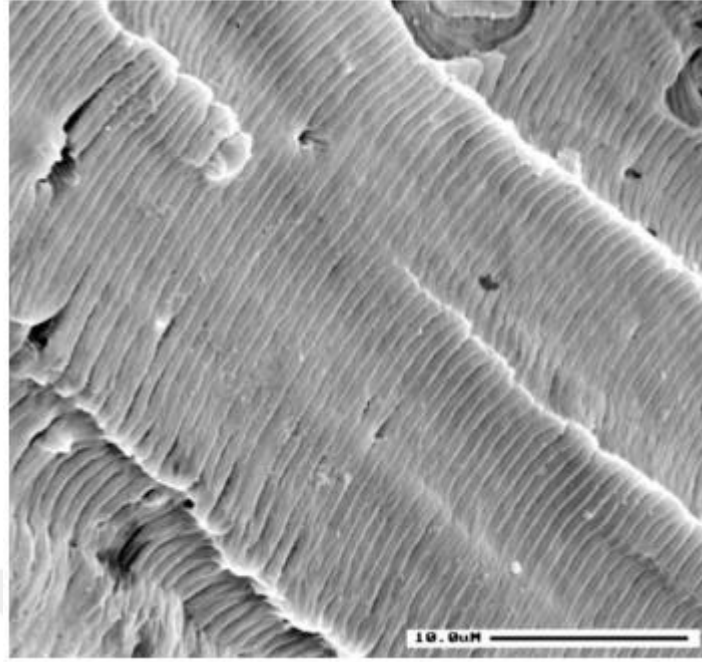


Şekil 1. 2. 7075 T6 için kalınlık ile tokluk değişimi grafiği (Shipp, 1971).



Şekil 1. 3. Stres ve döngü düşüşü 7075-T76 (Shipp, 1971).





**Şekil 1.4.** Tipik bir 7075 alüminyumda yorulma çizgileri (Laird, 1967).

Genel olarak, alüminyumun düşük sıcaklıkta yorulma davranışı hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Alüminyumun yorulma mukavemeti yaklaşık 150 ° C'ye kadar olan sıcaklıklardan fazla etkilenmez. Ancak daha yüksek sıcaklıklarda, yorulma mukavemeti çok hızlı bir şekilde azalır. Bunun sebebi çökeltilerin aşınması ve kalınlaşmasıdır. Yüksek sıcaklıklarda yorgunluğa karşı en iyi direnç, aşırı uzamaya dirençli alaşımlar tarafından gösterilir. Alüminyum alaşımı 7075, 2024'ten çok daha dayanıklıdır. Alüminyum-silikon alaşımları da yüksek sıcaklıklarda nispeten iyi yorulma direnci gösterir(diğer alüminyum alaşımlarına kıyasla). 300 C'nin üzerindeki sıcaklıklarda, tüm alüminyum alaşımlarının sünme ve yorulma mukavemeti sinterlenmiş alüminyum tozu (SAP) ile aşılr. Bu genellikle gücünü yaklaşık olarak koruyan bir toz metalürji ürünüdür. Dökme alaşımları genel olarak işlenmiş alaşımlardan daha zayıf yorulma mukavemetine sahiptir, ancak yorulma mukavemeti farkı artan sıcaklıkla ortadan kalkar.

Pul pul dökölme korozyonu, taneler sıcak veya soğuk haddeleme sırasında ağır deformasyonun katıldığı ve yeniden kristalleşmenin meydana gelmediği durumlarda oluşan taneler arası korozyonun özel bir şeklidir. Pul pul dökölme korozyonu bir kitabın yaprakları görünümündedir. Şekilde 7075-T6 alaşım plakasını gösterilmektedir. 0.75 in kalınlığında plaka, 0.375 in kalınlığında bir plaka bırakarak orta düzlemde işlenmiştir. Bu plaka çıplak durumda sol taraf orijinal kalınlığın yaklaşık dört katına kadar şişti. Pul pul dökölme 2000

(AL-Cu), 5000 (Al-Mg) ve tane sınır yağış veya tükenmiş tane sınır bölgeleri olan 7000 (Al-Zn) serisi alaşımları için karakteristiktir.

**Tablo 1.3.** Al alaşımlarının yaşlandırma numaraları (Brandes, 1998).

| Kod           | Uygulanan İşlem                                                                                                                                                |
|---------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>F</b>      | Fabrikasyon hali                                                                                                                                               |
| <b>O</b>      | Tavlanmış (en yüksek süneklik, en düşük dayanım)                                                                                                               |
| <b>H</b>      | Soğuk şekillendirilmiş                                                                                                                                         |
| <b>H1</b>     | Sadece soğuk şekillendirilmiş                                                                                                                                  |
| <b>H2</b>     | Soğuk şekillendirilmiş ve kısmen tavlanmış                                                                                                                     |
| <b>H3</b>     | Soğuk şekillendirilmiş ve kararlı hale getirilmiş                                                                                                              |
| <b>T</b>      | Yaşlandırılmış                                                                                                                                                 |
| <b>T1</b>     | İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve doğal yaşlandırılmış                                                                                                        |
| <b>T2</b>     | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış                                                                                |
| <b>T3</b>     | Çözeltiliye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve doğal yaşlandırılmış                                                                                            |
| <b>T4</b>     | Çözeltiliye alınmış ve doğal yaşlandırılmış                                                                                                                    |
| <b>T5</b>     | İmalat sıcaklığından soğutulmuş ve yapay yaşlandırılmış                                                                                                        |
| <b>T6</b>     | Çözeltiliye alınmış ve yapay yaşlandırılmış                                                                                                                    |
| <b>T7</b>     | Çözeltiliye alınmış ve aşırı yaşlanma ile kararlı hale getirilmiş                                                                                              |
| <b>T8</b>     | Çözeltiliye alınmış, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış                                                                                            |
| <b>T9</b>     | Çözeltiliye alınmış, yapay yaşlandırılmış ve soğuk şekillendirilmiş                                                                                            |
| <b>T10</b>    | İmalat sıcaklığından soğutulmuş, soğuk şekillendirilmiş ve yapay yaşlandırılmış                                                                                |
| <b>T351</b>   | Çözeltiliye alınmış, kontrollü miktarda germe ile gerilim giderilmiş ve doğal yaşlandırılmış. Hadde ürünleri uygulamaları için geçerlidir.                     |
| <b>T3510</b>  | T351 için uygulanan işlemler. Ekstrüzyonla üretilmiş boru, çubuk vb. profilleri için                                                                           |
| <b>T352</b>   | Çözeltiliye alınmış, sıkıştırma ile gerilim giderilmiş ve doğal yaşlandırılmış                                                                                 |
| <b>T651</b>   | Çözeltiliye alınmış, kontrollü miktarda germe ile gerilim giderilmiş ve yapay olarak yaşlandırılmış. Hadde ürünleri uygulamaları için geçerlidir.              |
| <b>T6510</b>  | T651 için uygulanan işlemler. Ekstrüzyonla üretilmiş boru, çubuk vb. profilleri için                                                                           |
| <b>T73</b>    | Çözeltiliye alma ve korozyon dayanımını artırmak için aşırı yapay yaşlandırma uygulanmış                                                                       |
| <b>T7651</b>  | Çözeltiliye alınmış, kontrollü miktarda germe ile gerilim giderilmiş, korozyon dayanımını artırmak için yapay olarak yaşlandırılmış. Levhalar için geçerlidir. |
| <b>T76510</b> | T7651 için uygulanan işlemler. Ekstrüzyonla üretilmiş boru, çubuk vb. profilleri için                                                                          |

Isıl için T ve H, tavlandığı (O), çözündürüldüğü W, üretilme F (Askeland, 1998).

### 1.1.5. Al Alaşımlarının Kullanım Alanları

Sanayi ve nüfusun doğru orantılı olarak artması neticesinde üretimde köklü değişikliklere gidilmiştir. Bunun en güzel örneğini alüminyumda görmekteyiz. Tarihi çok eski çağlara dayanmasa da, alüminyum büyük bir sıçrama içerisinde şuan (Dündar, 2003).

**Tablo 1.4.** Al alaşımlarının kullanım yerleri ve oranları (Yılmaz, 2003).

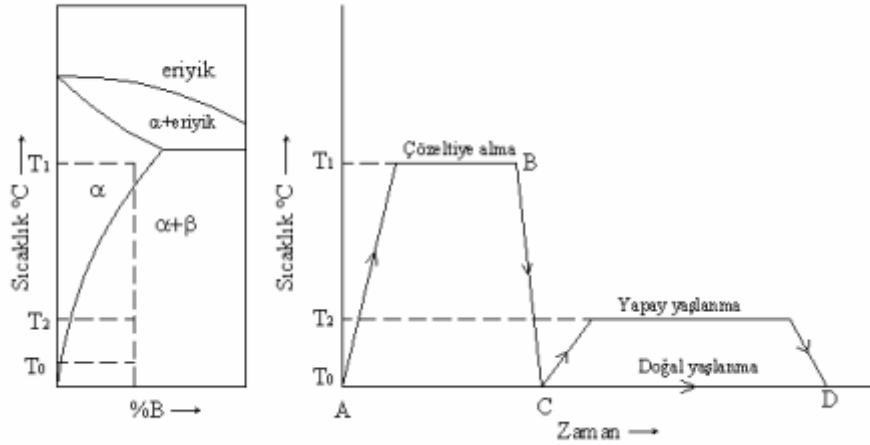
| Kullanım alanları              | Yüzdelik oran |
|--------------------------------|---------------|
| İnşaat                         | 25            |
| Ulaşım                         | 24            |
| Ambalaj                        | 15            |
| Elektrik/Elektronik            | 10            |
| Genel Mühendislik              | 9             |
| Diğer                          | 7             |
| Mobilya, ofis eşyaları         | 6             |
| Demirçelik, metalurji          | 3             |
| Kimya ve tarım ürünleri sanayi | 1             |

Alüminyum kara, hava ve deniz taşımacılığında aranan unsur haline gelmiştir. Kara, hava ve deniz ulaşımına sağladığı faydaların yanında birde bunlarla bağlantılı motor ve değişik aksanların yapımında da kullanılmaktadır. Ayrıca pil uygulaması da kullanılmaktadır (Yılmaz, 2003).

İnşaat ve mimari alanda çok hızlı büyüme kaydetmiştir (Dündar, 2003).

### 1.2. Suni Yaşlandırma İşlemi

Isıtma soğutma işlemlerinin uygulanmasına ısı işlem denir. Burada amaç mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerini de incelemek (Geçkinli, 2003). Al'dan çözünme ve çökme olarak karşımıza çıkmaktadır. Çökme sertleştirmesinin tanımını ifade edersek, sıcaklığın etkisiyle artan çözünme neticesinde sertlik ve mukavemette meydana gelen artıştır. 2xxx, 7xxx ve Al-Li alaşımları havacılık sanayisinde atılım yapmıştır (Geçkinli, 2003).



Şekil 1.5. a)Yaşlandırma b) Kademeler (Özer, 2004).

### 1.2.1. Solüsyona Alma İşlemi

Bu çalışmada Alüminyum 7075 alaşımına farklı sürelerde suni yaşlandırma yapılmıştır. Alaşımın sertliğinin değişimi incelenmiştir. Bunun için numuneler 10mmX10mm boyutlarında hazırlanmıştır. İşleme hazırlanan deney numuneleri solüsyona alınmış, işlemsiz öncelikle Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarı'ndaki Protherm isimli fırınında 480 °C sıcaklıkta bir saat boyunca solüsyona alınmıştır. Bir saat süreyle fırında bekletilen numuneler daha sonra da suda soğutulmuştur. Soğutulan numuneler daha sonra suni yaşlandırma işlemine tabi tutulmuştur. Bunun için numuneler 120 °C ve 180 °C sıcaklıkta 2, 4, 8, 12 ve 24 saat sürelerle fırında bekletilmiş, yapay yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılan malzemeler, fırından çıkarıldıktan sonra hava, su ve yağda soğutulmuştur.

### 1.2.2. Ani Soğutma

Soğutulma yavaş olursa istenmeyen büyük çökeltiler meydana gelir (Özer, 2004). Soğutma ani olursa kararsız α fazı meydana gelir ki buda aşırı doymuş bir şekilde karşımıza çıkar. Sıcaklık artışı boşluk miktarı artar. Boşluk artışı yayınma hızında artış meydana getirir (Geçkinli,2003). Burada soğutma işlemi yapılırken soğutucu olarak kullanılan suyun sıcaklığı 38 dereceden yüksek olmamasını sağlanmalıdır. Ama iri ve özel parçalar, 65-80°C yavaş soğutulmalı. Bazı döküm parçaları da fanla soğutulmalı (Geçkinli, 2003).

### 1.2.3. Çökeltme

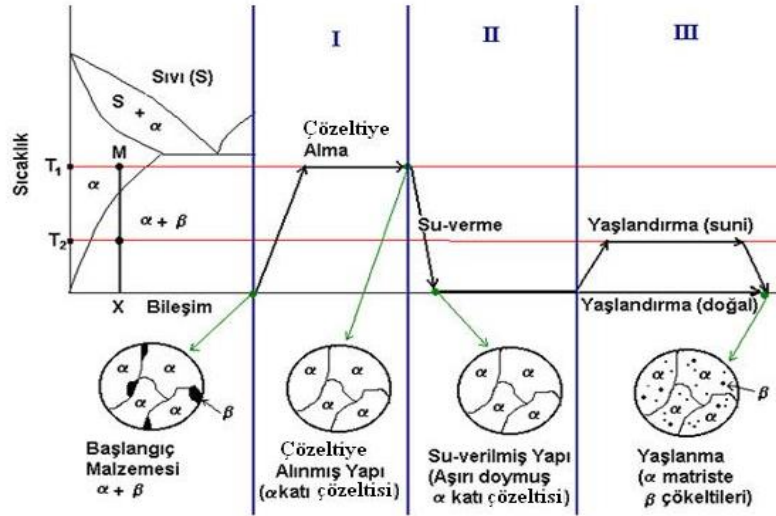
Doymuş çözeltide meydana gelen çözünmüş faz ısı yardımıyla çöker. Bunu oda sıcaklığına alırsak doğal yaşlanma olarak adlandırılır. Sıcaklığı yüksek bir ortamda tutarsak malzemeyi, buna da yapay yaşlanma adı verilir (Özer, 2004).

### 1.2.4. Sıcaklık ve Zaman faktörünün Çökeltme Sertleşmesine Etkisi

Yaşlandırmada sıcaklık artınca doğru orantılı olarak ayrışma hızı da artarak çökelti oluşumu hızlanır. Uygulanan süre uzatılırsa çökelti artışı oluşturur.

### 1.2.5. Çökeltme Sertleşmesi Anında Görülen Dönüşümler

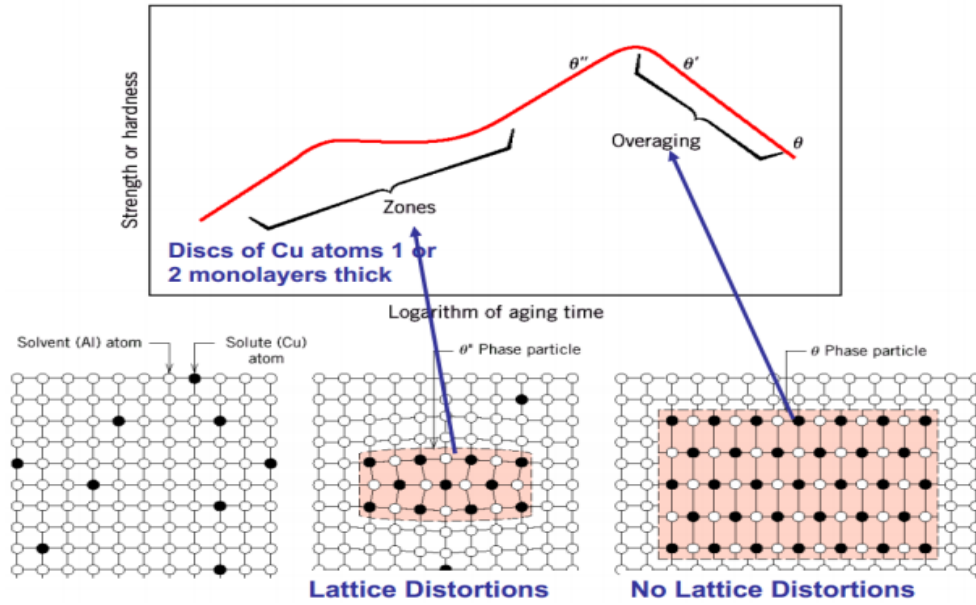
Çözeltinin ani soğutulmasından sonra oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıklarda bekletilmesinden kaynaklı malzemede meydana gelen oluşumlar Şekil 1.6'da gösterilmiştir (Baydoğan, 2003).



Şekil 1.6. Çökeltme sertleşmesi anında oluşan değişimler ( Erdoğan, 1996)

### 1.2.6. Yaşlandırma İşlemi

Guinier-Preston (GP) bölgeleri diye isimlendirilen bu bölgeler küçük olduğundan çökelti parçacığı denmez. Fakat bakırın zamana bağlı olarak yayınması neticesinde atomun boyutunda artış meydana gelir ki buda iki geçiş fazın meydana gelişini oluşturur. Şekil 1.7’de görüldüğü gibi  $\theta$  kararlı faz olmadan  $\theta''$  ve  $\theta'$  diye geçiş fazlarını meydana getirir.



Şekil 1.7.  $\theta$  fazının çökmesi sırasında ortaya çıkacak ara fazlar ve sertliğe etkileri (Kaya, 2005)

### 1.3. Literatür Taraması

Al-Zn-Mg-Cu alaşımları (7xxx serisi al alaşımları) üstün mekanik ve korozyon performansı için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu özellikleri mikro-hassas ve son derece bağlı oluşumu, büyüme ve coarsening çökeltileri. Bugüne kadar, mekanik kapasite ve korozyon direncinin iyi bir kombinasyonunu elde etmek için evrimleşmiş mikro yapıları uyarlamak için çok çeşitli yaşlanma prosedürleri geliştirilmiştir 7xxx serisi al alaşımları. Bu yöntemler arasında izotermal yaşlanma, çok aşamalı yaşlanma, izotermal olmayan yaşlanma, retrogression ve yeniden yaşlanma (RRA) ve stres yaşlanması (sürünme yaşlanması) en önemlisidir. Bu derlemede, tüm bu yaklaşımlar kapsamlı bir şekilde tanıtıldı ve Al-Zn-Mg-Cu alaşımlarının mikroyapı ve özellikleri üzerindeki potansiyel etkileri

tamamen gözden geçirildi. Ayrıca, bu alandaki son gelişmeler ve gelecekteki beklentiler ele alınmaktadır (Abolfazl, 2018).

Hafifliği, işlenebilirliği, yoğunluğu(d), mukavemeti incelendiğinde alüminyum ve türevleri büyük önem almıştır. Kara, hava, deniz, uzay sanayisinde aranan eleman olmuştur (Florea, 2012).

Rafiq ve ekibi 2000 yılında ele aldıkları makalelerinde yaşlandırmaya değinmişlerdir. Isıl işlemle beraber yapılan yaşlandırma neticesinde Al birleşiklerinin iyileştirme safhası en önemli adımdır. Bu bağlamda literatürde yapılan çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır. Bunun neticesinde ortaya çıkan sonuçlara bakıldığında ve elde edilen bulgular neticesinde çeşitli alanlarda kullanılmasının önü açılmıştır. Al ve bünyesine aktarılan maddeler neticesinde isimlendirilen alaşımların kendi içerisinde bile farklılıkları olduğu görülmektedir. Al, Mg,Si bazlı içeriklere verilen ad 6XXX olarak adlandırılarak birçok çalışma sunulmuştur (Rafiq, 2000).

2010 da ele aldıkları akademik makalelerinde Öztürk ile ekibi AA6061 Al malzemesini iki yüz santigrat derecede 10 saat ısıtım işlemi yapmıştır. Elde edilen sonuç max sertliğe onları götürmüştür (Öztürk, 2010).

Mrowka'yla ekibi yaptıkları bilimsel bulgularında AA6005-AA6082 kombinasyonunu incelemiş ve buna ısıtım işlemi uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuç gösterdi ki aşınmadan kaynaklı doğacak direncin geliştiği gözlemlenmiştir (Mrowkak, 2005).

Meyveci'yle ekibi yaptıkları çalışmalarında mekanik özelliklerle beraber aşınma direncinin iyi yönde bulgular bulduklarını AA6063 için elde etmişlerdir. Bu işlemde yaptıkları ısıtım işlemleri literatüre kazandırmışlardır (Meyveci, 2010).

Barbosa'yla ekibi yaptıkları yaşlandırmada 6013-6061'in mekanizmasını ve kaynağını inceleyerek bulgular elde etmişlerdir. 6013'ün kaynak özelliği en iyi çıkmıştır (Barbosa, 2006).

Braun AA6082 alaşımıyla yaptığı çalışmada mekanik özellikler üzerinde iyileştirme yolları araştırmıştır (Braun, 2006).

Petroyiannis 6013'le yaptığı çalışmada korozyonu incelemişlerdir. Korozyon-mekanik özellik ilişkisinin ters orantılı olduğu sonucunu bulmuşlardır (Petroyiannis, 2004).

Tesch'le ekibi tarafından yapılan çalışmada, 6013'le çalışmalarında çatlak oluşumu üzerinde makale yayınlamışlardır. Yorulma testi ile beraber darbe testi yapılarak sonuçlar irdelenmiştir. Mg-Si katkılı alaşımların ise korozyona karşı daha dayanıklı oldukları tespit edilmiştir (Tesch, 2007).

Demir ile ekibi AA6061'e ısıtıl işlem uygulayarak değişik kesme hızlarına maruz bırakmıştır. Düşük hızda ısıtıl işlem görmüş numunelerinin mekanik özelliğini incelemişlerdir (Demir, 2009).

Al-Cu'nun yoğunluğu, dayanımı ve yaşlandırılması ele alındığında kara ve hava sanayisinde rağbet gören bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle bu konuyla alakalı olarak Sanchez ve ekibi çalışmalarını kaleme almışlardır (Sanchez, 2002).

Doğan yaptığı çalışmada Al'un mekanik özelliklerini incelemiş olup sebeplerini irdelemiştir. Buna ek olarak yapılan ısıtıl işlemlerle sertlikleri hakkında sonuçları paylaşmıştır (Doğan, 1989).

Meyveci ve ekibi yaşlandırma koşullarını ve çeşitlerini inceleyerek elde ettikleri verileri literatüre aktarmışlardır (Meyveci, 2007).

Kurt 2008 de yaptığı çalışmada talaşlı imalat ve imalat yöntemlerine değinerek malzemenin özelliklerini incelemiştir (Kurt, 2008).

Shokroni ve ekibi 2012 de ele aldıkları makalelerinde malzemelerin sertlik ve yumuşaklıklarına göre talaşlı imalat yöntemlerinin uygulandığını ifade etmişlerdir. Kolay-zor işleme olarak gruplandırılmasını ele almışlardır (Shokroni, 2012).



## 2. MATERYAL VE METOT

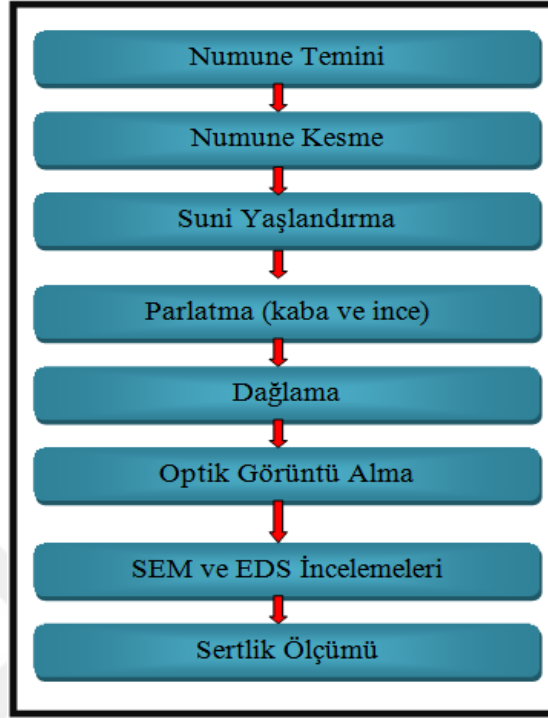
Bu çalışmada AA 7075 Alüminyum alışıını kullanarak belirli ısıı işlemlerden geçirilmiş ve sırasıyla mikroskopik, SEM-EDS ve sertlik değeri ve görüntüleri incelenmiştir.

Deney için yapılan tüm çalışmalar Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan Al-7075 serisi malzemesinin seçilmesinin nedeni, yüksek mukavemetin, korozyona hafifliğin ve direncin kullanıldığı yerlerde tercih alüminyum olması ayrıca havacılık, otomotiv endüstrisi, gemi sanayisi ve ordu donanım malzemesi olarak kullanılır olması söylenebiliriz.

Deneydeki amaç hazır alınan Al 7075 serisinin belirli aşamalarda geçirilerek alüminyum alaşımlarında çökelme sertleşmesinin (yaşlanma) mekanik özelliklere etkisi ve metalografik olarak farklılıkların incelenmesi amaçlanan bu çalışmada, ilk aşama olarak numunelerin yüzeyleri hassas kesme cihazı ile yüzeyleri düzgün bir şekilde 30 adet kesilmiş ve deney için hazır hale getirilmiştir. 30 adet hazırlanmasının amacı ayrı ayrı işlemlere tabi olan numuneleri karşılaştırılmasıdır. İkinci aşamada yaşlandırma işlemine tabi olan numunelerin mekanik özelliklerinin incelenmesi amacıyla metalografik işlemlere tabii tutulmuştur. Bu amaçla numuneler; Optik mikroskop, SEM ve EDS analizlerine tabii tutulmuştur. Son aşamada numunelerin sertlik değeri ölçülmüştür.

Kullandığımız 7xxx serisi alüminyum alışıımından olan, 7075 malzemesinden üretilmiş parçalar hazır temin edildi. Alınan malzemeler aşağıda belirtilen aşamalardan geçirilerek malzemedeki görülen değişimler araştırıldı.

**Tablo 2.1.** İşlem akış şeması



**Şekil 2.1.** Deneyde kullanılan 30 adet numune

## 2.1. Kullanılan Cihazlar

Yapılan bu pratik çalışmalarda ısıtım işlemi ile suni yaşlandırma işleminde Protherm marka dijital göstergeli yüksek sıcaklık fırını, metalografik malzeme hazırlama işlemlerinde Metkon marka isimli kesme ile parlatma aletleri, mikroskop görüntülemelerinde Nikon MA100N markalı ışık mikroskobu, mikro-sertlik ölçümlerde Mitutoyo marka Vickers mikro-sertlik cihazı kullanıldı. SEM ve EDS analizleri yapıldı.

## 2.2. Kesme cihazı

Demir testeresi ile kaba kesilen numuneler önce hassas kesme işlemine Metkon marka kesme cihazı ile kesilip inceleme yapılacak şekilde küçük numuneler haline getirilmiştir. Kesme işlemiyle numuneler 10 mm x 10 mm boyutlarına getirilmiştir.



Şekil 2.2. Metkon marka kesme cihazı

## 2.3. Uygulanan Isıl İşlemler

Hazırlanan yaklaşık 1 cm<sup>2</sup>'lik 30 adet numune AA 7075 Al-alaşımları öncelikle 480 °C sıcaklıkta, 1 saat bekletilmiş, ardından da işlem gören malzemeler fırından alınıp 0°C sıcaklıktaki suda soğutuldu. Numunelere T1, T1+RRA 120 °C ve T1+RRA 180 °C ısıtım işlemleri uygulanmıştır. Daha sonra 15'er numune 120 °C sıcaklıkta; 2, 4, 8, 12 ve 24 saat süre ile yaşlandırılmış hava, su ve yağda soğutulmuştur. Geri kalan 15 numune de 180 °C sıcaklıkta; 2, 4, 8, 12 ve 24 saat süre ile yaşlandırılmış tekrar hava, su ve yağda soğutulmaya

alınmıştır. Numunelerin yaşlandırma dereceleri ve süreleri tabloda verilmiştir. Yaşlandırma işlemi Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Laboratuvarında şekil 2.3'deki Protherm marka dijital göstergeli yüksek Sıcaklık Fırını ile aşağıdaki tablolarda belirtilen sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 2.2.** Isıl işlem sıcaklıkları ve süreleri

| İlk yapılan Fırlama Derecesi | Süre (saat) | Yaşlandırma Sıcaklığı (°C) | Süre (saat)       |
|------------------------------|-------------|----------------------------|-------------------|
| 480 °C                       | 1           | 120                        | 2, 4, 8, 12 ve 24 |
|                              |             | 180                        | 2, 4, 8, 12 ve 24 |

**Tablo 2.3.** Yapılan ısıl işlem sıcaklık derecesi ve zamanları açıklamalı

| Isıl işlem çeşidi | Uygulanan değerler                                                                                                                  |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>T1</b>         | 480 °C'de 1 saat, çözeltiye alma +15 saniyede suda ani soğutma                                                                      |
| <b>T1+RRA 120</b> | T1 ısıl işlemi gören numuneler 120 °C'de değişik sürelerde (2, 4, 8, 12 ve 24 saat yaşlandırılmış) hava, su ve yağda soğutulmuştur. |
| <b>T1+RRA 180</b> | T1 ısıl işlemi gören numuneler 180 °C'de farklı sürelerde (2, 4, 8, 12 ve 24 saat yaşlandırılmış) hava, su ve yağda soğutulmuştur   |



Şekil 2.3. Isıl işlem yapılan fırının görüntüsü.

#### 2.4. Parlatma cihazı

Hazırlanan numuneler zımparalama işlemi için, şekil 2.4'deki Metkon marka Parlatma cihazı ile 180, 400, 600, 1000, 1200 ve 2000 numaralı zımparalarla malzemelerin yüzeyi düzeltilmiştir. Zımparalama işlemi sonunda alkol ile temizlenen numuneler kurutularak oksitlenmesi engellenmiştir. Kurutulan numuneler 1 µm'lik elmas süspansiyon ile çuhalama işlemi yapılmıştır. Çuhalama işleminden ardından numuneler su ile yıkanarak alkol banyosuna yatırılmış ve kurutulmuştur.



Şekil 2.4. Metkon marka Parlatma cihazı

## 2.5. Dağlama işlemi

Hazırlanan Keller Çözeltisinde 20 sn. süre boyunca bekletilip, sonrasında yüzey su ile yıkanıp kurutulmuştur. Dağlayıcının karışımı tablo 2.4'te ve dağlayıcı için gerekli malzemeler şekil 2.5'te verilmiştir.

**Tablo 2.4.** Dağlayıcı karışımı

| Dağlayıcı İçin hazırlanan çözelti | Kullanılan malzemeler                                                                         |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Keller</b>                     | Nitrik asit: 5 ml<br>Hidroklorik asit: 3 ml<br>Hidroflorik asit ( HF): 2 ml<br>Saf su: 100 ml |



**Şekil: 2.5.** Dağlayıcı için gerekli malzemeler

## 2.6. Optik İncelemeler

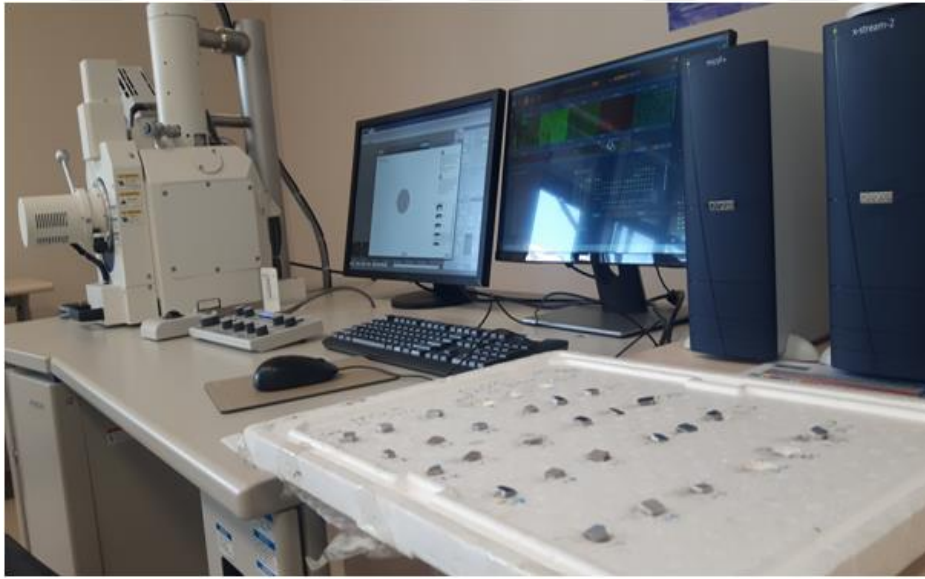
Dağlama işleminin ardından optik inceleme işlemine geçilmiştir. NİKON MA/100N marka cihazla inceleme işlemi gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.6.** Optik cihazı NİKON MA/100N

## **2.7. SEM ve EDS Analiz Cihazı**

Isıl işleme tabi olan numunelerin SEM (Scanning Elektron Microscopy) ve EDS (Energy Dispersive Spectrograf) analizi Munzur Üniversitesi Malzeme laboratuvarında bulunan görüntüleme cihazında gerçekleştirilmiştir.



**Şekil 2.7.** SEM ve EDS görüntüleme cihazı

## **2.8. Sertlik Ölçümleri**

Yaşlandırma neticesinde malzemelerin mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikleri belirlemek için, Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği laboratuvarında

numuneler üzerinde mikro-sertlik ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler Şekil 2.8’de görülen Mitutoyo marka Vickers mikro-sertlik ölçüm cihazıyla, 1/16’lık küre uç ile 100 g’lık yükleme altında yapılmıştır. Her deney malzemesinden 3’er ölçüm yapılarak, çıkan ölçümlerin ortalaması sertlik değeri olarak belirlendi.



**Şekil 2.8.** Mitutoyo Sertlik Test Cihazı (Hardness Testing Machine) HM



### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

**Tablo 3.1.** Kullanılan malzemelerin özellikleri

| Numune No | Numunenin Özellikleri                      |
|-----------|--------------------------------------------|
| 1         | 120 °C 2 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 2         | 120 °C 2 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 3         | 120 °C 2 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 4         | 180 °C 2 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 5         | 180 °C 2 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 6         | 180 °C 2 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 7         | 120 °C 4 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 8         | 120 °C 4 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 9         | 120 °C 4 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 10        | 180 °C 4 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 11        | 180 °C 4 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 12        | 180 °C 4 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 13        | 120 °C 8 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 14        | 120 °C 8 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 15        | 120 °C 8 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 16        | 180 °C 8 saat yaşlandırma, havada soğutma  |
| 17        | 180 °C 8 saat yaşlandırma, suda soğutma    |
| 18        | 180 °C 8 saat yaşlandırma, yağda soğutma   |
| 19        | 120 °C 12 saat yaşlandırma, havada soğutma |
| 20        | 120 °C 12 saat yaşlandırma, suda soğutma   |
| 21        | 120 °C 12 saat yaşlandırma, yağda soğutma  |
| 22        | 180 °C 12 saat yaşlandırma, havada soğutma |
| 23        | 180 °C 12 saat yaşlandırma, suda soğutma   |
| 24        | 180 °C 12 saat yaşlandırma, yağda soğutma  |
| 25        | 120 °C 24 saat yaşlandırma, havada soğutma |
| 26        | 120 °C 24 saat yaşlandırma, suda soğutma   |
| 27        | 120 °C 24 saat yaşlandırma, yağda soğutma  |
| 28        | 180 °C 24 saat yaşlandırma, havada soğutma |
| 29        | 180 °C 24 saat yaşlandırma, suda soğutma   |
| 30        | 180 °C 24 saat yaşlandırma, yağda soğutma  |

### 3.1. Sertlik Sonuçları

Çalışmamızda AA 7075 Alüminyum alaşımına (Al-Zn-Mg-Cu) farklı sıcaklıklarda, sürelerde ve soğutma ortamlarında 30 farklı numune üzerinde yaptığımız mikrosertlik testlerinde her bir numune için üç noktadan değerler alınarak ortalamaları bulunmuştur.

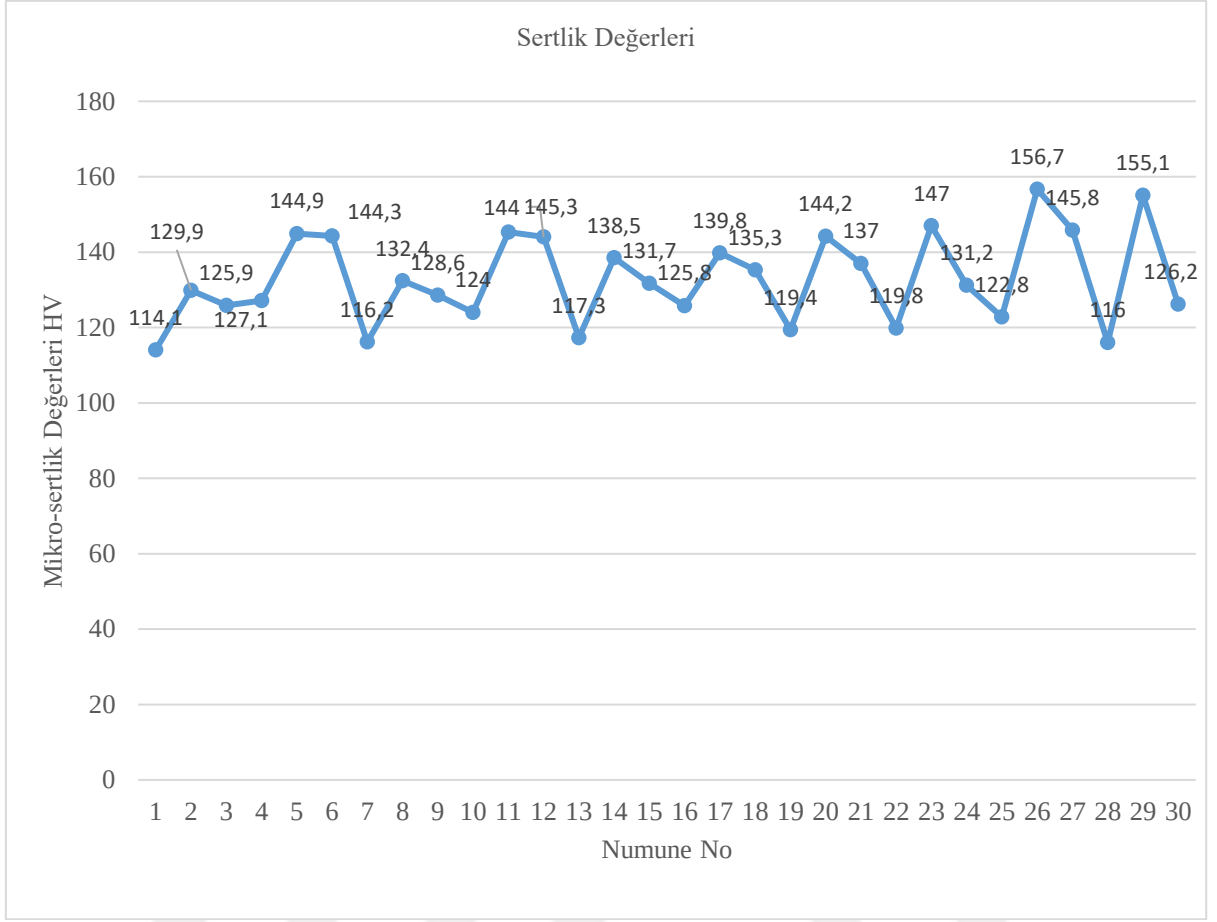
Numunelerin mikro sertliklerini veren çizgisel grafik tablo 4.3’de verilmiştir. Bu grafiğe göre her bir numunenin havada, suda ve yağda soğutulmuş mikrosertlik değerlerinde farklılıklar oluşturulmuştur. Bu sıralama malzemenin genelinde; Suda soğutma> yağda soğutma>havada soğutma şeklindedir.

Çalışmamızda soğutma ortamlarından ziyade yaşlandırma ısııl işlemi sıcaklıklarındaki (120 °C ve 180 °C) etkilerine baktığımızda ise 180 °C deki çalışmalarda sertlik değerinin 120 °C uygulanan numunelere kıyasla daha sert olduğu görülmüştür.

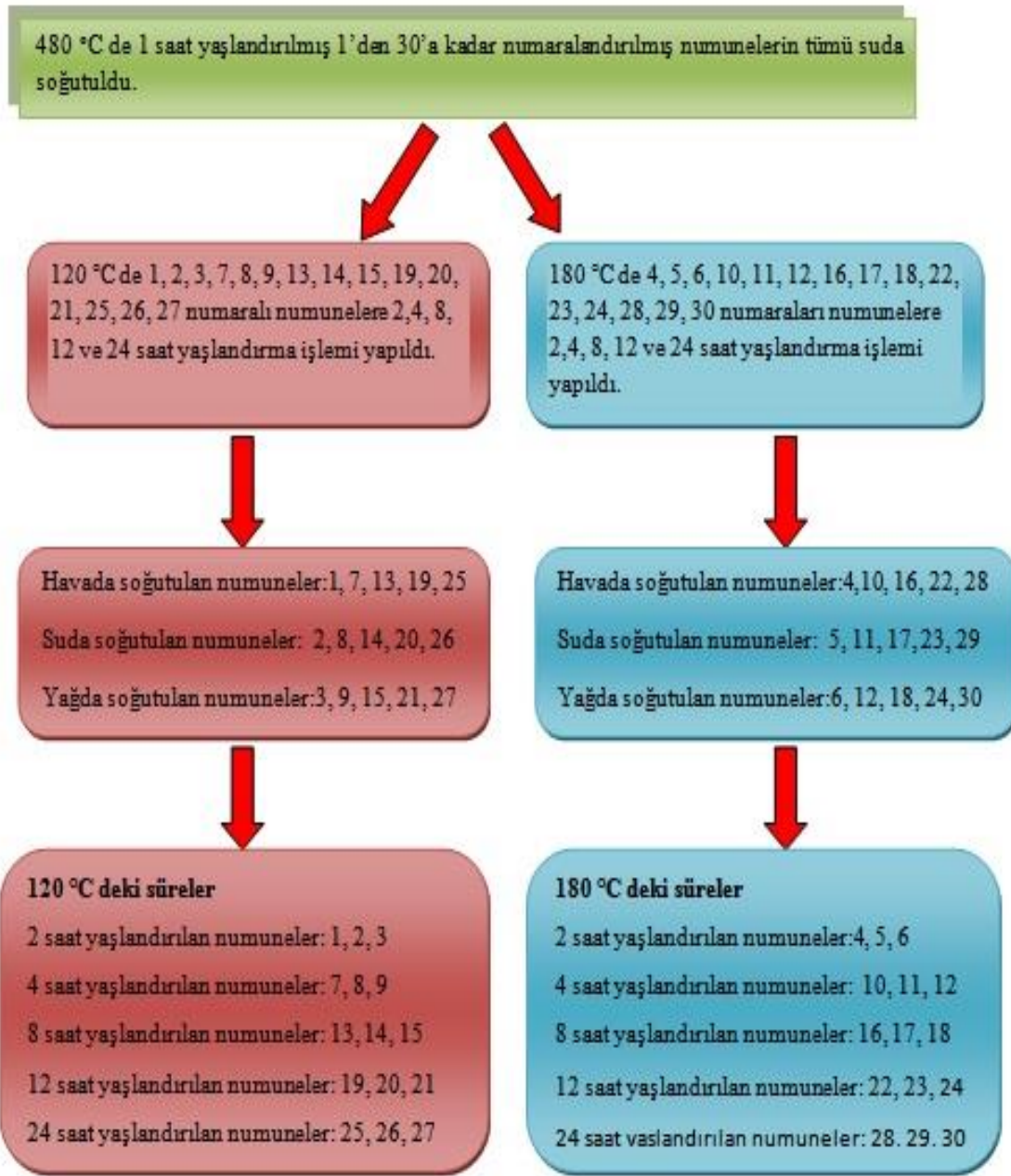
Yaşlandırma ısııl işlem süreleri açısından kıyasladığımızda (2, 4, 8, 12, 24 saat) ise süre ne kadar uzun tutulursa yani 24 saat uygulamaları mikrosertlik açısından en sert numuneler olarak tespit edilmiştir.

**Tablo 3.2.** Numunelere ait mikro-sertlik ortalama sonuçları

| Numune No | Ortalama Sertlik Değerleri |
|-----------|----------------------------|
| 1         | 114,1                      |
| 2         | 129,9                      |
| 3         | 125,9                      |
| 4         | 127,1                      |
| 5         | 144,9                      |
| 6         | 144,3                      |
| 7         | 116,2                      |
| 8         | 132,4                      |
| 9         | 128,6                      |
| 10        | 124                        |
| 11        | 145,3                      |
| 12        | 144                        |
| 13        | 117,3                      |
| 14        | 138,5                      |
| 15        | 131,7                      |
| 16        | 125,8                      |
| 17        | 139,8                      |
| 18        | 135,3                      |
| 19        | 119,4                      |
| 20        | 144,2                      |
| 21        | 137                        |
| 22        | 119,8                      |
| 23        | 147                        |
| 24        | 131,2                      |
| 25        | 122,8                      |
| 26        | 156,7                      |
| 27        | 145,8                      |
| 28        | 116                        |
| 29        | 155,1                      |
| 30        | 126,2                      |



Şekil 3.1. Numunelere ait mikro-sertlik değerleri



Şekil 3.2. Numuneler ve yapılan yaşlandırma aşamaları

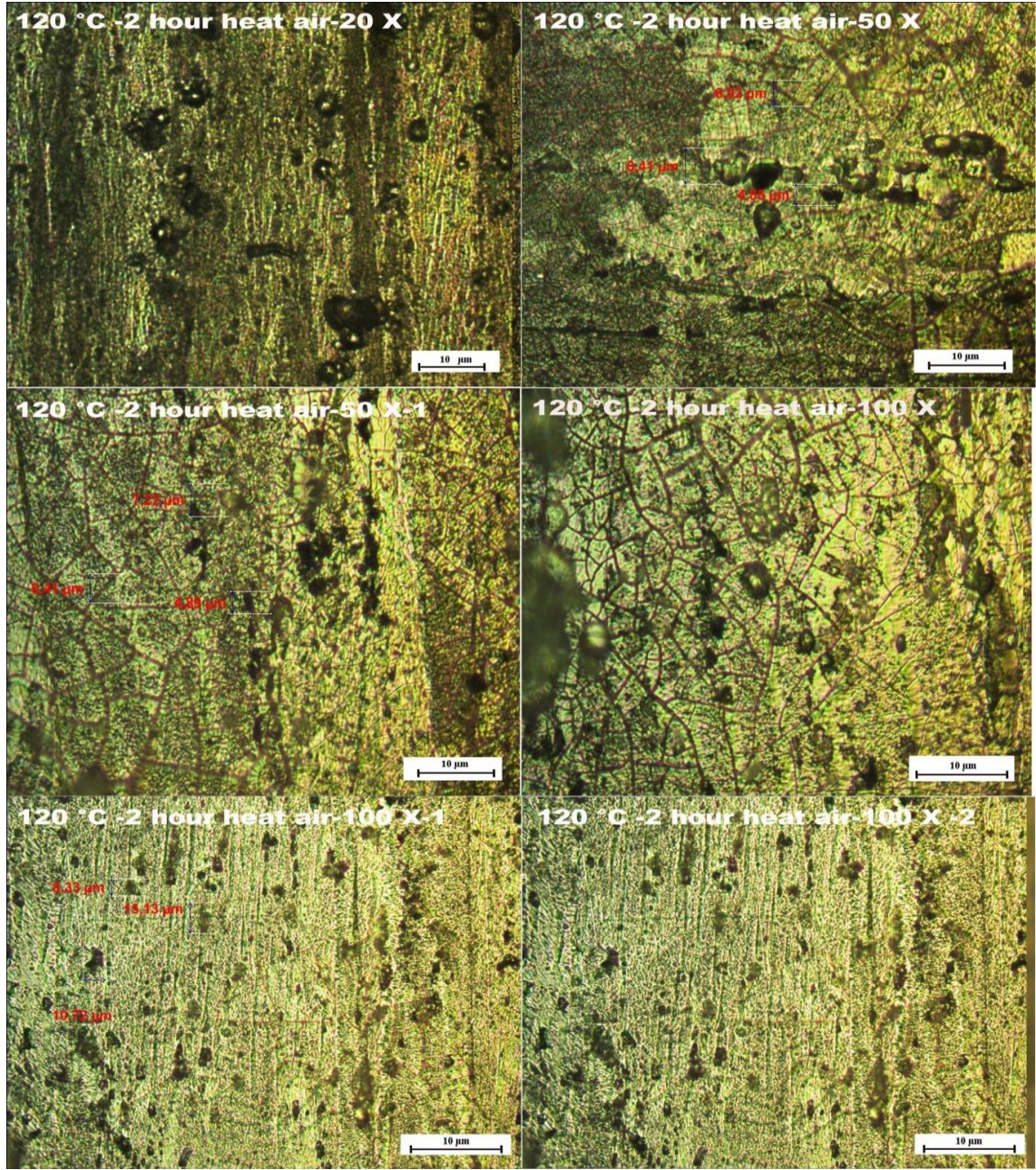
### **3.2. 120 °C ve 180 °C’de İşlem Yapılan Numuneler**

Yaşlanma sözcüğü, genel anlamda birbirleri içinde sınırlı çözünürlüğe sahip (tek faz alanı içeren) alaşımlara yapılan bir sertleştirme metodudur. Bu işlem, ikinci fazın bir matris içinde katı çözültiden çökmesinden dolayı alaşımın dayanıklılığının artmasını sağlar. Çökme sertleşmesi, demirin dışındaki malzemelerde özellikle Al esaslı alaşımlarda diğerlerine göre daha geniş bir kullanım alanına sahiptir. Alüminyum alaşımlarında çökme sertleşmesinin (yaşlanma) mekanik özelliklere etkisi ve metalografik olarak farklılıkların incelenmesi amaçlanan bu çalışmada, Metalografik olarak her bir numuneden aldığımız optik görüntüler üzerinden yaptığımız incelemelerde: Numunelerin tamamı 480 °C de 1 saat ısıtılıp ısıtılma tabii tutularak suda soğutulmuştur. Bu sıcaklık Al alaşımları için yüksek olup malzemenin bütününe etkilemektedir. Çalışmanın ikinci aşamasında ise 120 °C gibi düşük bir ısıda ve 180 °C gibi yaşlandırma işlemi sıcaklığının ideal olduğu derecelerde çalışılarak yapının sıcaklık farklarına bağlı olarak metalografik açıdan incelediğimizde:

#### **3.2.1. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (1 Nolu) Numune**

Şekil 3.3’de görülen 1 nolu numunenin farklı büyütme oranlarında optik görüntülerini incelediğimizde yüzeyin 480 °C’lik ilk ısıtılma işlemin etkilerini malzeme yüzeyinde görmekteyiz. İkinci aşamada ise 120 °C’de çalışılmasına rağmen yapının yüzeyinde yanmalar meydana geldiği görülse de Al un düşük ergime derecesinden (660 °C) kaynaklı olarak 120 °C’de dahi ne derece etkilendiği görülmektedir. Malzemenin tane yapısı optik görüntülerden incelediğimizde ise 50X ve 100X büyütmelerde  $\alpha$  fazından oluşan tanelerin ve tane sınırlarının belirgin bir şekilde görüldüğü suni yaşlandırmanın gerçekleştiği görülmüştür.



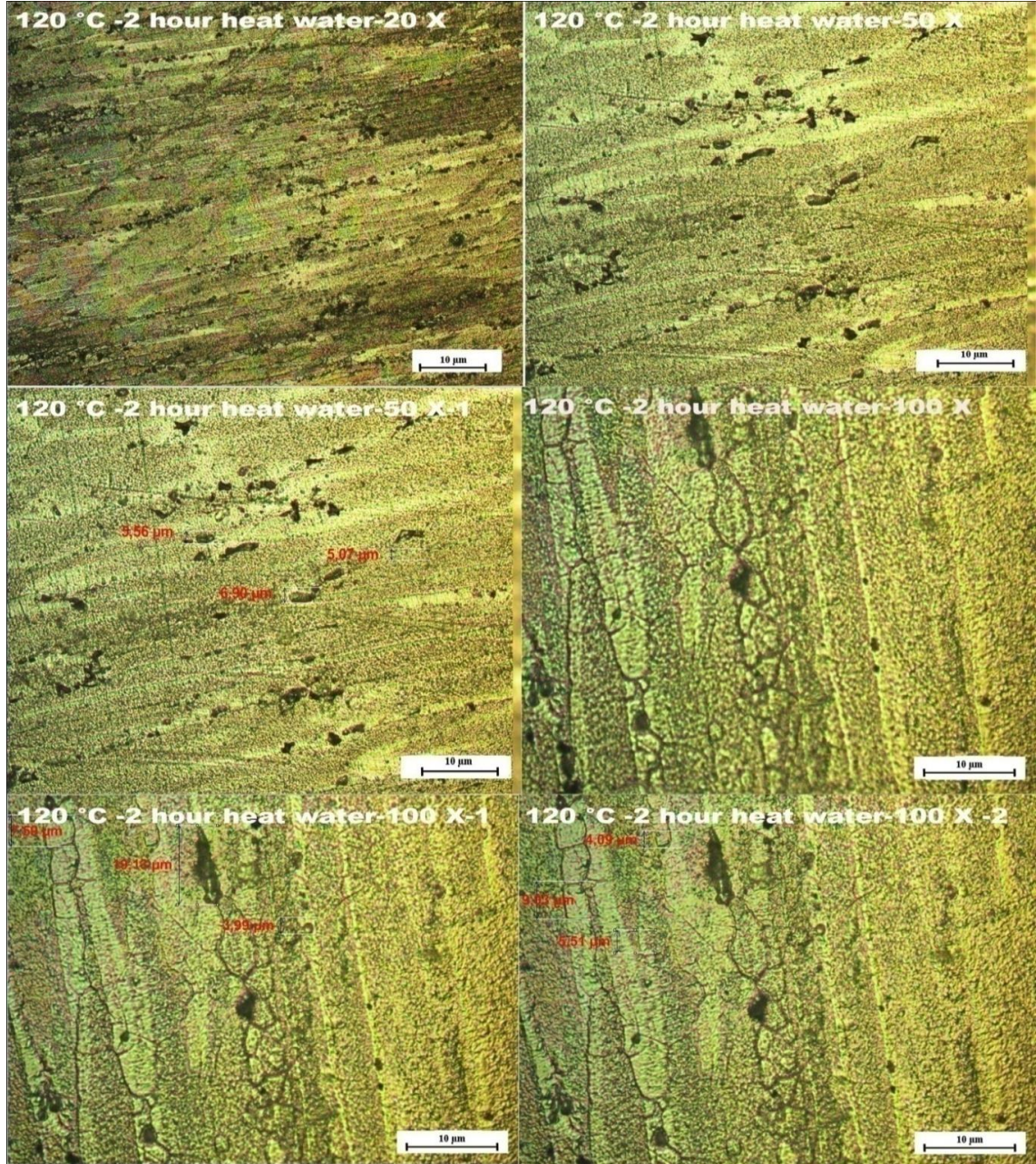


Şekil 3.3. 1 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.2. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (2 Nolu) Numune

Şekil 3.4'te görülen 2 nolu numunenin farklı büyütme oranlarında optik görüntülerini incelediğimizde yapının suda soğutmadan kaynaklı tanelerde bir yönlenme olduğu ve  $\alpha$  tanelerinin ince uzun görünümünün olduğunu söyleyebiliriz.

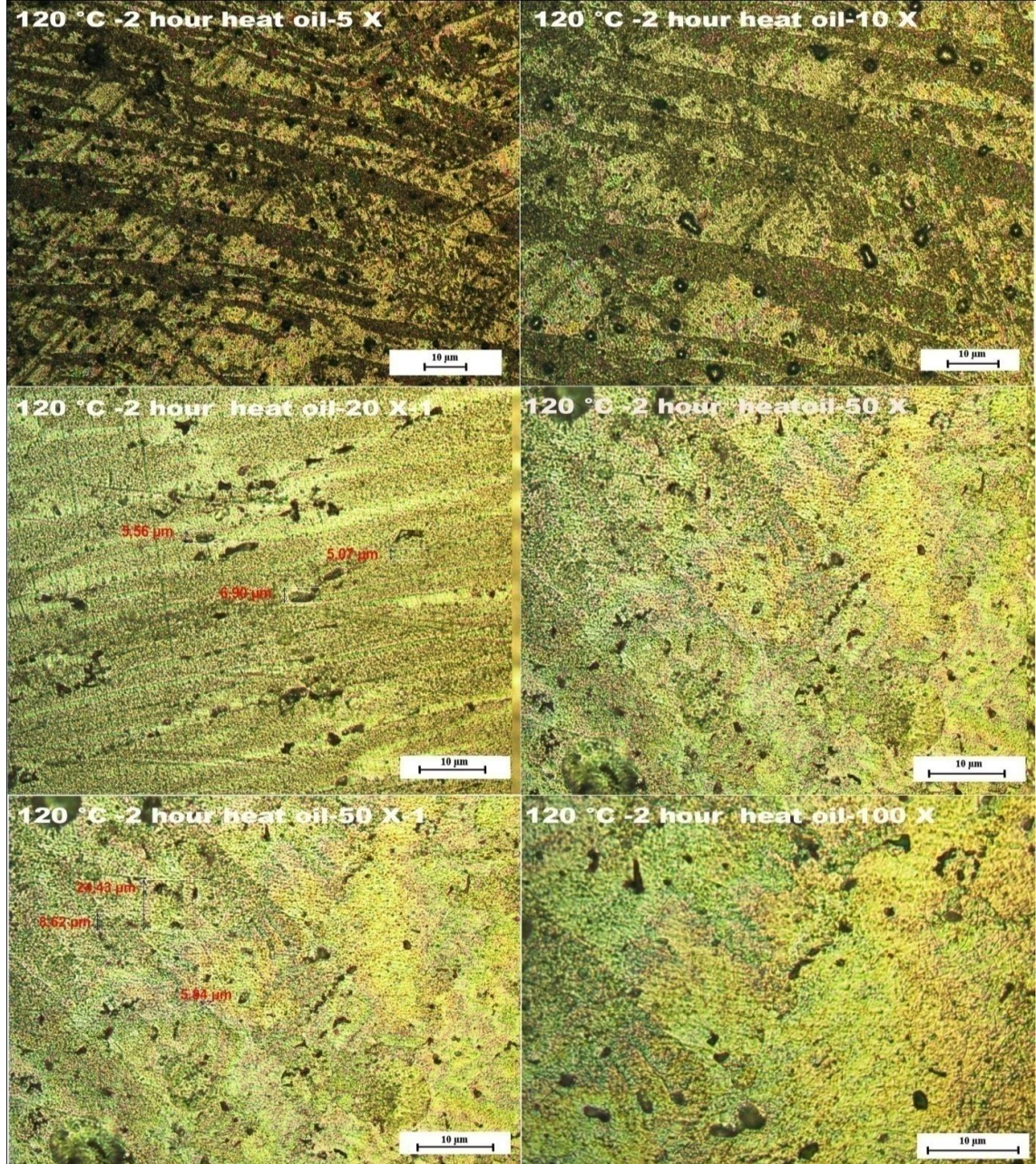


Şekil 3.4. 2 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.3. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (3 Nolu) Numune

Üç nolu numuneye ait Şekil 3.5'te görülen optik görüntüleri incelediğimizde suda soğuttuğumuz 2 nolu numuneye benzer bir yapı elde edilmiştir. Tanelerin boyutları biraz daha iri olduğu bunda nedeninin soğumanın yağ ortamında yapılmış olmasıdır.

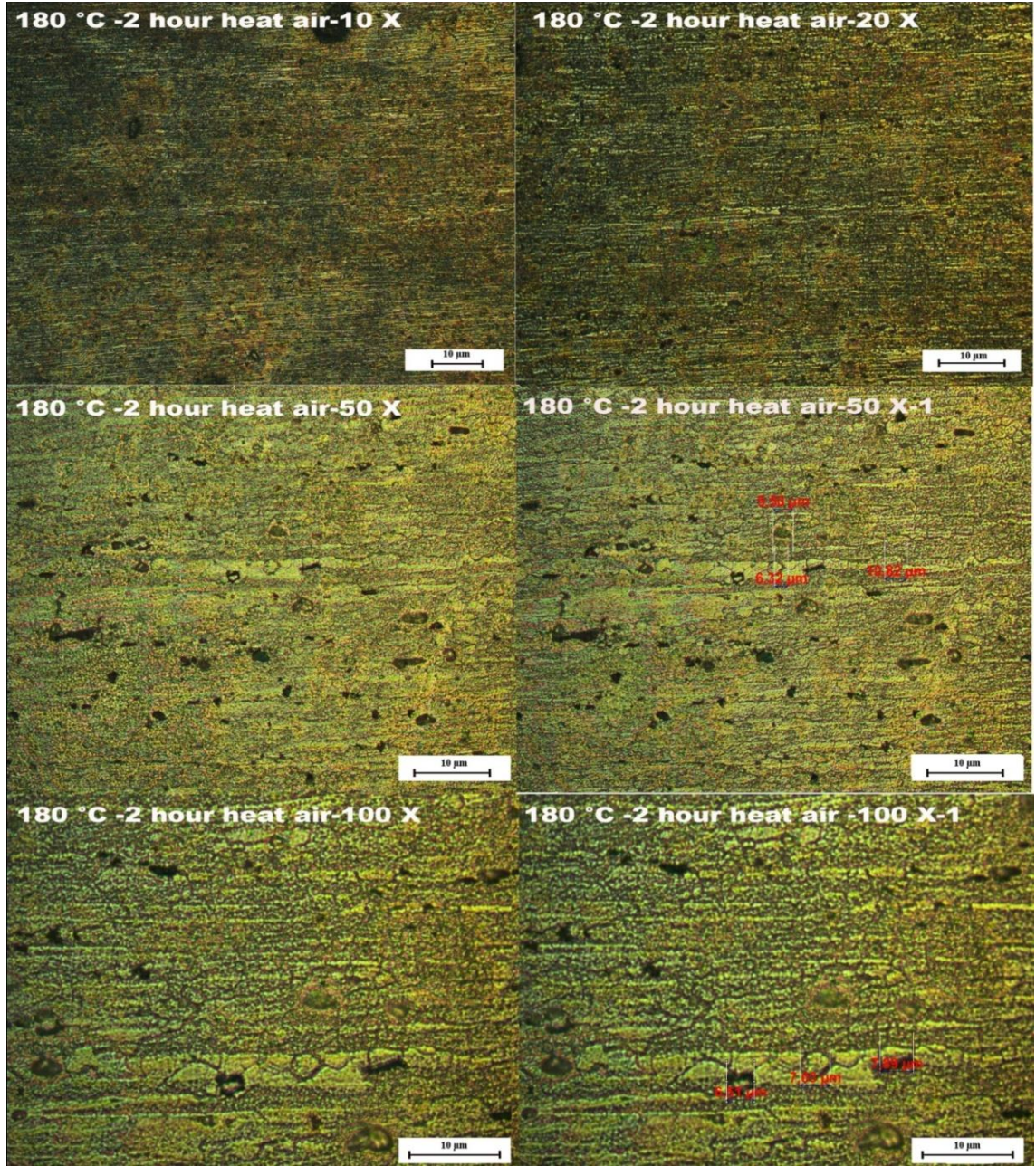


Şekil 3.5. 3 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.4. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (4 Nolu) Numune

Şekil 3.6'da 4 nolu numunenin farklı büyütmelerdeki optik görüntülerini incelediğimizde, malzemelere uygulanan ısıtma işlem sonrası açık havada soğutulan numunelerde tane yapısı homojen bir dağılım gösterirler. 4 nolu numunemizde de böyle bir görüntü elde edilmiştir.

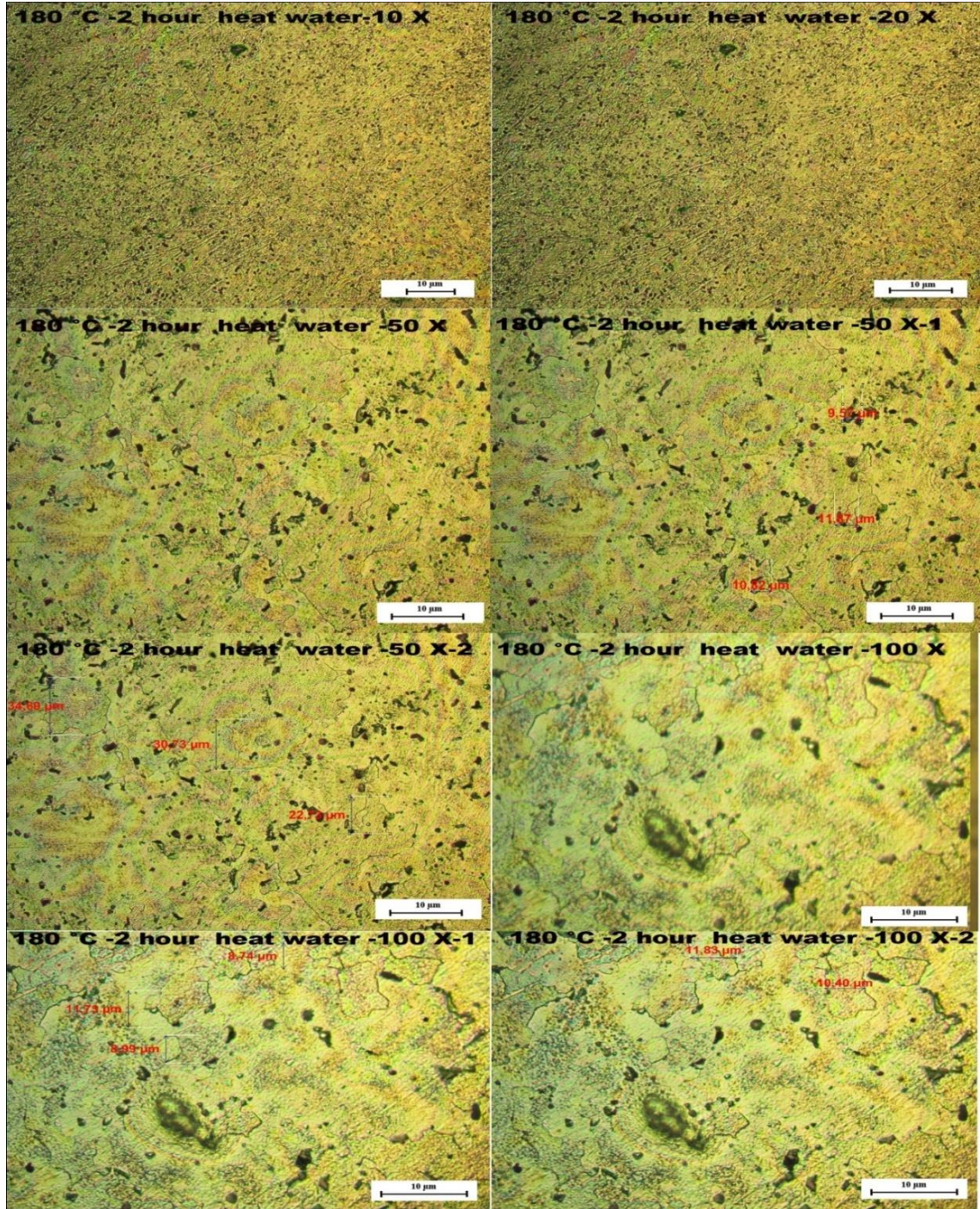


Şekil 3.6. 4 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.5. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (5 Nolu) Numune

Şekil 3.7’de 5 nolu numune hızlı bir soğutma ortamında soğutulduğu için yapı biraz daha düzensiz ve karışıktır. Tane sınırları da diğer numunelere göre belirgin olmadığı görülmektedir.

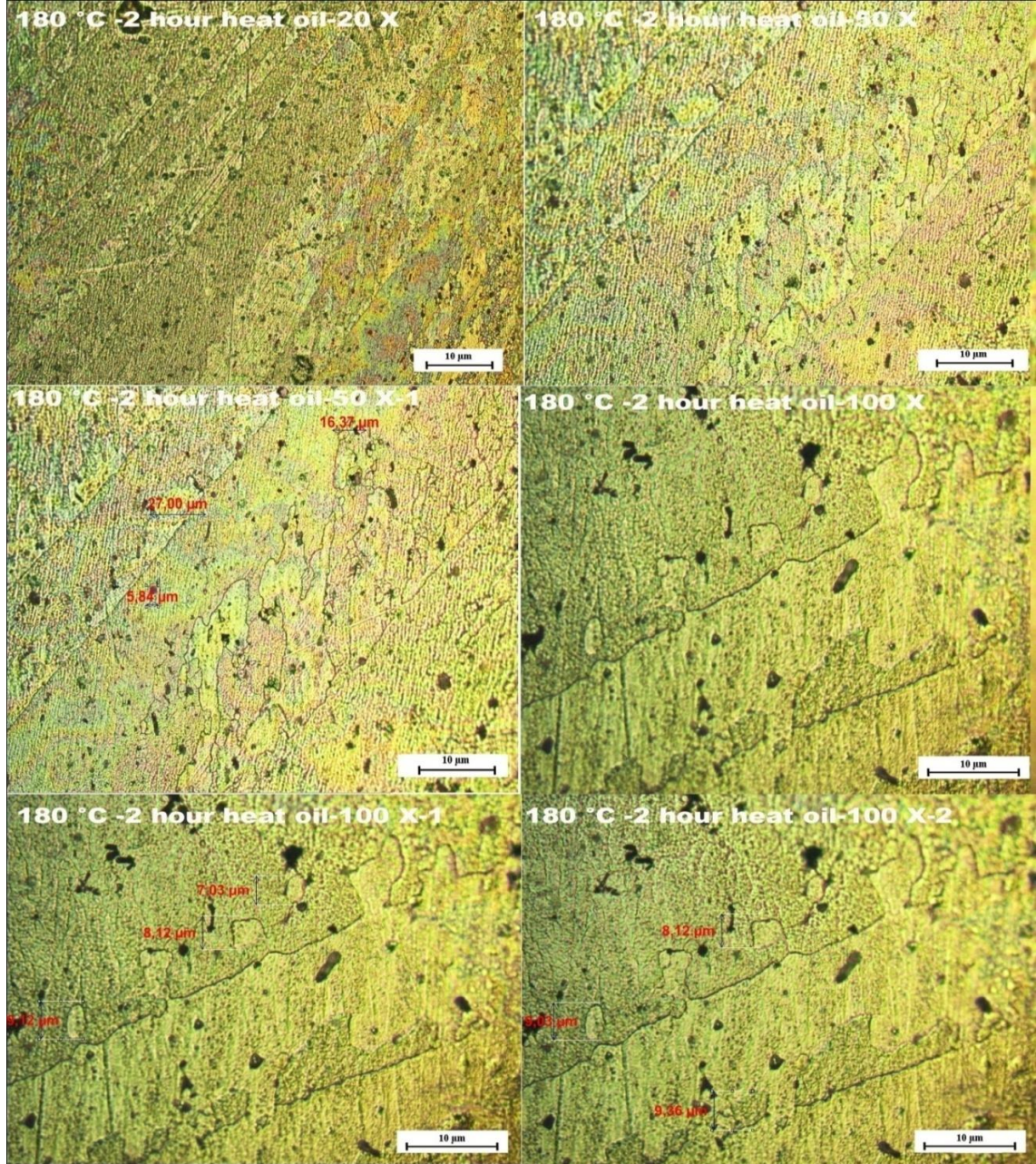


Şekil 3.7. 5 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.6. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (6 Nolu) Numune

Şekil 3.8’de 6 nolu numuneyi 3 nolu numuneyle kıyaslayacak olursak, optik görüntülerin aynı olduğu fakat 180 °C’de ısıtılma işlemine tabi tutulduğu ve yavaş soğuma ortamı olan yağda soğutulduğundan taneler daha iri bir görünüme sahiptirler.

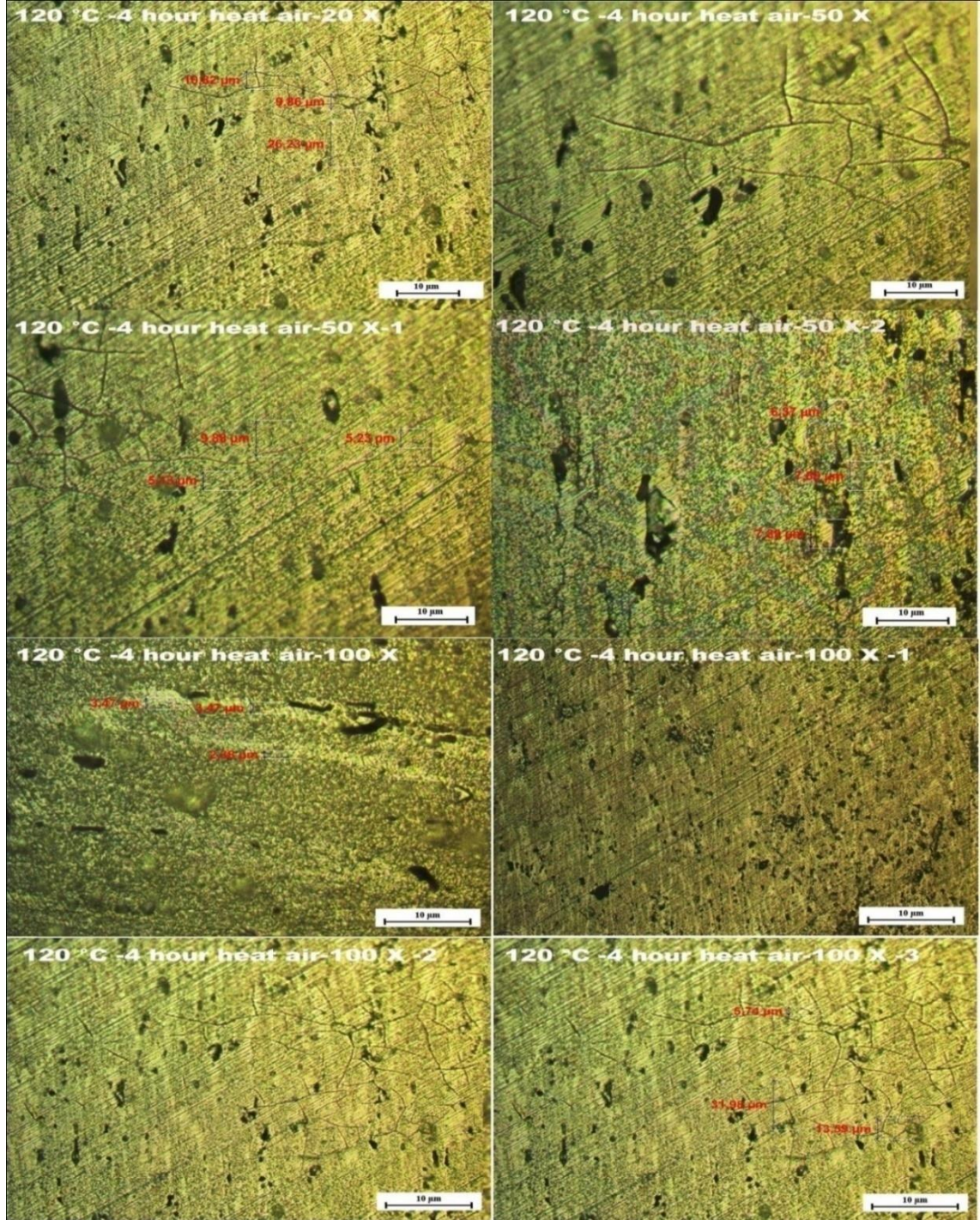


Şekil 3.8. 6 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.7. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (7 Nolu) Numune

Şekil 3.9'da 7 nolu numuneye ait optik görüntüsünü incelediğimizde özellik 100X büyütmede farklı büyütmelelerdeki  $\beta$  fazlarının çökeldiği ve tane sınırları içerisine doğru ilerleyerek kendilerine matris içerisinde yer bulmuşlardır.

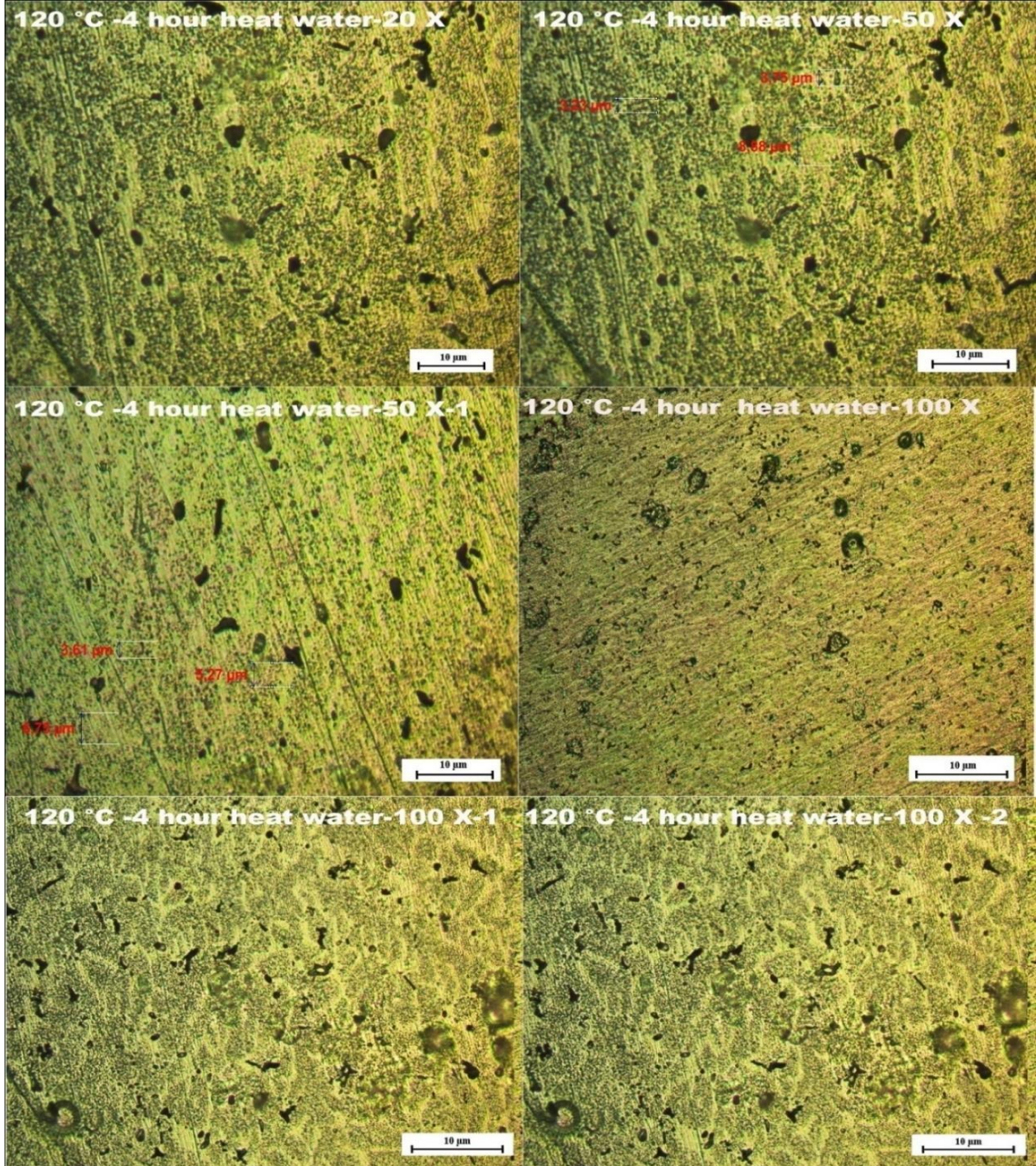


Şekil 3.9. 7 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.8. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (8 Nolu) Numune

Şekil 3.10’da 8 nolu numuneye ait farklı büyütmelerdeki optik görüntülerinde ise yapıyı oluşturan tanelerin suda soğutmadan kaynaklı biraz daha küçük tanelerden oluştuğu ve çökelmenin gerçekleştiğini görmekteyiz.

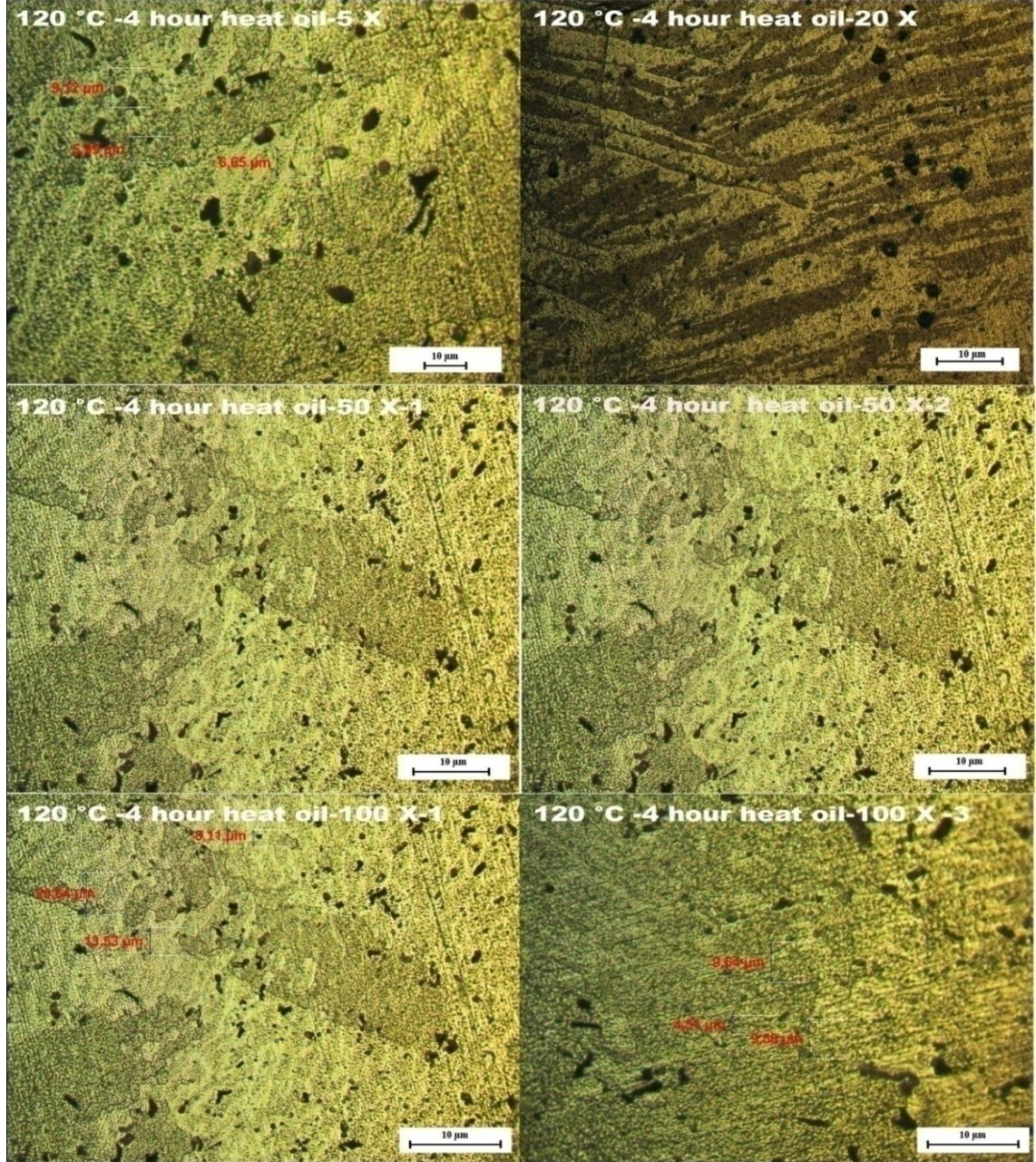


Şekil 3.10. 8 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.9. 120 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (9 Nolu) Numune

9 nolu numuneyi Şekil 3.11’de incelediğimizde ise özellikle 20X büyütmede yapı belirgin bir şekilde görülmektedir. A fazı koyu kahverengi bölgeler olup bu bölgeler içerisindeki küçük siyah noktalar ise  $\beta$  fazını oluşturmaktadır.

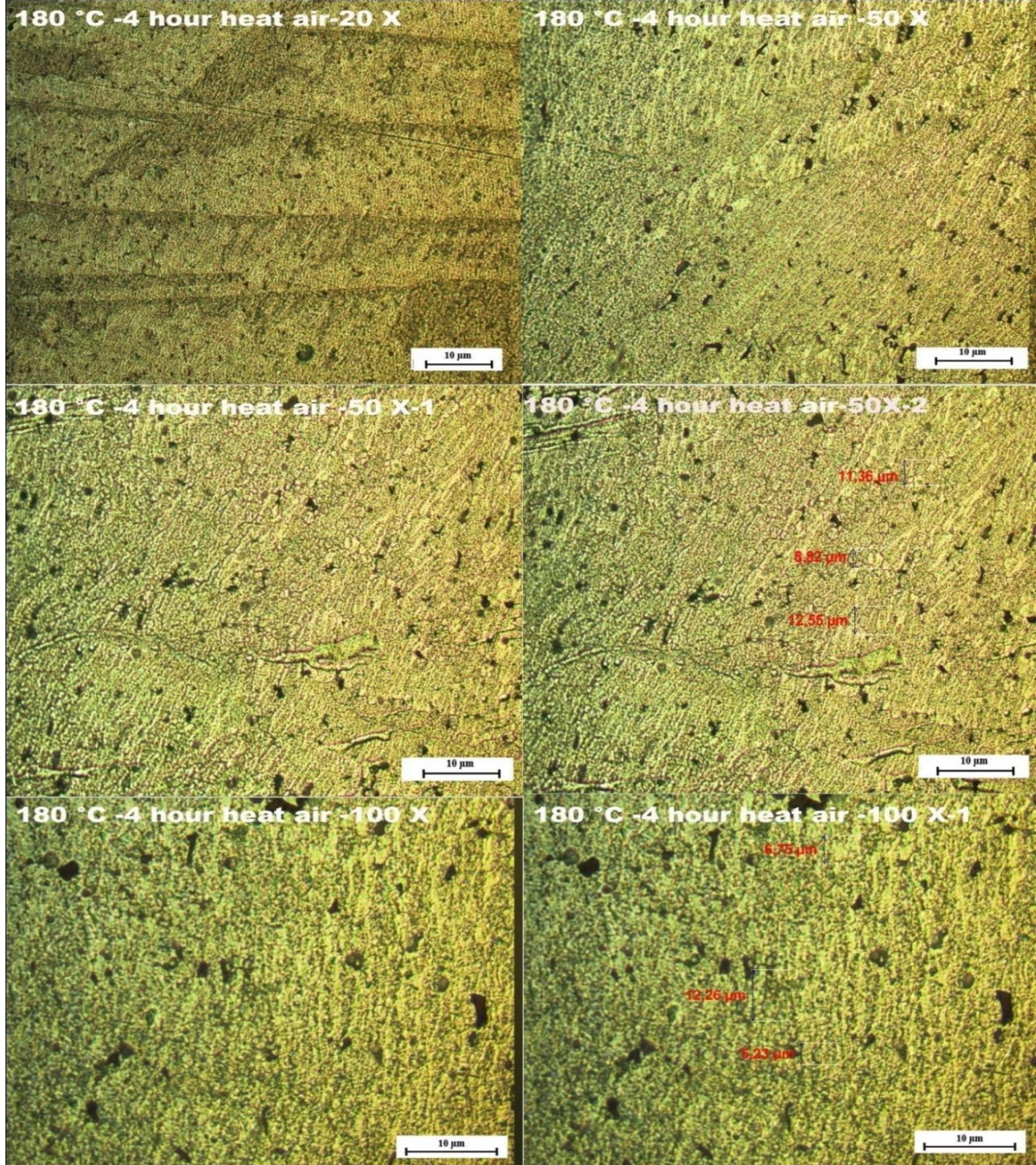


Şekil 3.11. 9 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.10. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (10 Nolu) Numune

10 nolu numuneyi Şekil 3.12’de farklı büyütmelerdeki optik görüntülerini incelediğimizde 4 saatlik ısıtma işleminden kaynaklı yapı homojen bir dağılım göstermiştir.

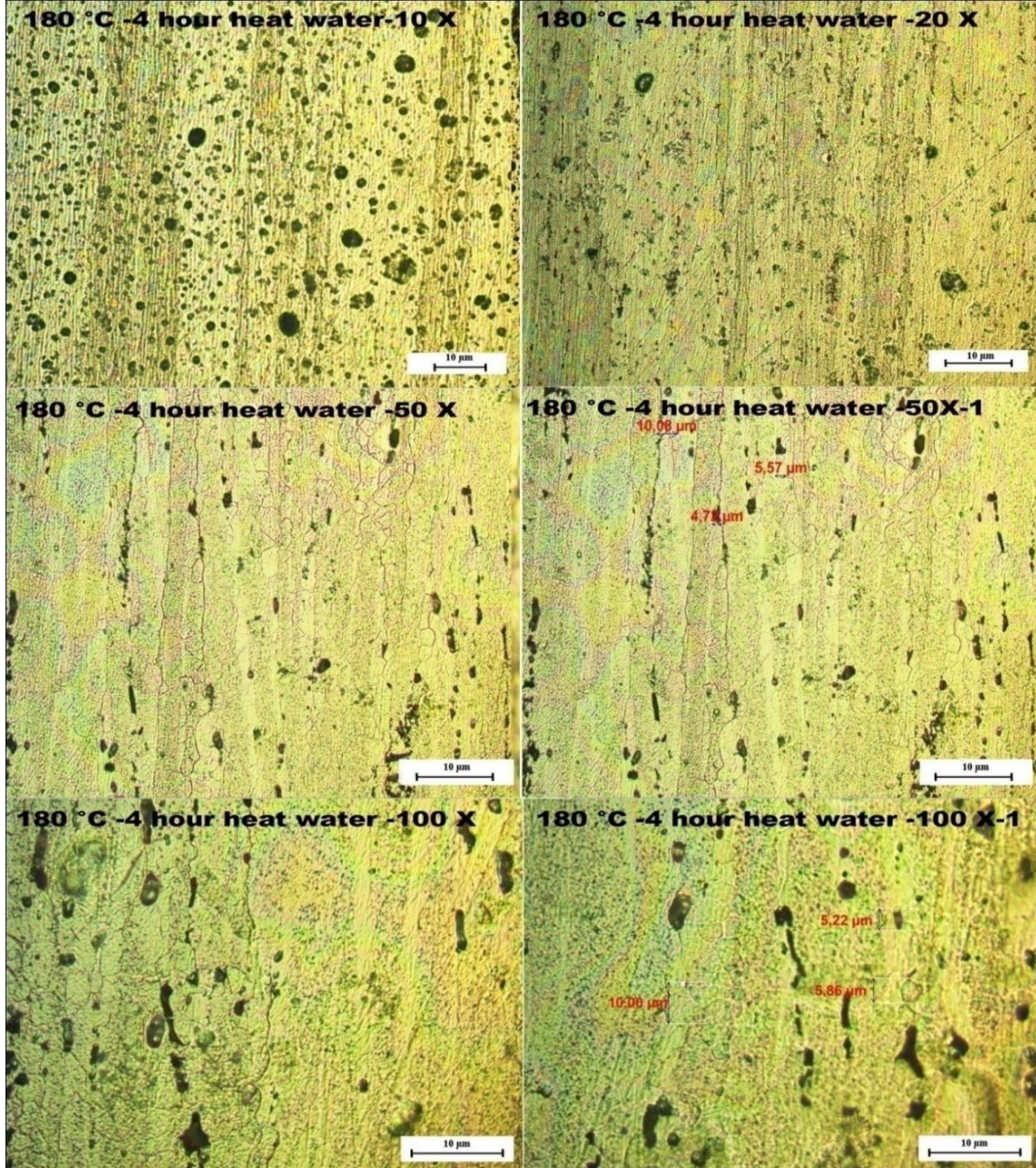


Şekil 3.12. 10 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.11. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (11 Nolu) Numune

11 nolu numuneye ait optik görüntüleri şekil 3.13’de incelendiğinde tane yapısının sütunsu bir görünüm aldığı ve  $\beta$  fazlarının sütunların yan tarafındaki siyah noktaların olduğu düşünülmektedir.

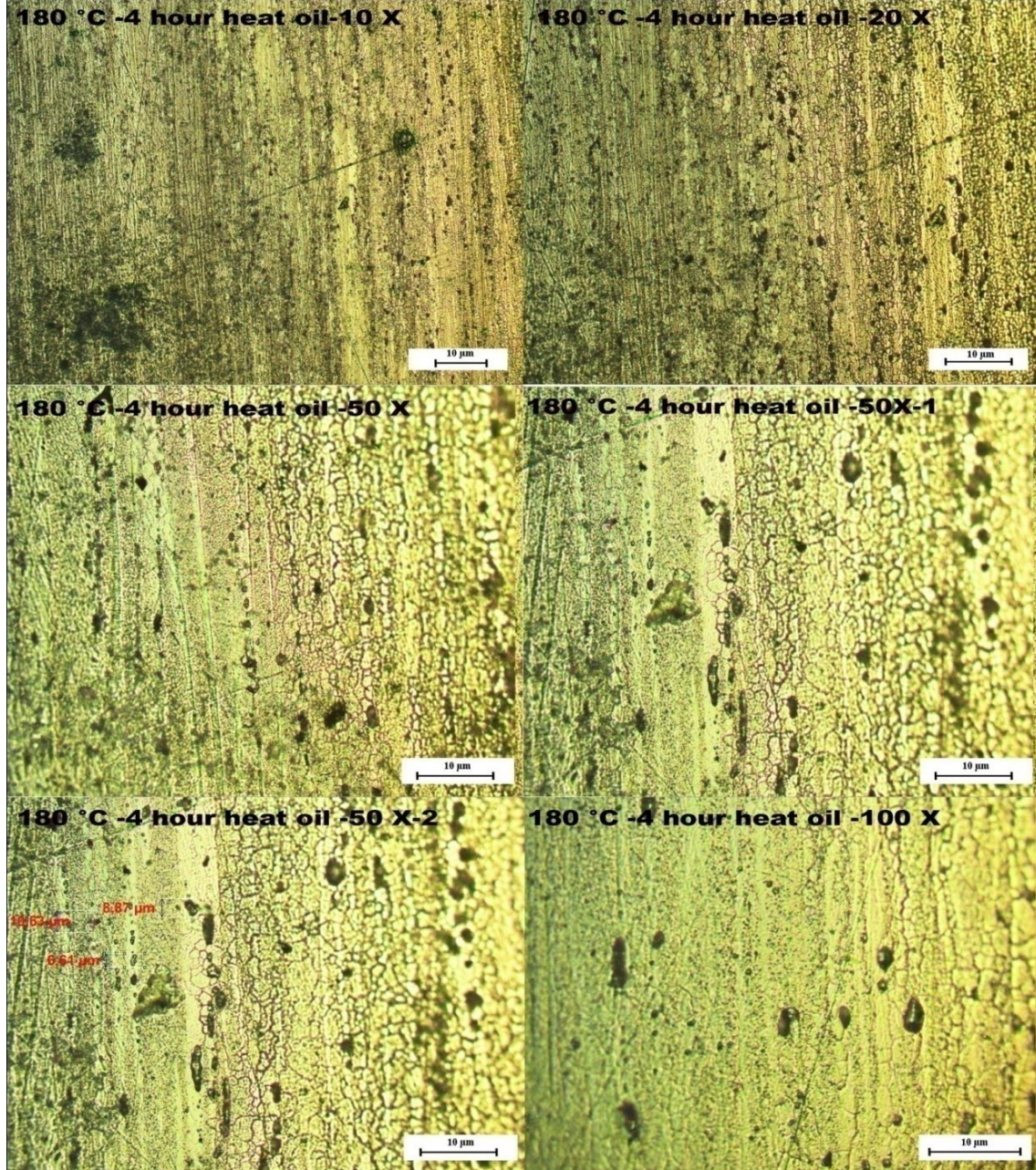


Şekil 3.13. 11 Numaralı numuneye ait mikroskobik görüntü



### 3.2.12. 180 °C 4 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (12 Nolu) Numune

Şekil 3.14'te verilen 12 nolu numuneye ait optik görüntülerinde tanelerin bir poligon üzerinde küçük halkalar halinde dizildiği çökelmeden kaynaklı disk kosyonların oluştuğu bunun sonucunda da farklı yapıların yan yana oluştuğu düşüncesi oluşturmıştır.

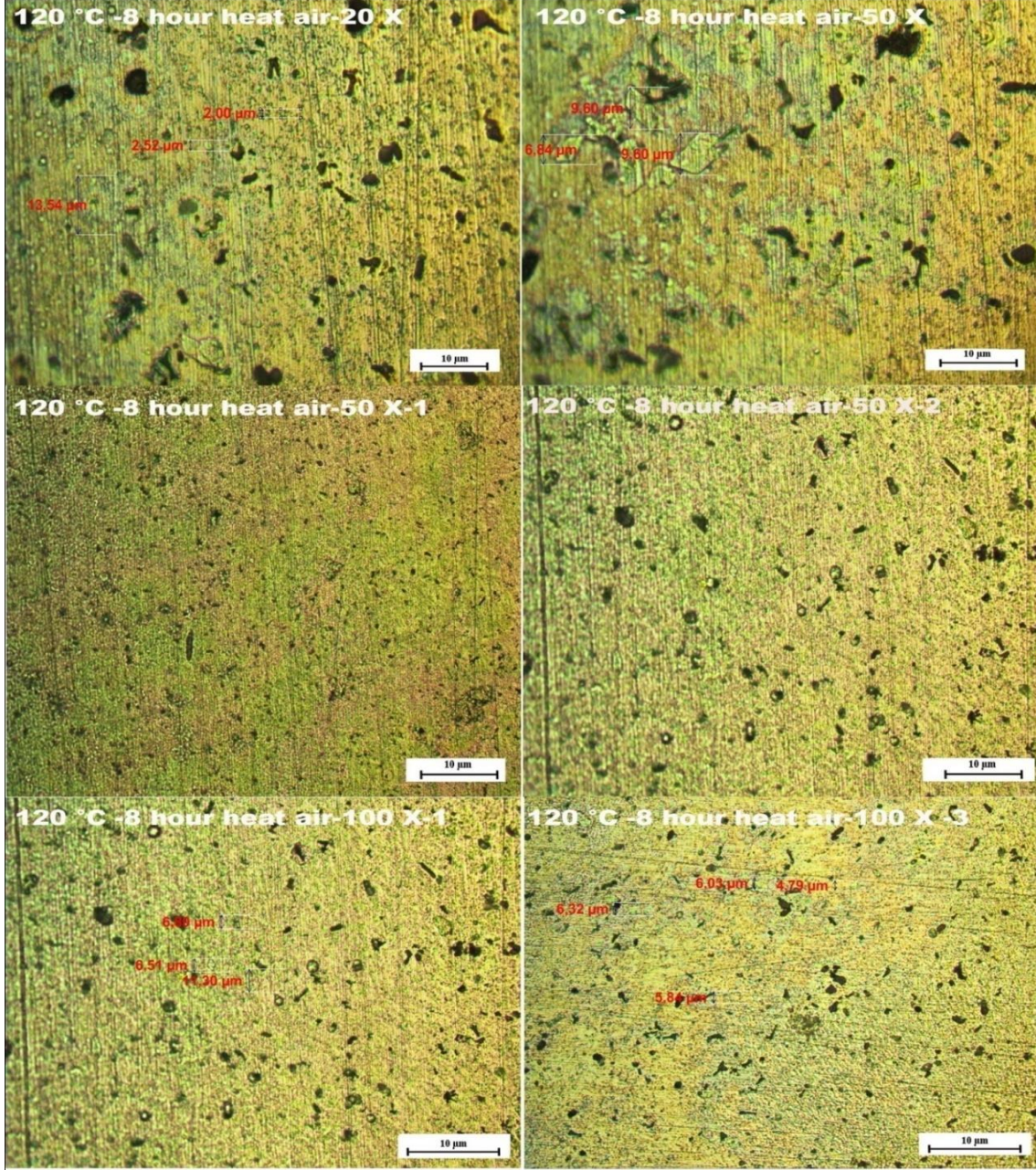


Şekil 3.14. 12 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.13. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (13 Nolu) Numune

Şekil 3.15'te 13 nolu numuneyi incelediğimizde tane sınırlarının görünmediği yapının istenilen özellikleri göstermediğini söyleyebiliriz.

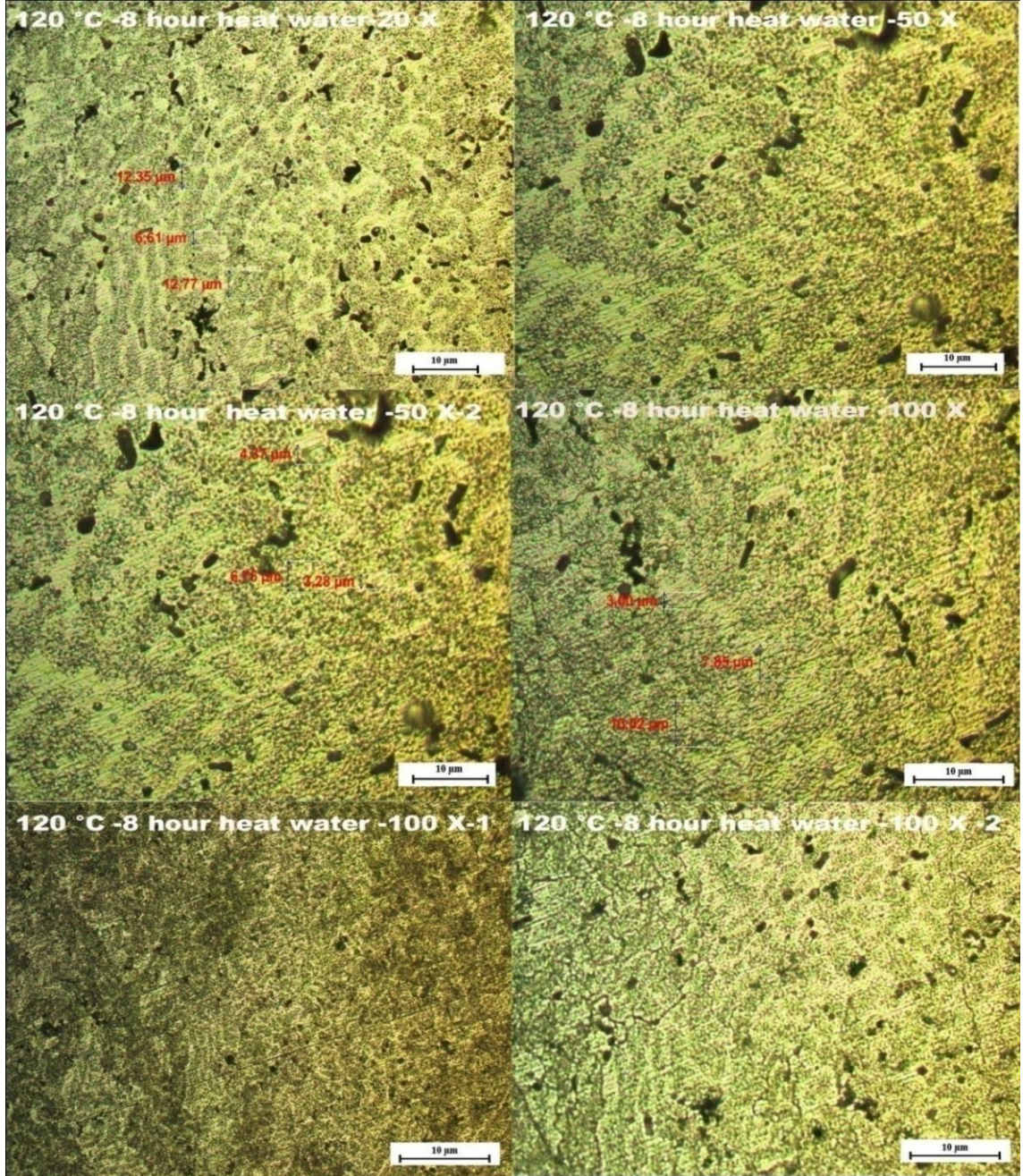


Şekil 3.15. 13 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.14. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (14 Nolu) Numune

14 nolu numuneye ait optik görüntülerini şekil 3.16’da incelediğimizde 20X büyütmede yapının daha net görüldüğü koyu kahverengi bölgelerin  $\alpha$  fazı ve o bölgeler içerisindeki çok küçük noktaların ise  $\beta$  fazı olduğu söylenilebilir.

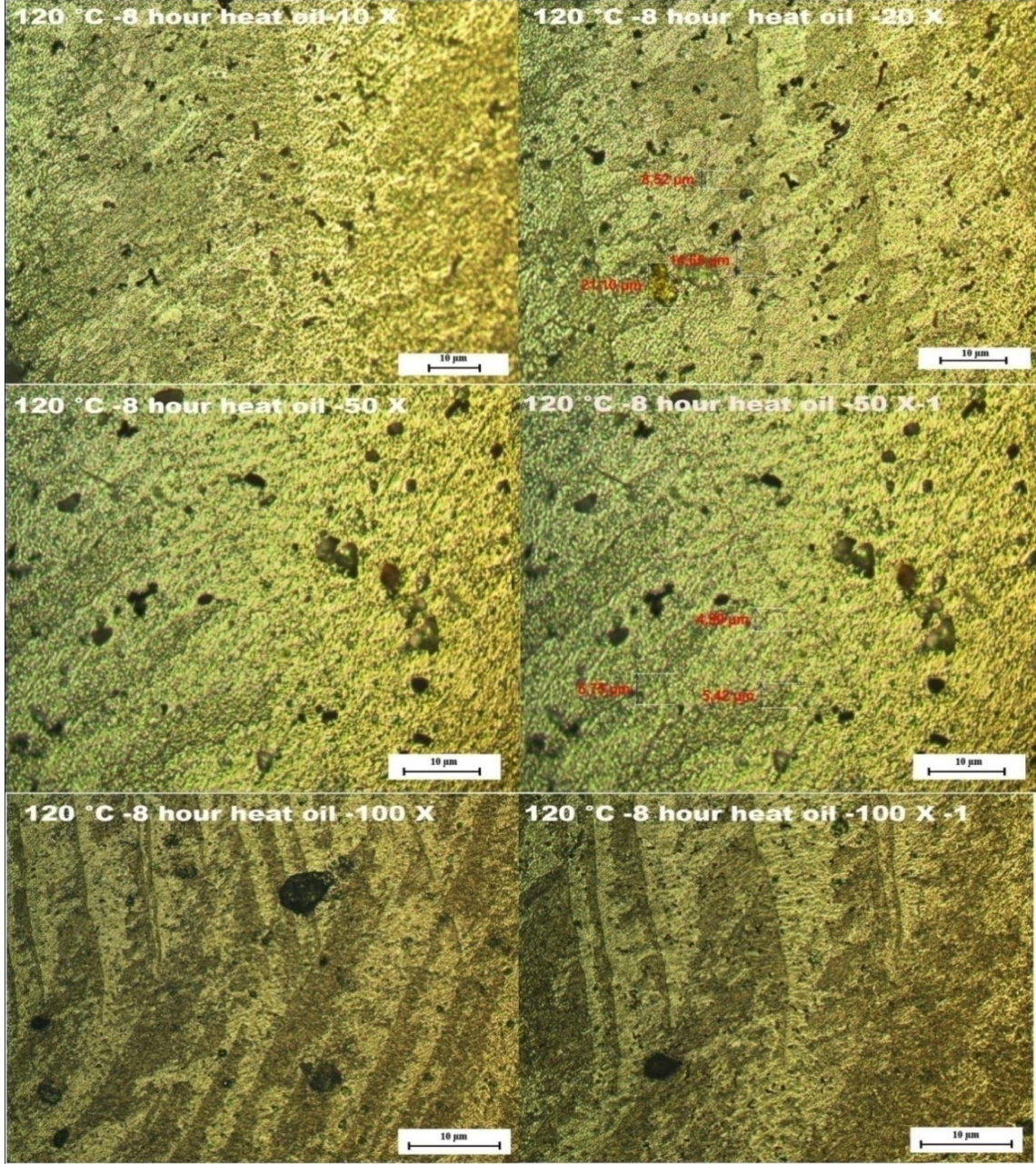


Şekil 3.16. 14 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.15. 120 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (15 Nolu) Numune

15 nolu numune şekil 3.17’de incelendiğinde 8 saatlik yaşlandırma ısıtıl işlemiyle ve yağda soğutulmasından dolayı tanelerini irileştirildiği söylenilebilir.

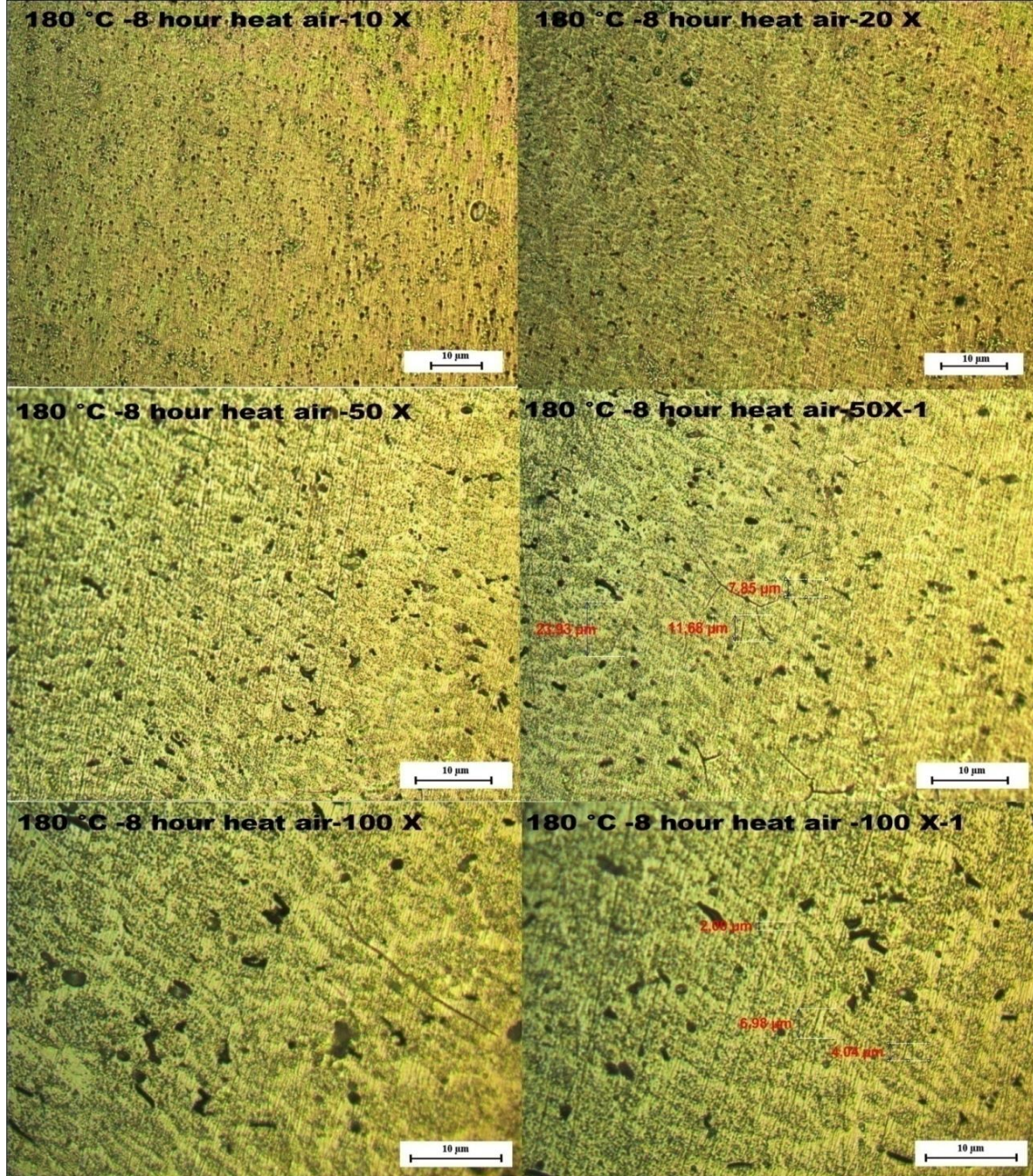


Şekil 3.17. 15 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.16. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (16 Nolu) Numune

16 nolu numuneye ait optik görüntüleri şekil 3.18'i incelediğimizde 120 °C ye göre 180 °C'de daha homojendir yapının oluştuğu ve genelinde ısıtılma işlemin etkili olduğunu söyleyebiliriz.

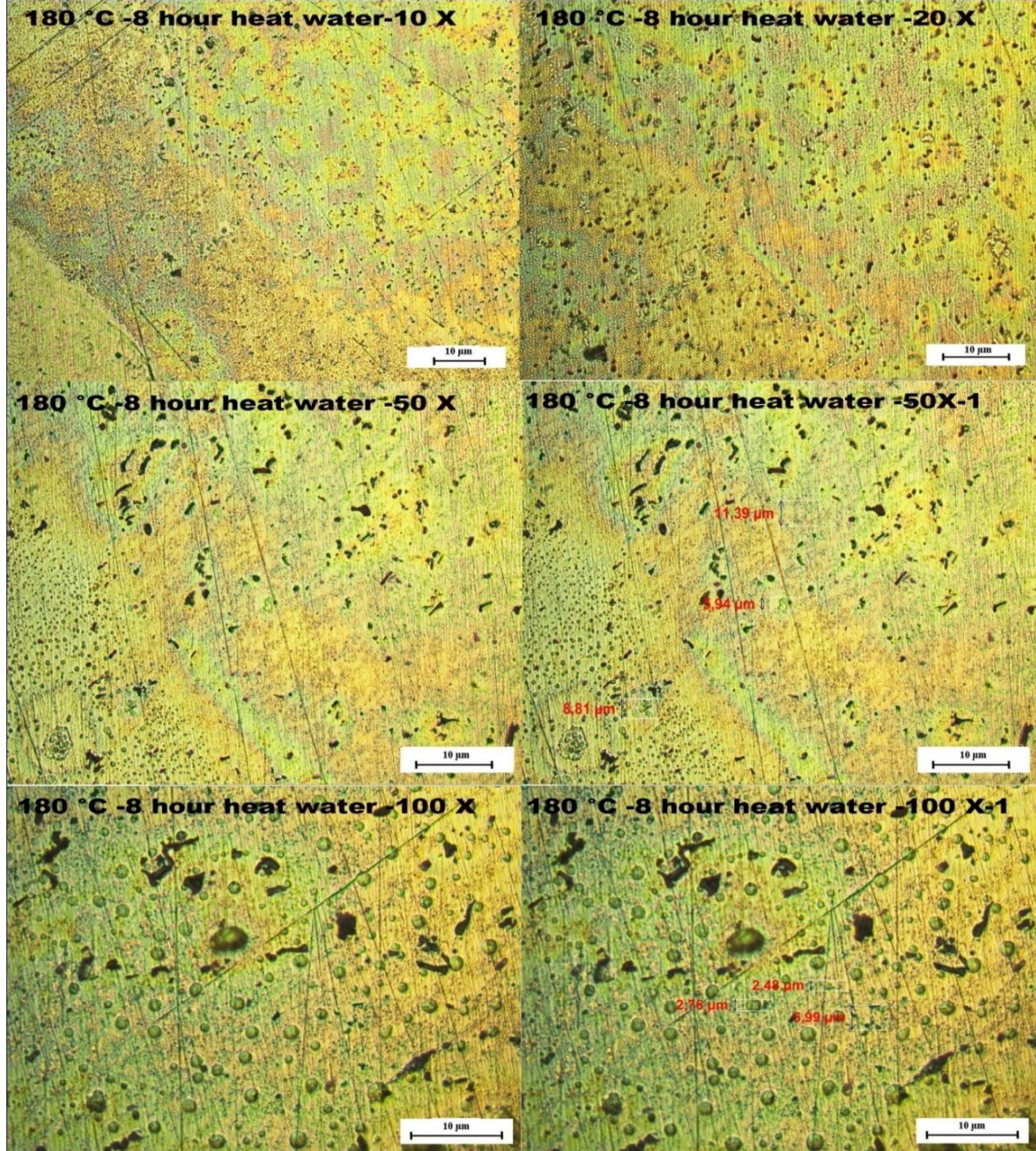


Şekil 3.18. 16 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.17. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (17 Nolu) Numune

Şekil 3.19’da 17 nolu numuneye ait farklı büyütmelelerde optik görüntüleri incelediğimizde açık kahverengi bölgelerdeki çökmelerin gerçekleştiği net bir şekilde görülmüş  $\beta$  fazını oluşturan küçük siyah noktalarınsa yapının genelinde homojen bir dağılım gösterdiği görülmektedir.

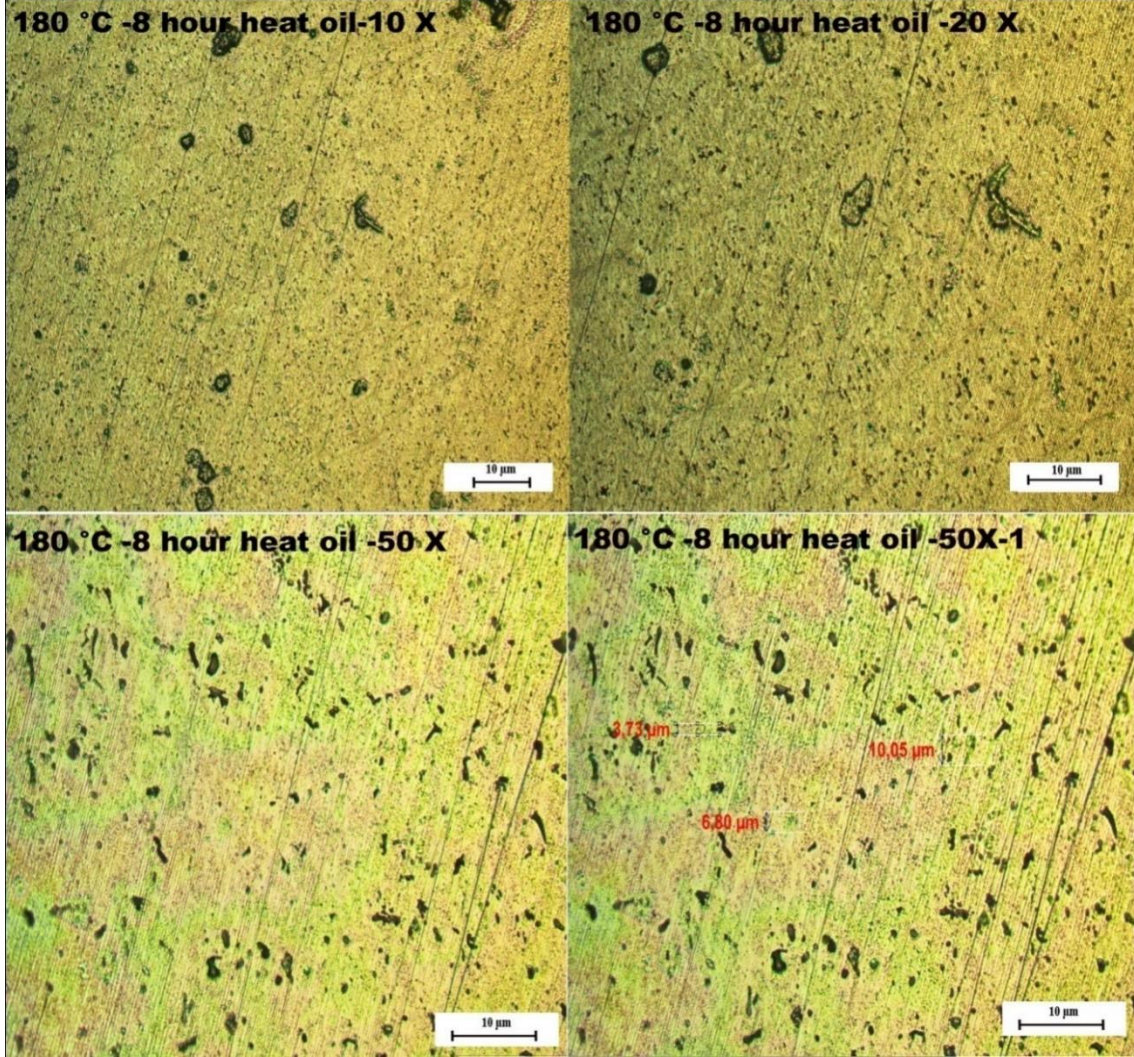


Şekil 3.19. 17 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.18. 180 °C 8 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (18 Nolu) Numune

Şekil 3.20’de 18 nolu numuneye ait optik görüntülerin 17 nolu numune ile aynı özellikleri gösterdiği söylenilebilir.

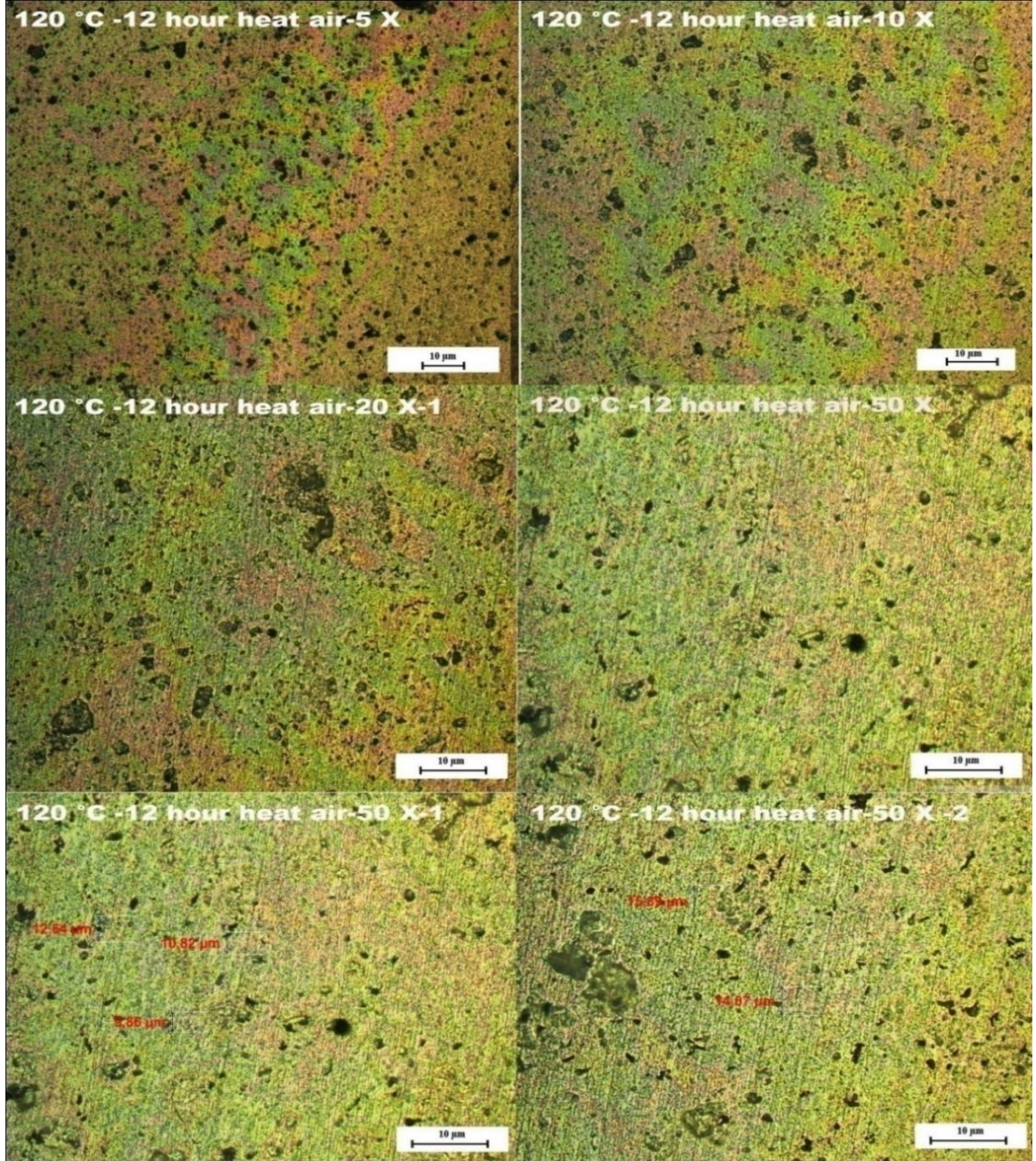


Şekil 3.20. 18 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.19. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (19 Nolu) Numune

19 nolu numunenin optik görüntülerini şekil 3.21’de incelediğimizde ise 12 saatlik 120 °C’deki ısıtıl işlemin malzeme üzerindeki yapıyı planladığımız suni yaşlandırmayı net bir şekilde görülmüştür.

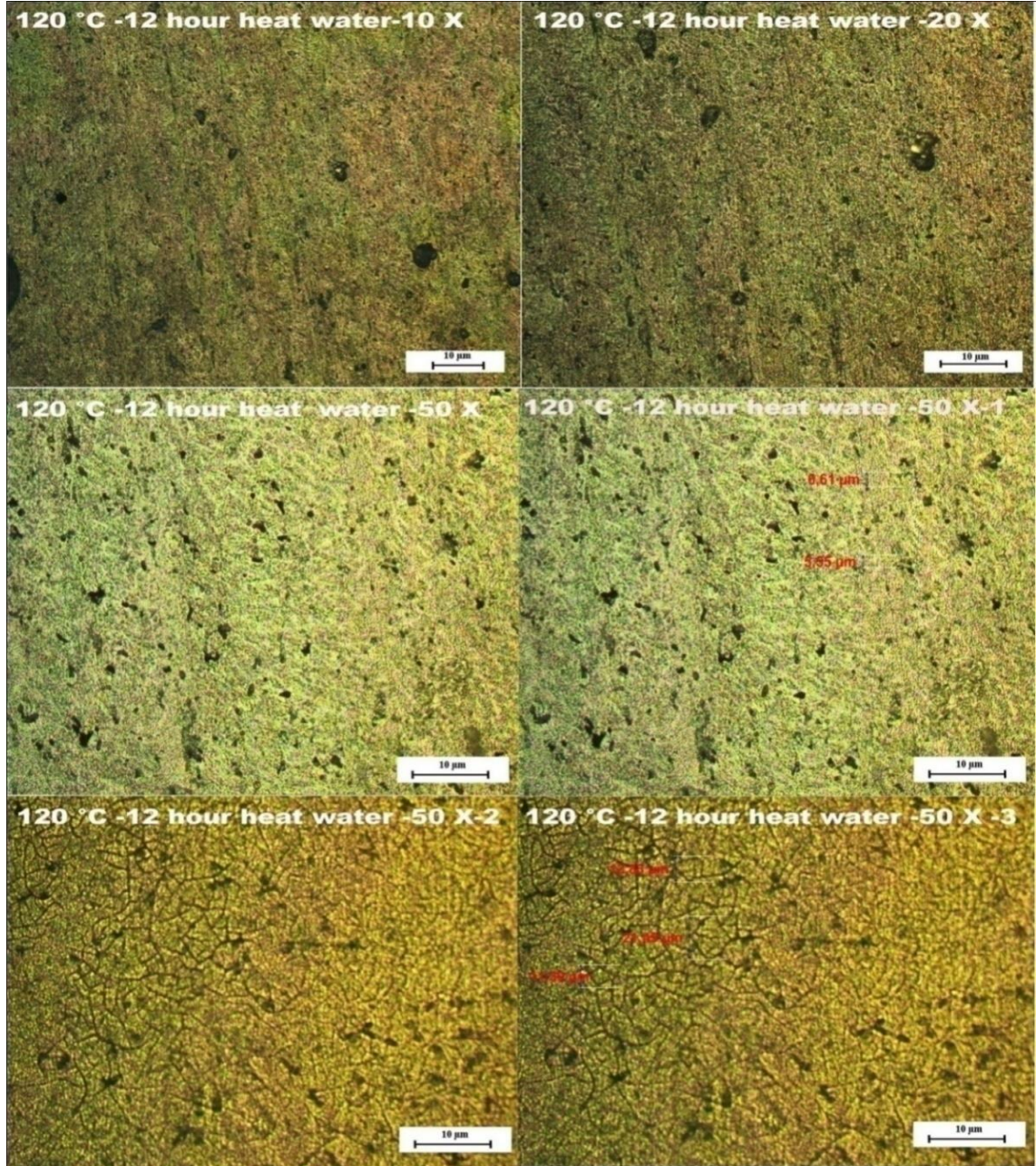


Şekil 3.21. 19 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.20. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (20 Nolu) Numune

20 nolu numunenin farklı büyütmelerdeki optik görüntülerini şekil 3.22’de ise özellikle 50x büyütmelerde tane yapısı, tane sınırları ve tane büyüklükleri açık bir şekilde görülmüştür.

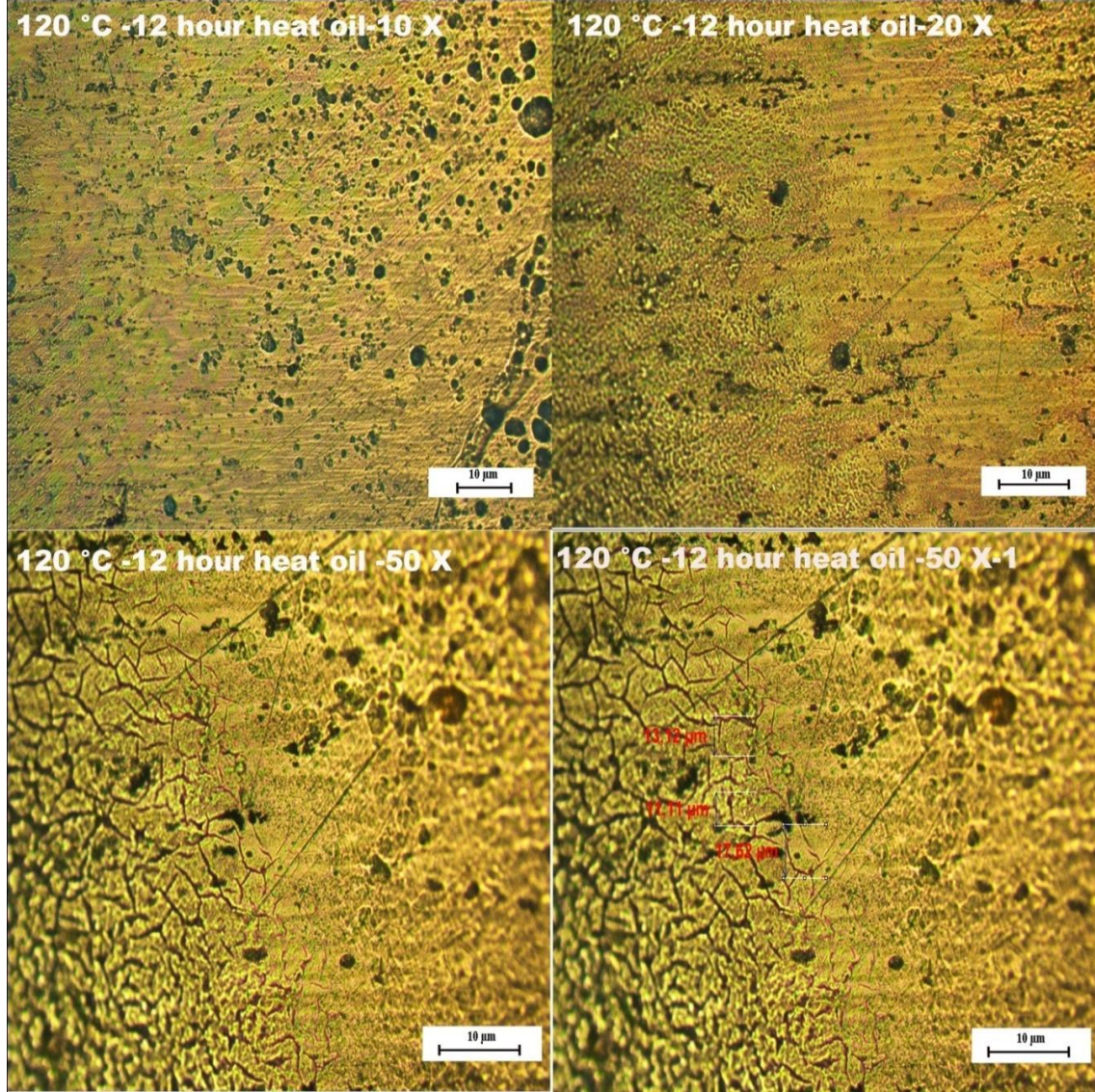


Şekil 3.22. 20 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.21. 120 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (21 Nolu) Numune

Şekil 3.23’de 21 nolu numunenin optik görüntülerinde ise bölgesel farklılıklar görünmesiyle birlikte tane yapısının yağda soğutmadan kaynaklı irileştiği söylenebilir.

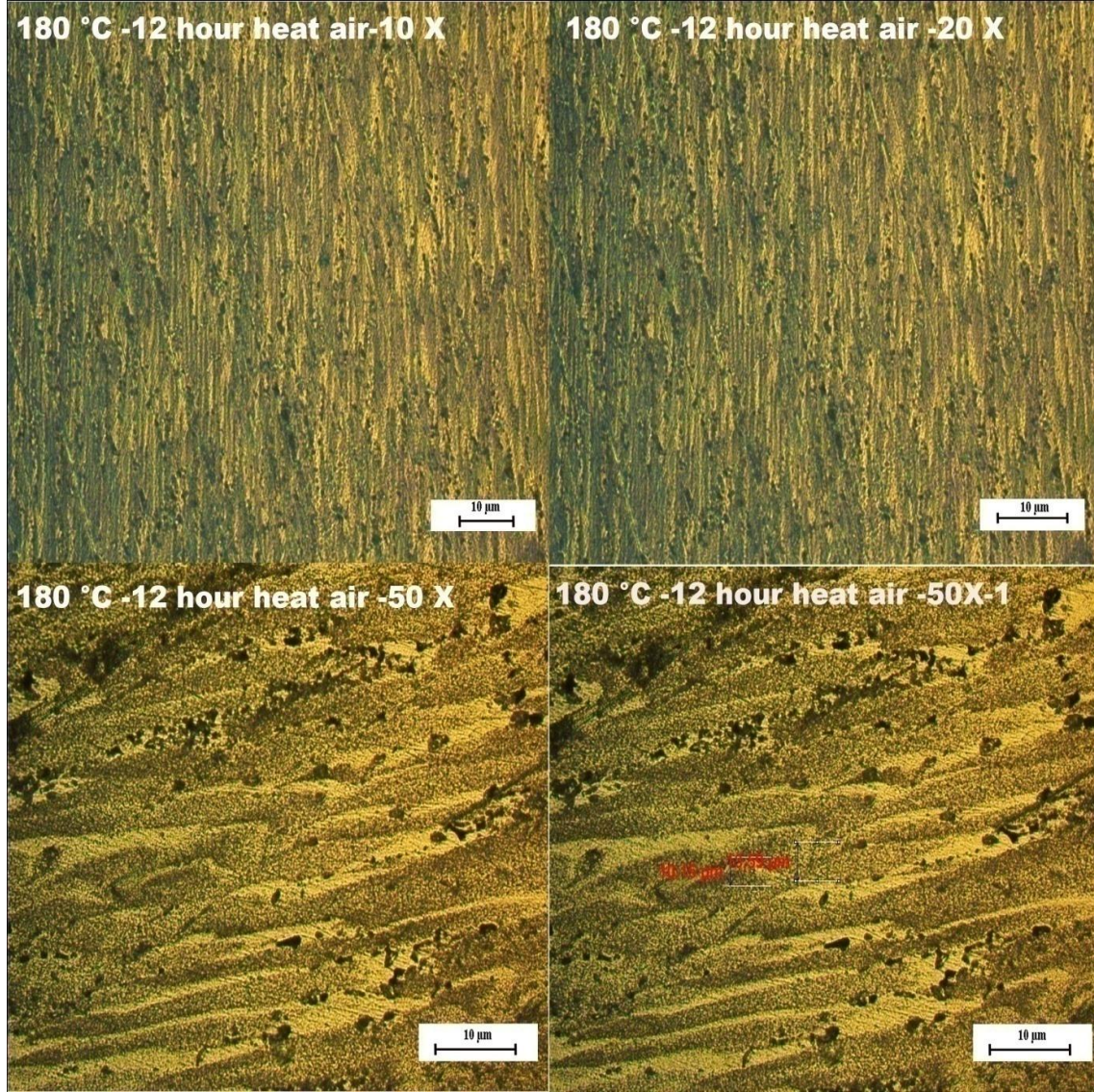


Şekil 3.23. 21 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.22. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (22 Nolu) Numune

Şekil 3.24'te 22 nolu numunenin 180 °C'de 12 saatlik ısıtılma işlemine tabi tutulmasının diğer numunelere kıyasla optik görüntüsünün üst üste yığılmış tanelerin bir arada bulunduğu düzenli bir yapı dikkat çekmektedir.

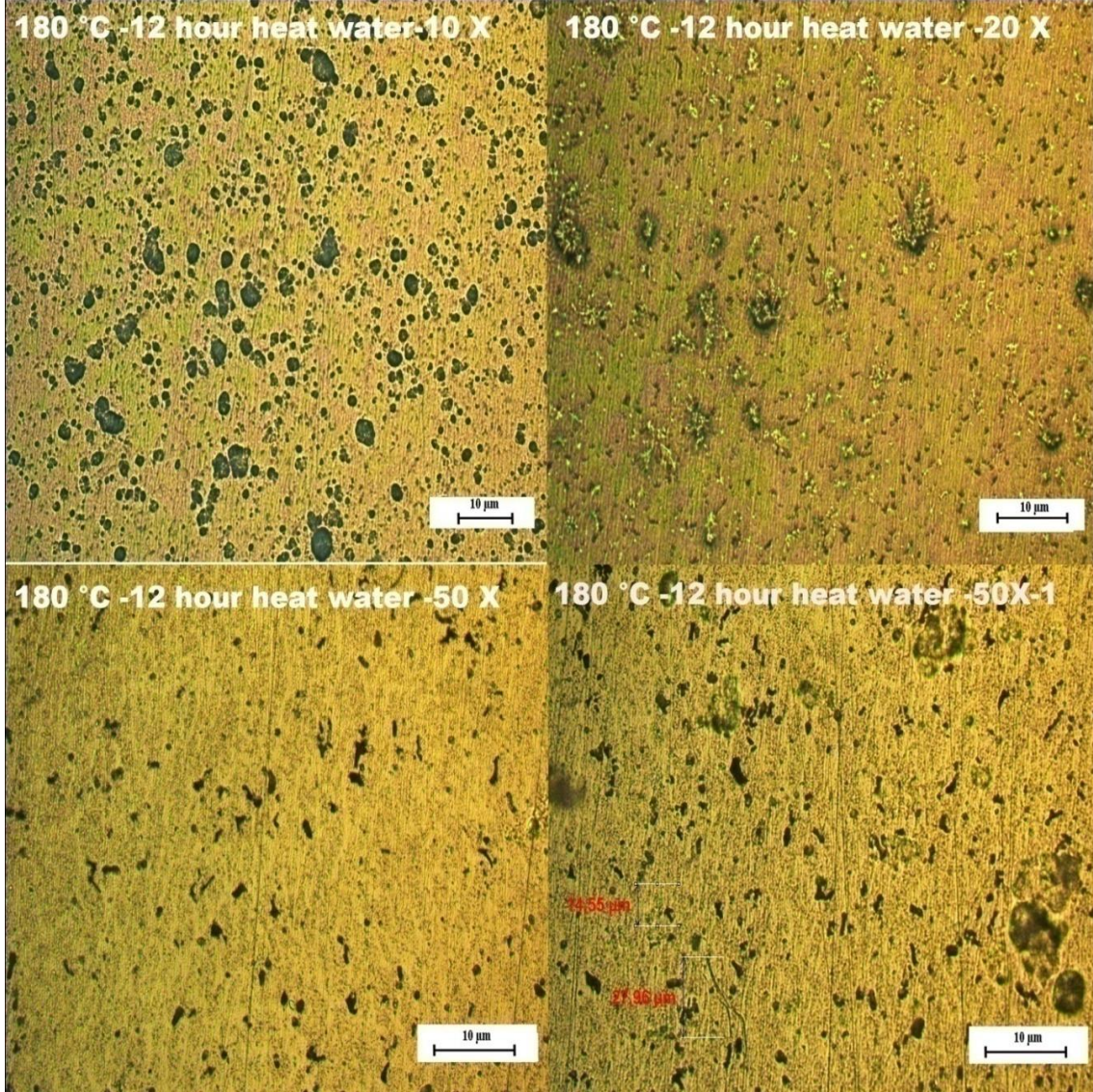


Şekil 3.24. 22 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.23. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (23 Nolu) Numune

23 nolu numuneye ait optik görüntüleri incelediğimizde ise yapının çok daha ince tanelerden oluştuğu görülmektedir.

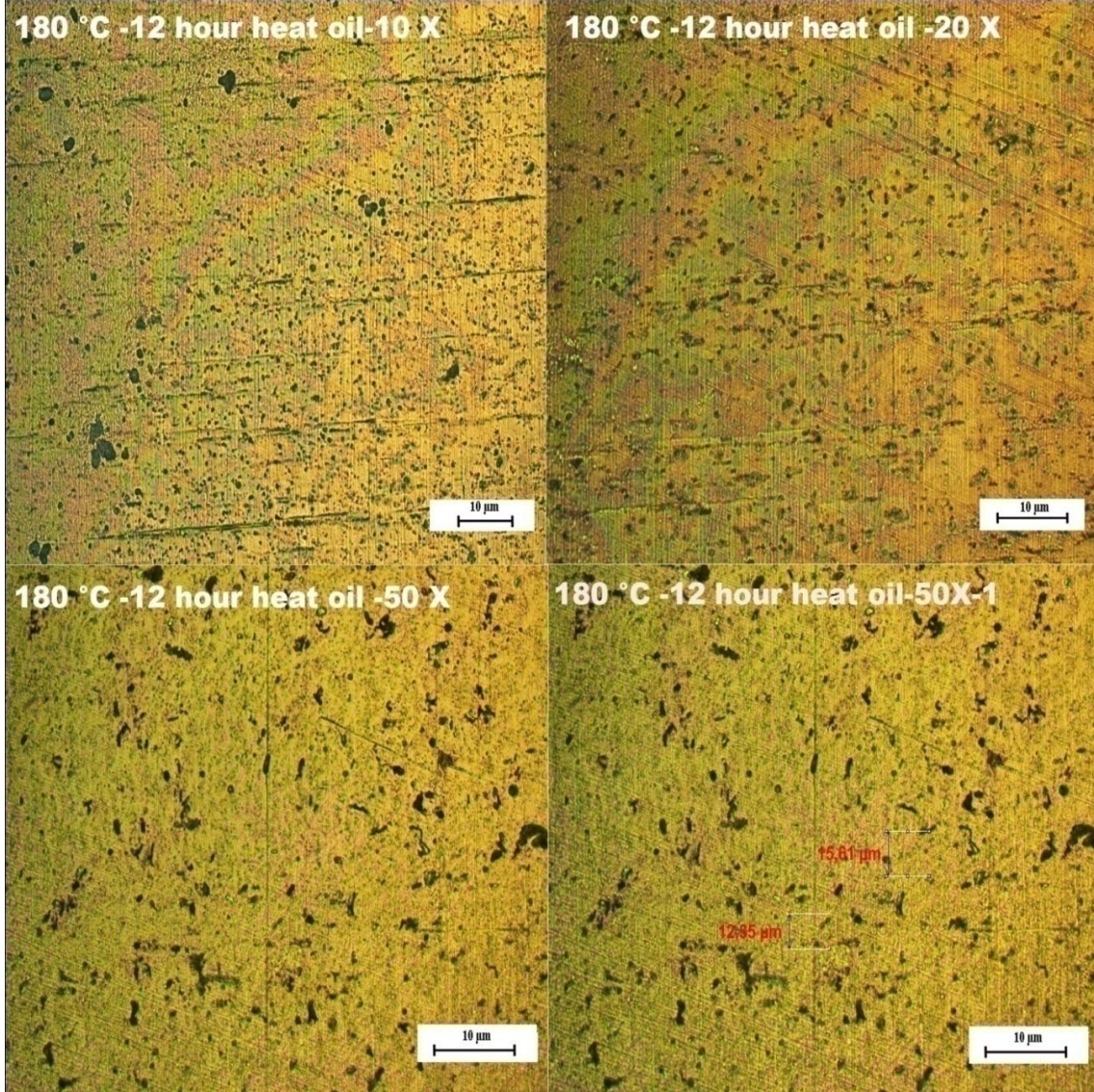


Şekil 3.25. 23 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.24. 180 °C 12 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (24 Nolu) Numune

24 nolu numunenin şekil 3.26’da optik görüntüleri yağda soğutmadan kaynaklı biraz daha homojenliği ön plana çıktığı bir yapı olduğu söylenebilir.

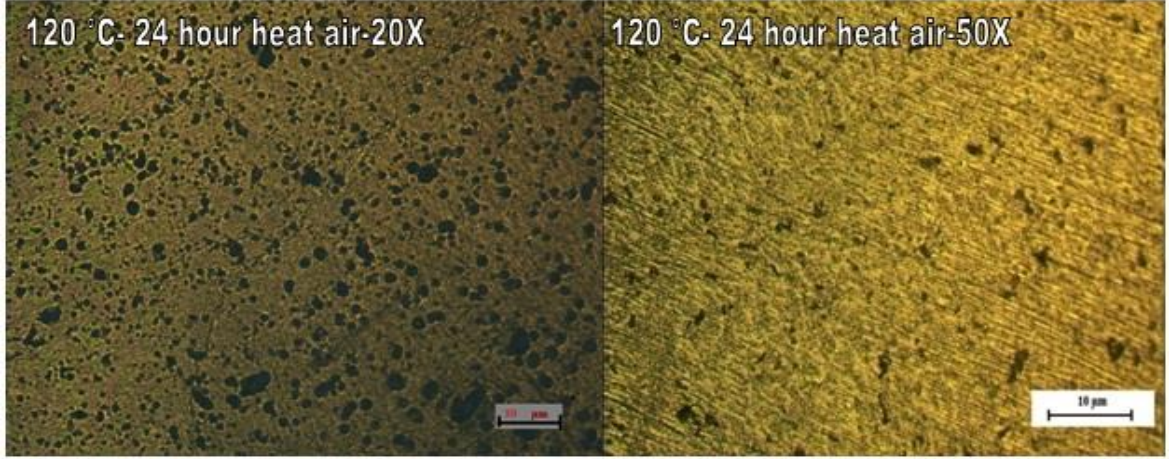


Şekil 3.26. 24 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.25. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (25 Nolu) Numune

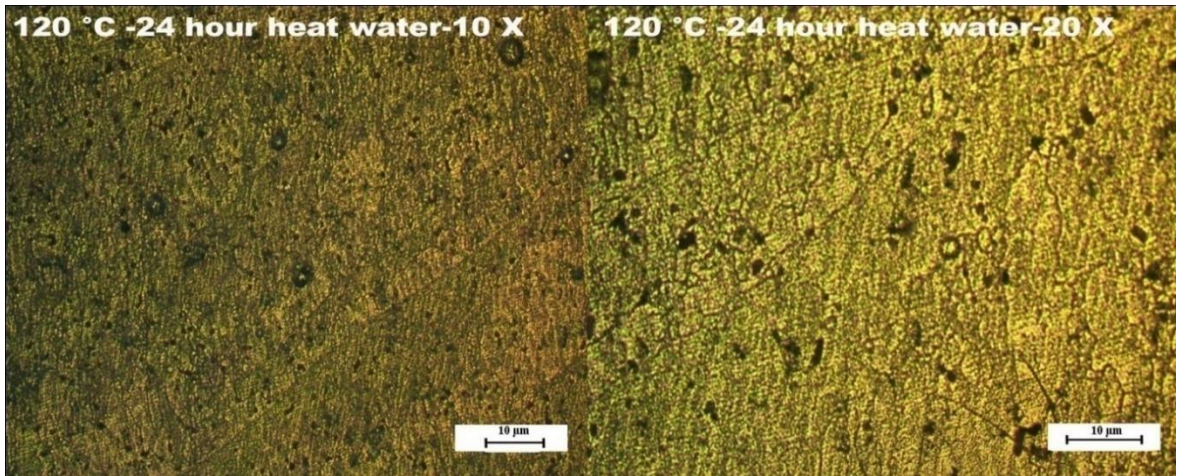
25 nolu 24 saat ısıtılma işlemine tabi tuttuğumuz numunenin şekil 3.27’de optik görüntülerini incelediğimizde malzemenin yapısını tamamen etkilediğini, havada soğutulduğundan tane sınırlarını tam olarak görülmediği düşünülmektedir.



Şekil 3.27. 25 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü

### 3.2.26. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (26 Nolu) Numune

26 numunede 25 nolu numunede olduğu gibi yapıyı etkilediği farklı olarak ise burada tane sınırlarının biraz daha belirgin olduğunu şekil 3.28 ile söyleyebiliriz.

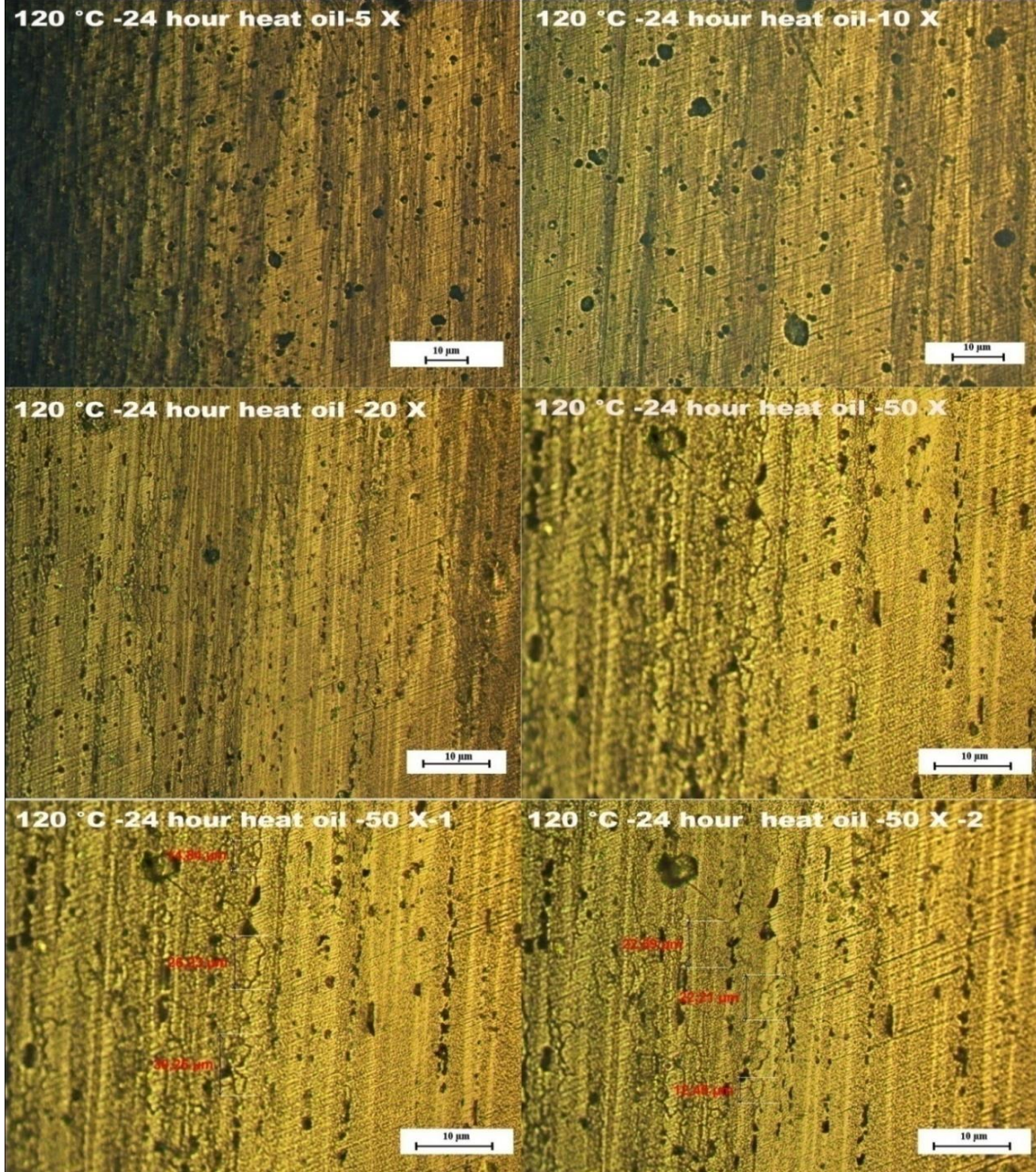


Şekil 3.28. 26 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.27. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (27 Nolu) Numune

27 nolu numuneye ait optik görüntüleri şekil 3.29’da incelediğimizde iki farklı yapının bulunduğu görüntüsü verse de tanelerin yönlenmesinden kaynaklı bir durum olduğu söylenebilir.

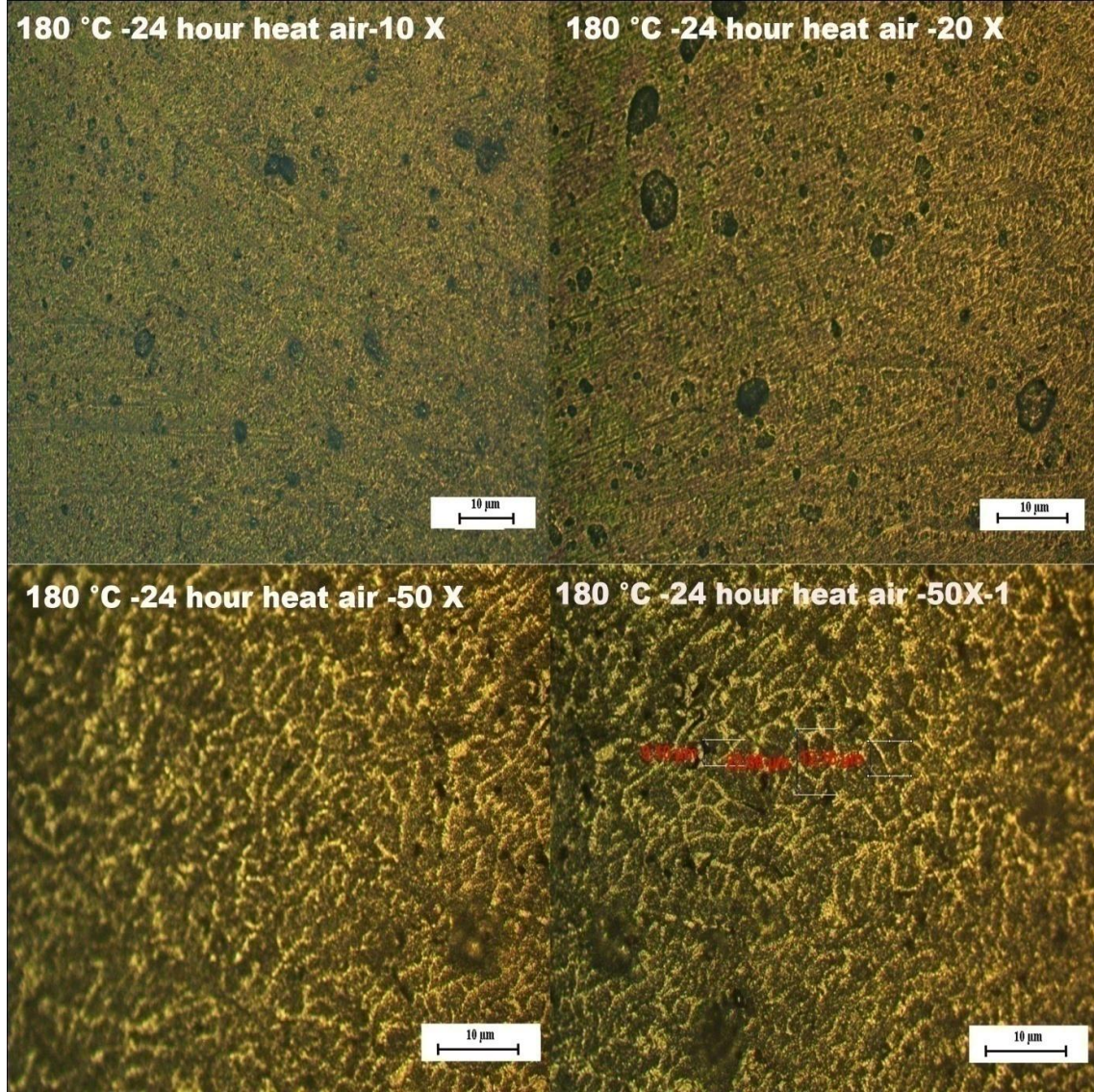


Şekil 3.29. 27 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.28. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (28 Nolu) Numune

Şekil 3.30'da 28 nolu numuneye ait optik görüntülerini incelediğimizde; 180 °C'de çalışmadan kaynaklı hem de 24 saatlik çalışma süresinin yapının tamamında etkili olduğu suni yaşlanmanın bir bütün halinde gerçekleştiği görülmektedir.

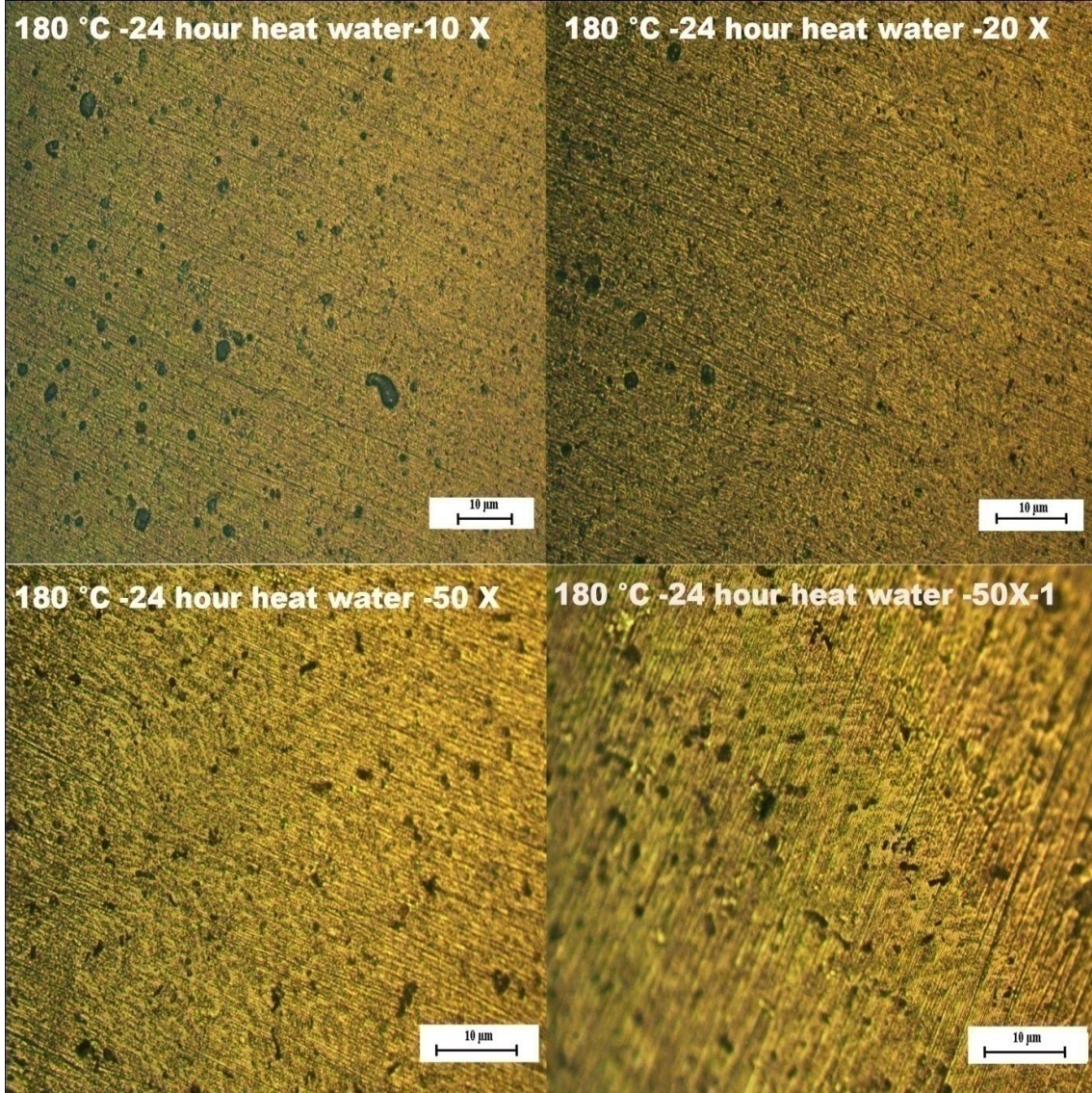


Şekil 3.30. 28 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.29. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (29 Nolu) Numune

Şekil 3.31’de 29 nolu numunenin farklı büyütmelerdeki optik görüntüleri incelendiğinde uzun süreli ısıtılmanın ve suda hızlı bir soğutma ortamının oluşması yapıyı ince tanelerden oluşan bir yapıya dönüştürmüştür.

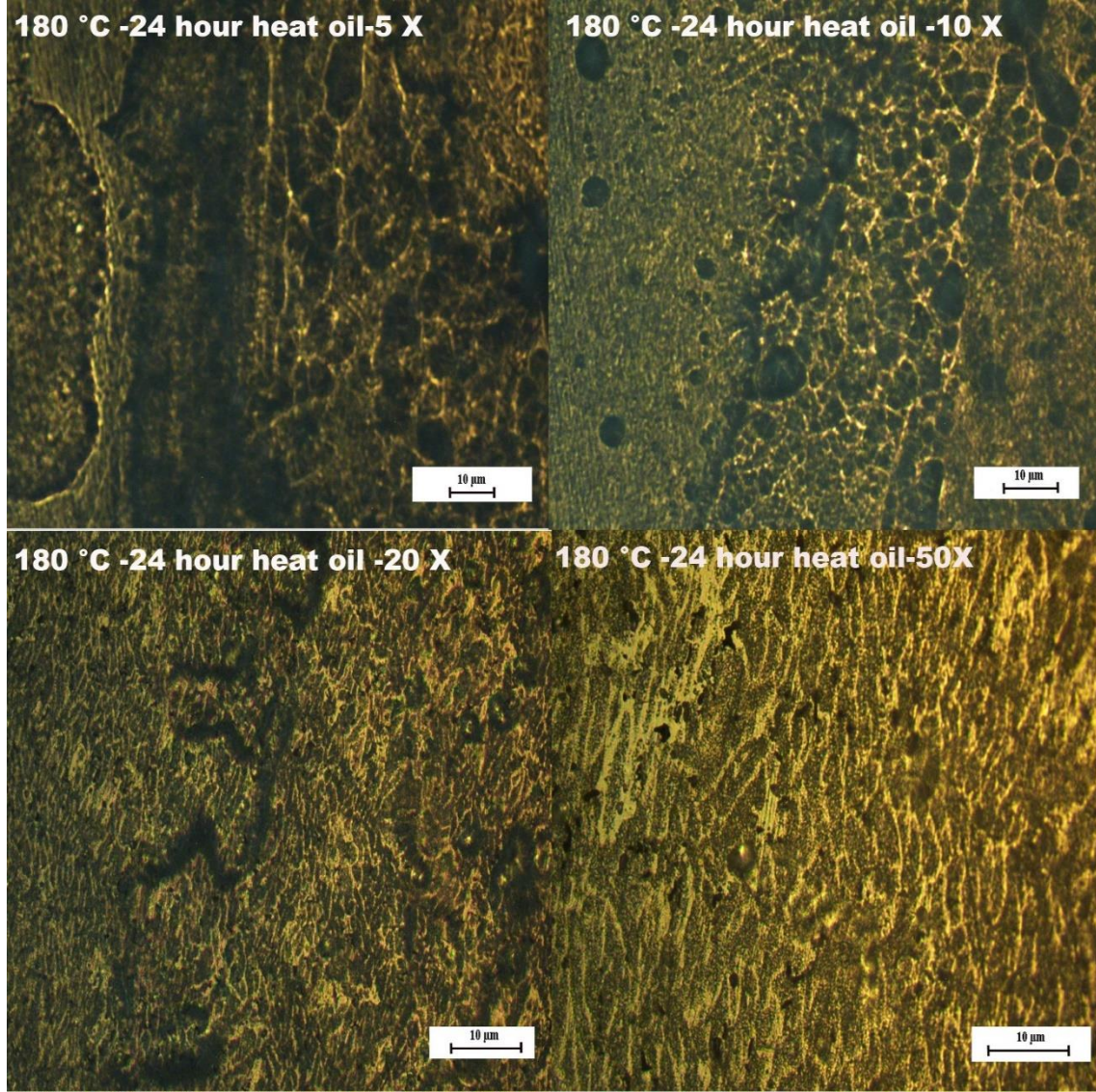


Şekil 3.31. 29 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü



### 3.2.30. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (30 Nolu) Numune

Şekil 3.32’de 30 nolu numunenin 24 saatlik ısıtıl işlem sonucunda yüzeyi yanmış bir malzemeyi andırmıştır. Uzun süreli 180 °C’deki ısıtıl işlem 5x ve 10x büyütme optik görüntülerde yuvarlak ve iri tanelerin oluşumuna neden olduğu göstermiştir.



Şekil 3.32. 30 Numaralı numuneye ait mikroskopik görüntü

### 3.3. Numunelere Ait SEM ve EDS Analizleri

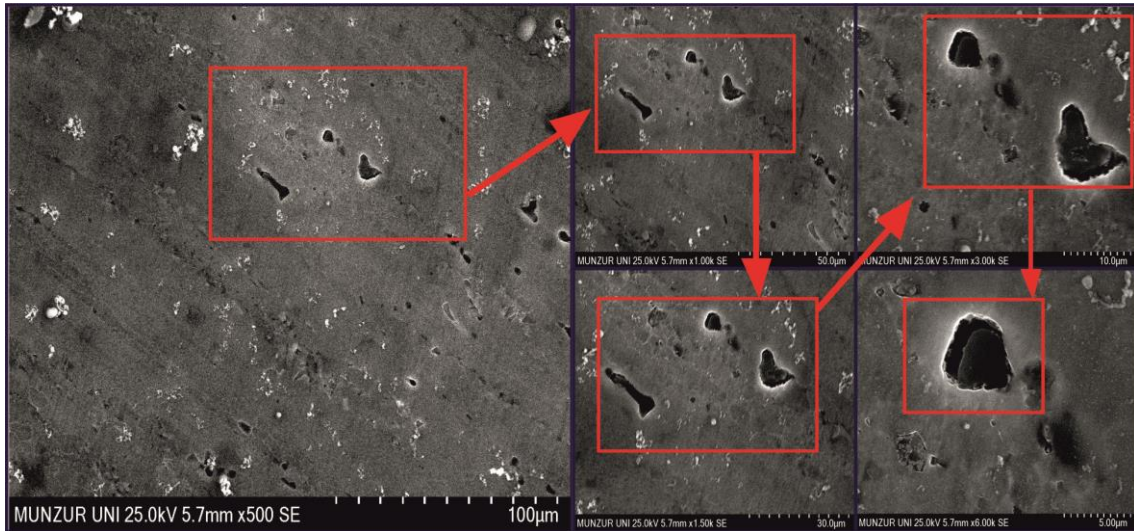
#### 3.3.1. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (1 Nolu) Numune

Şekil 3.33’de 500x, 1000x, 3000x, 1500x ve 6000x büyütmelerde SEM görüntüleri verilmiştir. Matrisin % 80 Alüminyum olmasından kaynaklı yapı bütünlüğü sağlanmıştır. Numune metalografik olarak hazırlanması esnasında aşındırıcı zımparalardan koparak malzeme bünyesine gömülmüş olan taneler yapıyı bozmuştur.

Bölgesel renklendirme analizinde şekil 3.34’te malzemenin %81,95 Al, %1,57 Mg, %1,69 Si, %1,32 Cu ve %4,92 Zn’den oluştuğu ve tamamının yapı içerisinde homojen bir dağılım gösterdiği görülmüştür.

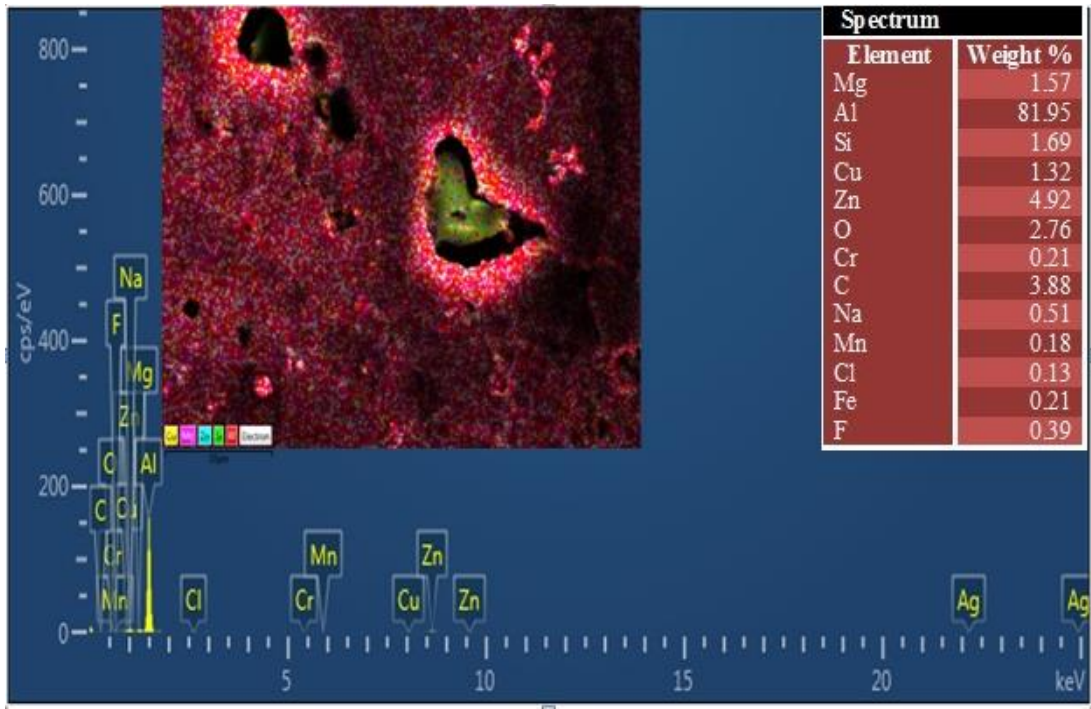
Bir nolu numuneden aldığımız noktasal analiz bölgeleri Şekil 3.35’te verilmiştir. 1 nolu bölgelerdeki parçanın zımparadan kopan parça olduğu iki ve üç nolu bölgelerin matrisi oluşturduğu, malzemenin tamamından aldığımız genel EDS analizinin ise AA7075 Al alaşımına yakın değerlerde bileşimi oluşturduğu görülmüştür.

Şekil 3.37’de ise malzemenin bünyesinde bulunan her bir alaşım elementinin yapı içerisindeki dağılımı verilmiştir.

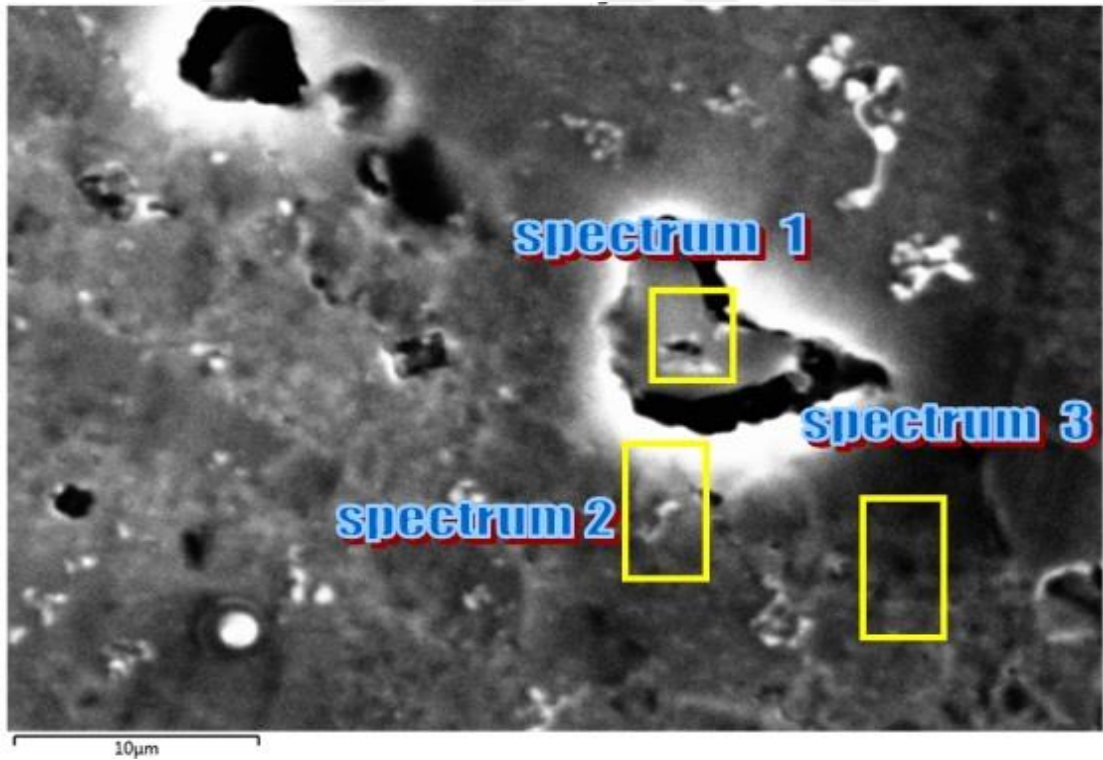


Şekil 3.33. 1 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntü

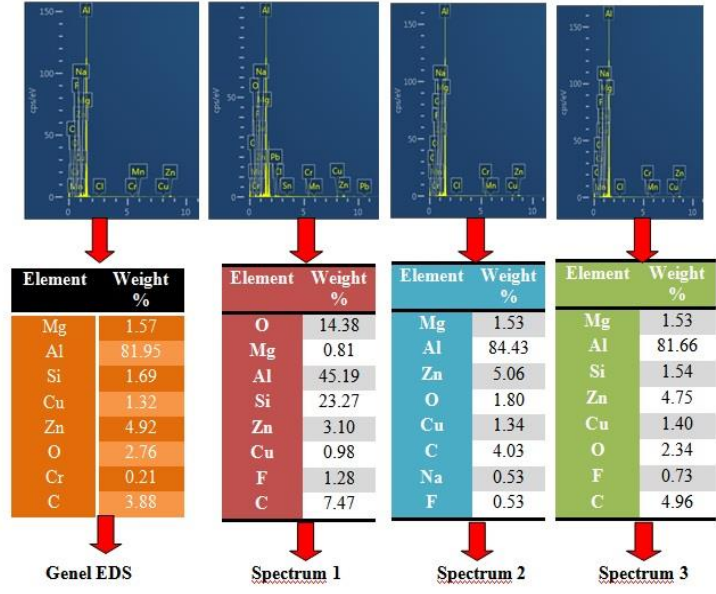




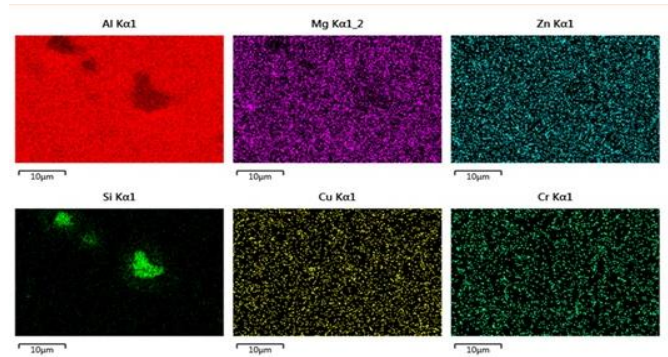
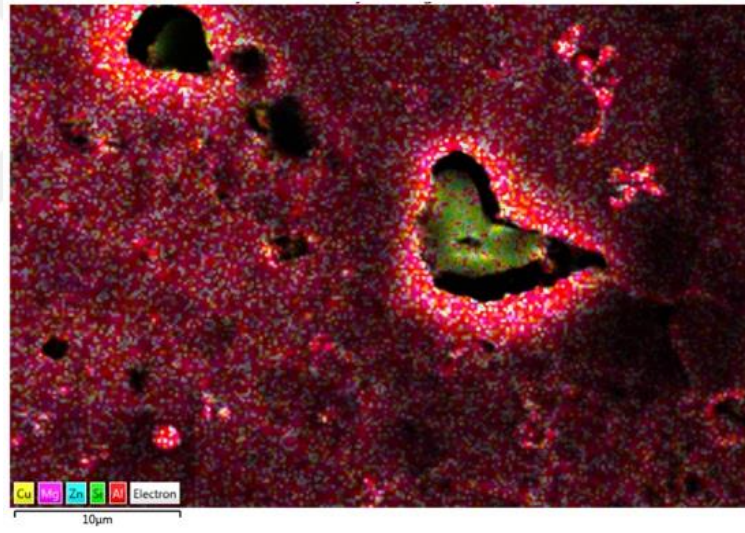
Şekil 3.34. 1 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.35. 1 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.36. 1 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.37. 1 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

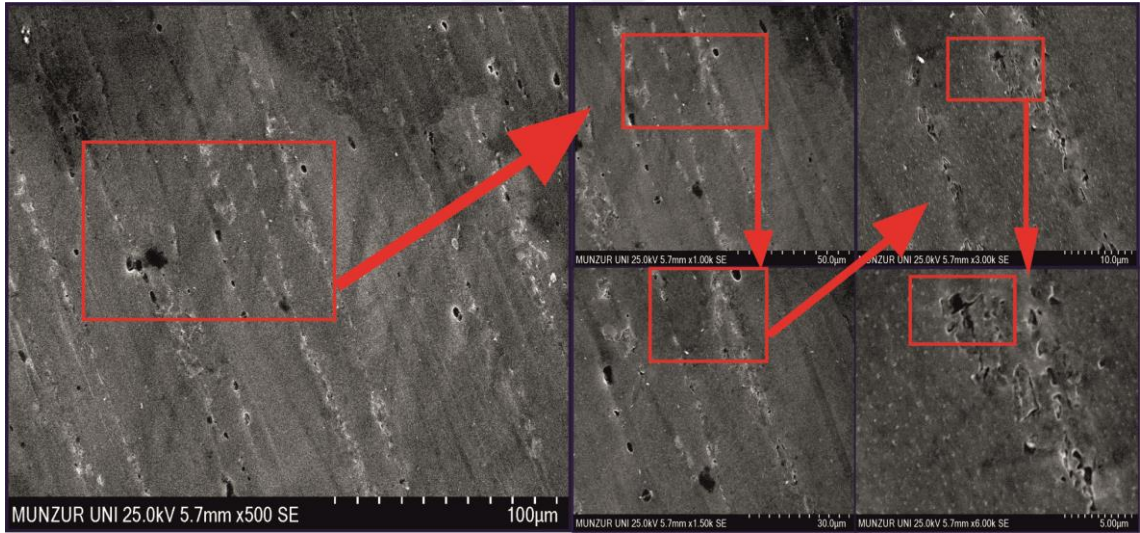


### 3.3.2. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suyla Soğutulan (2 Nolu) Numune

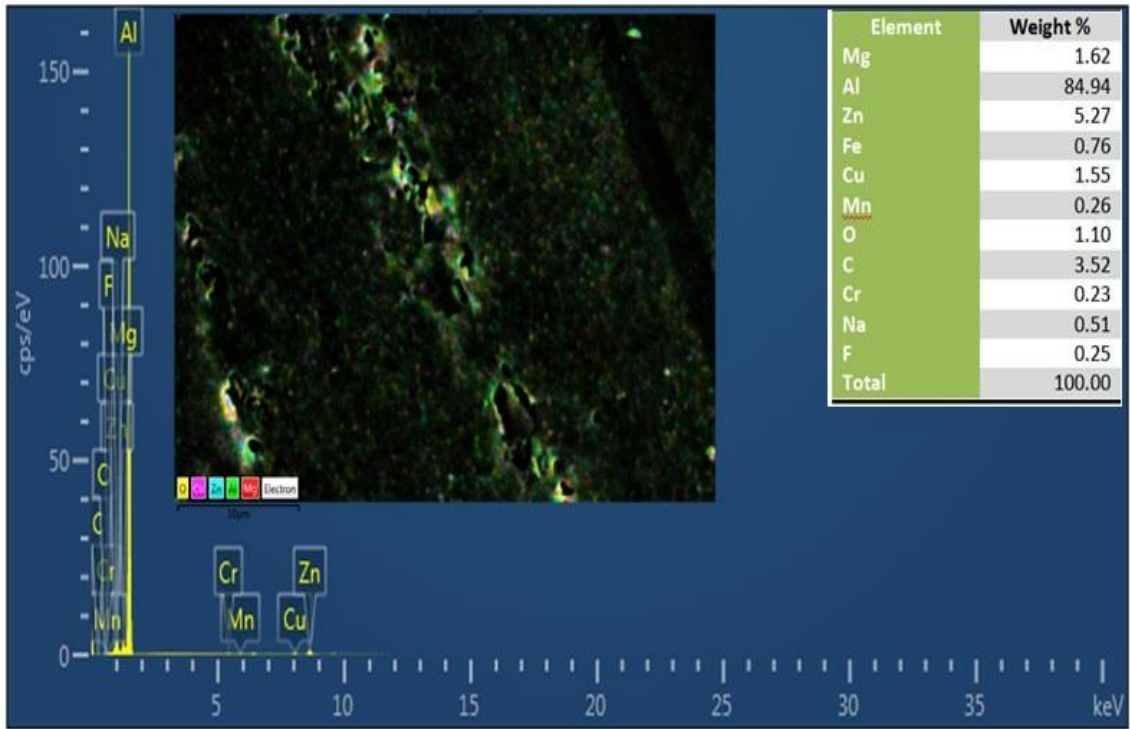
Şekil 3.38’de 500x den 6000x büyütmeye kadar farklı büyütmelerde Sem görüntülerinde çizgisel yapı farklılıkları az da olsa görülmektedir.

Şekil 3.39’da malzemenin genelinden aldığımız analizde %84,94 Al, %1,62 Mg, % 5,27 Zn ve %1,55 Cu’dan oluştuğu ve bazı noktalarda çizgisel olarak Cu, O, Zn ve Mg un yoğunlaştığı görülmektedir.

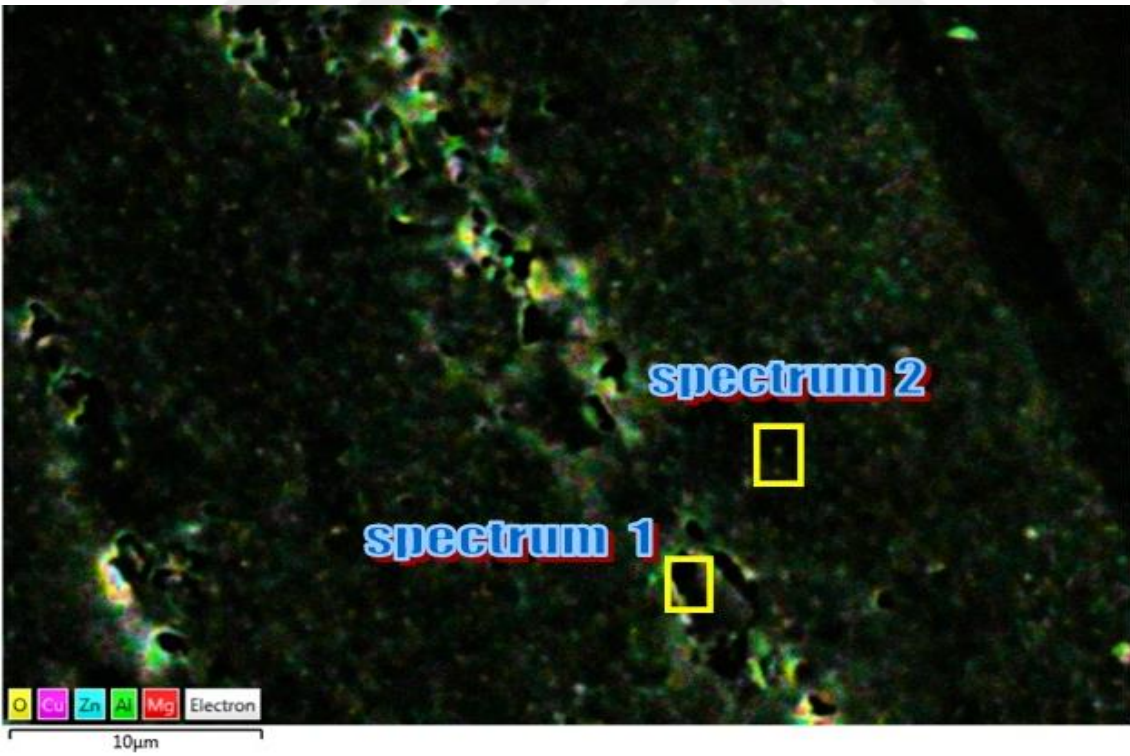
2 nolu numuneden aldığımız noktasal analiz bölgeleri şekil 3.40’ta verilmiştir. Hem genel hem de 1 ve 2 nolu analizlerin birbirine yakın değerler olması şekil 3.42’de da gördüğümüz gibi yapının bütünündeki homojen dağılımı göstermektedir.



Şekil 3.38. 2 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

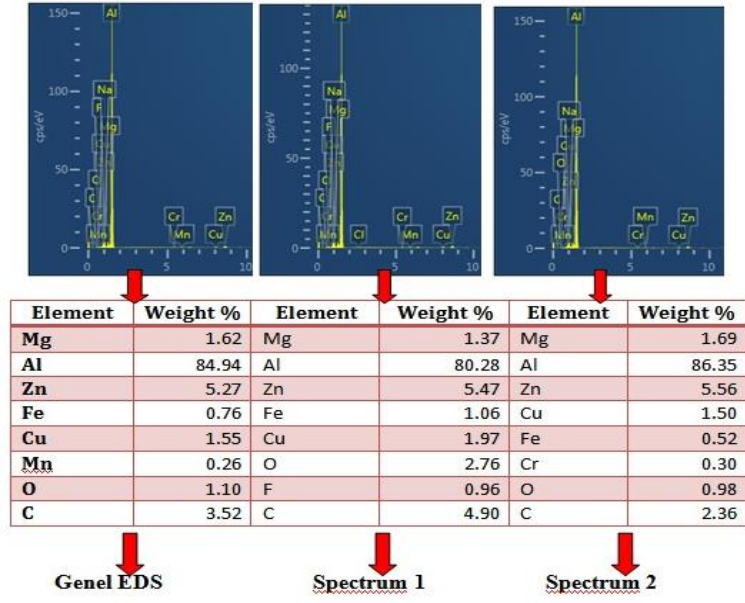


Şekil 3.39. 2 Numaralı numunenin EDS analizi

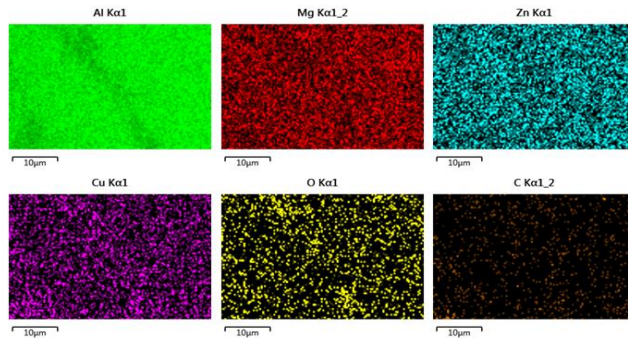
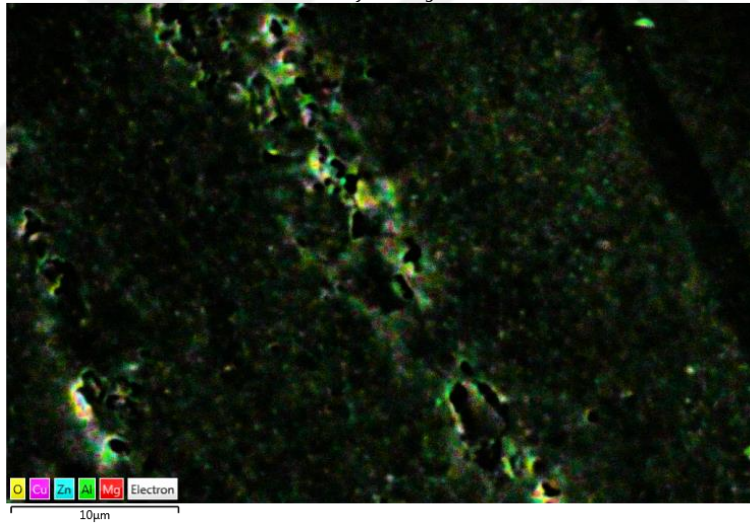


Şekil 3.40. 2 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.41. 2 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



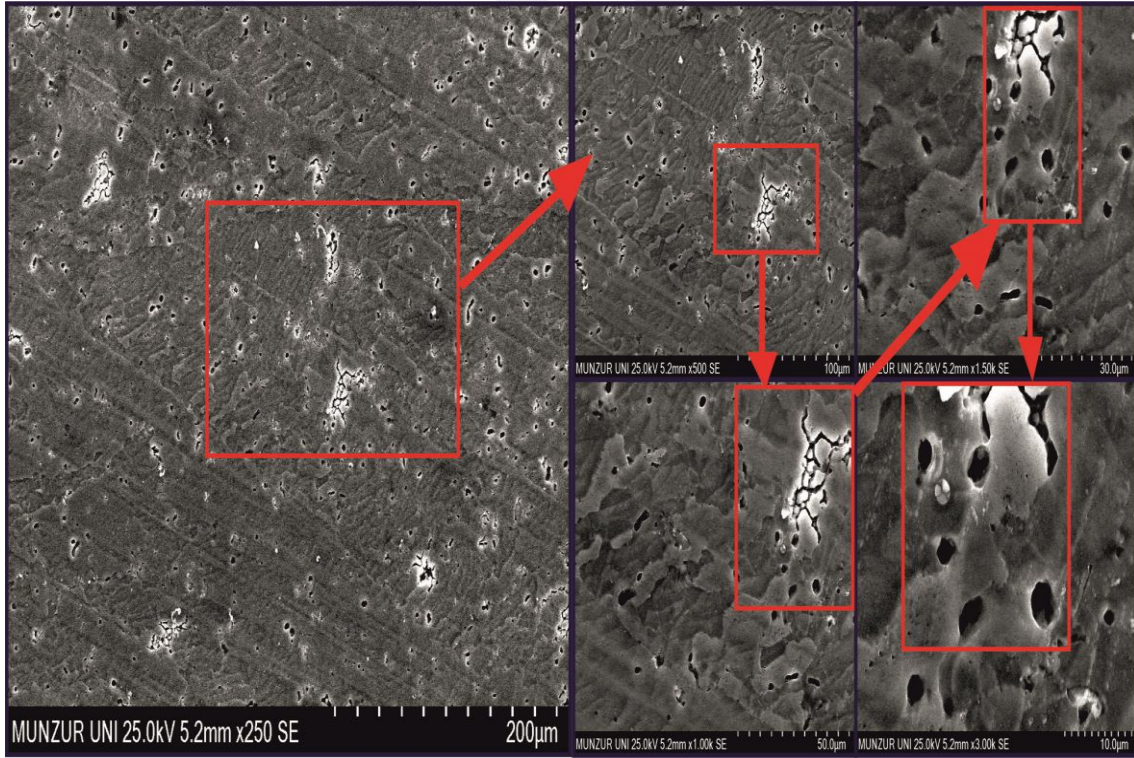
Şekil 3.42. 2 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

### 3.3.3. 120 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağla Soğutulan (3 Nolu) Numune

Spektrum1 ve spektrum2 şekil 3.43’de 120 °C’de 2 saat yaşlandırılan ve yağda soğutulan 3 nolu numunenin 250x, 500x, 1000x, 1500x ve 3000x büyütmelerdeki SEM görüntüleri verilmiştir.

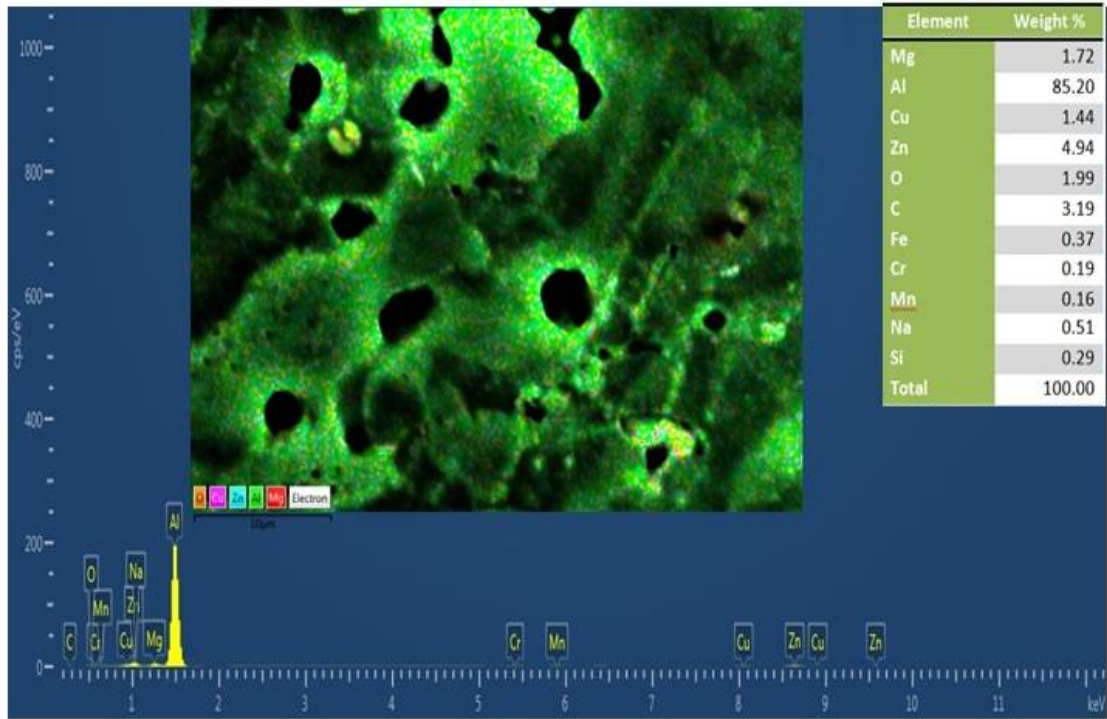
Üç nolu numuneden aldığımız renklendirme analizi şekil 3.44’te verilmiştir. Ana malzeme (matris) %85,20 Al’dan oluşmakta olup az miktarda; % 1,72 Mg, %1,44 Cu, %4,94 Zn içermektedir.

Numunenin şekil 3.45’te verilen noktasal analizlerinde ise, genel spektrum2 ve spektrum3 de yaklaşık değerler görülürken spektrum 1 de oksit ve karbon oranının biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 3.47’de yoğunlaşma küçük noktalar olsa da dağılımın homojen olduğu söylenebilir.

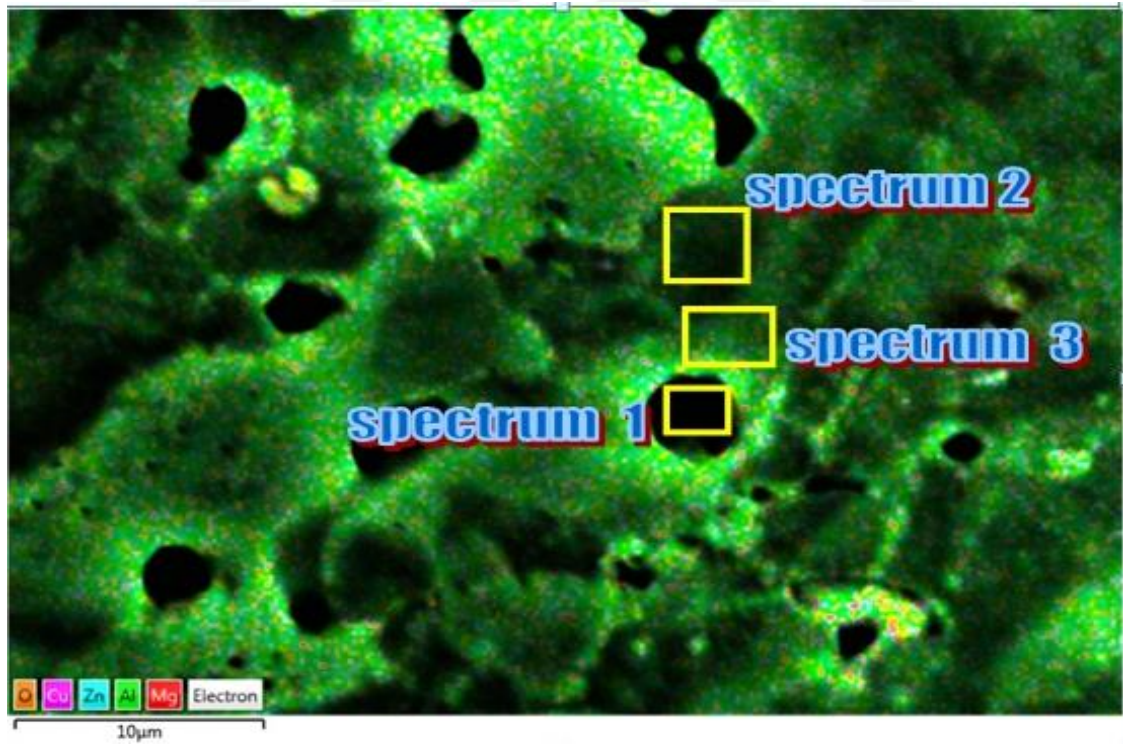


Şekil 3.43. 3 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

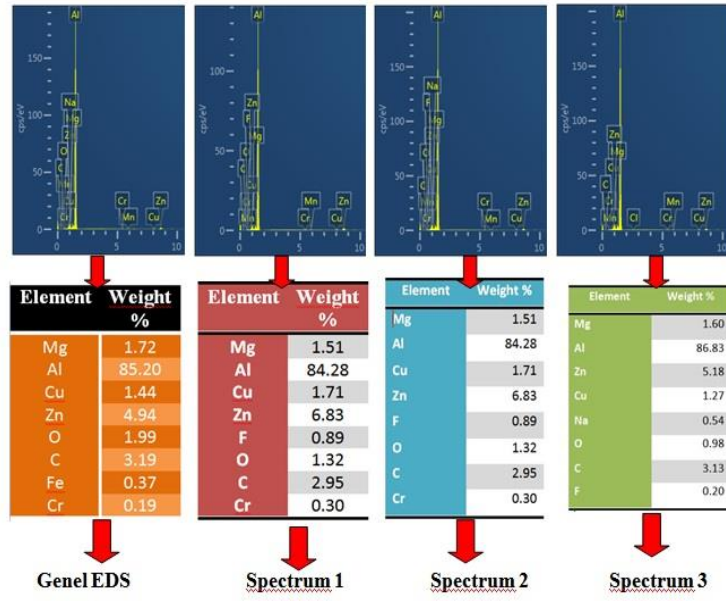




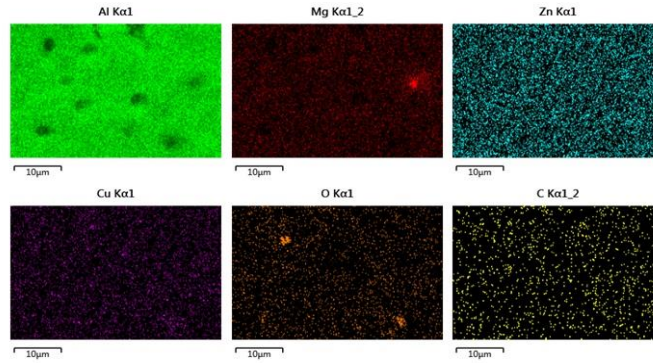
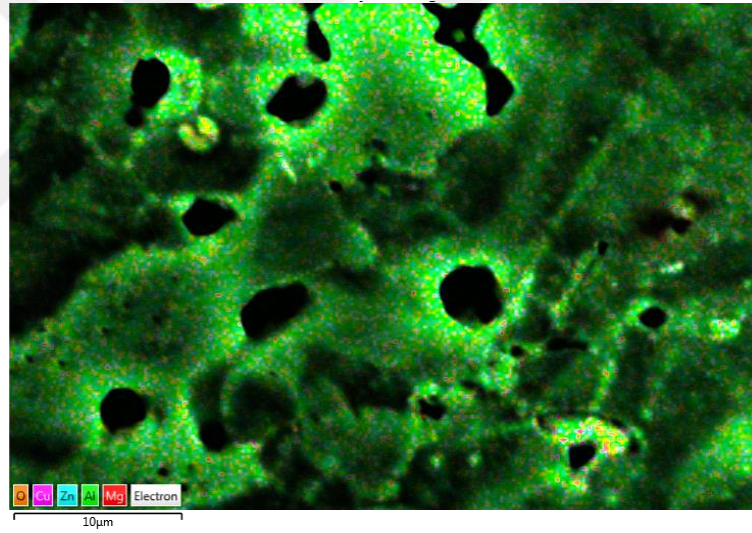
Şekil 3.44. 3 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.45. 3 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.46. 3 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.47. 3 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi



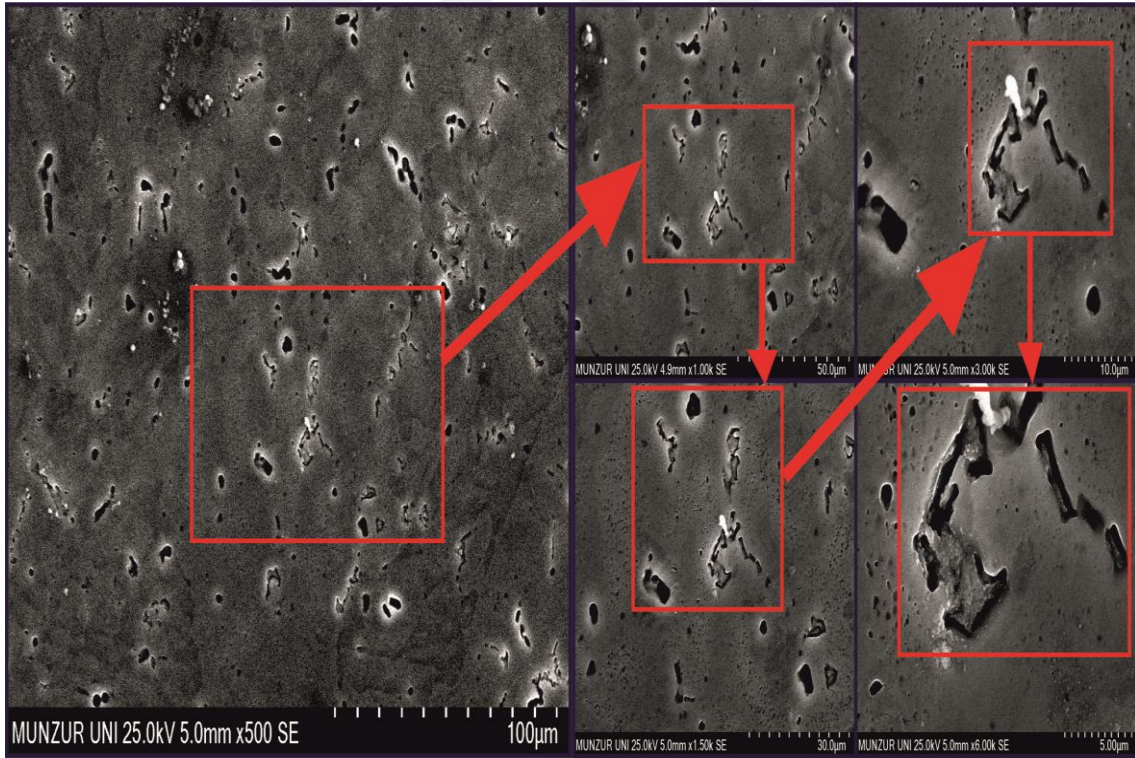
### 3.3.4. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Havayla Soğutulan (4 Nolu) Numune

Şekil 3.48’de farklı büyütme ölçeklerindeki SEM görüntüleri tek bir resim bünyesinde verilmiştir. 180 °C’de 2 saat yaşlandırma ısı işlemine tabi tutulan numune matrisi oluşturan Al un çökerek O, Fe ve Cu’dan oluşan yapı (siyah bölgeler) ortaya çıkmıştır.

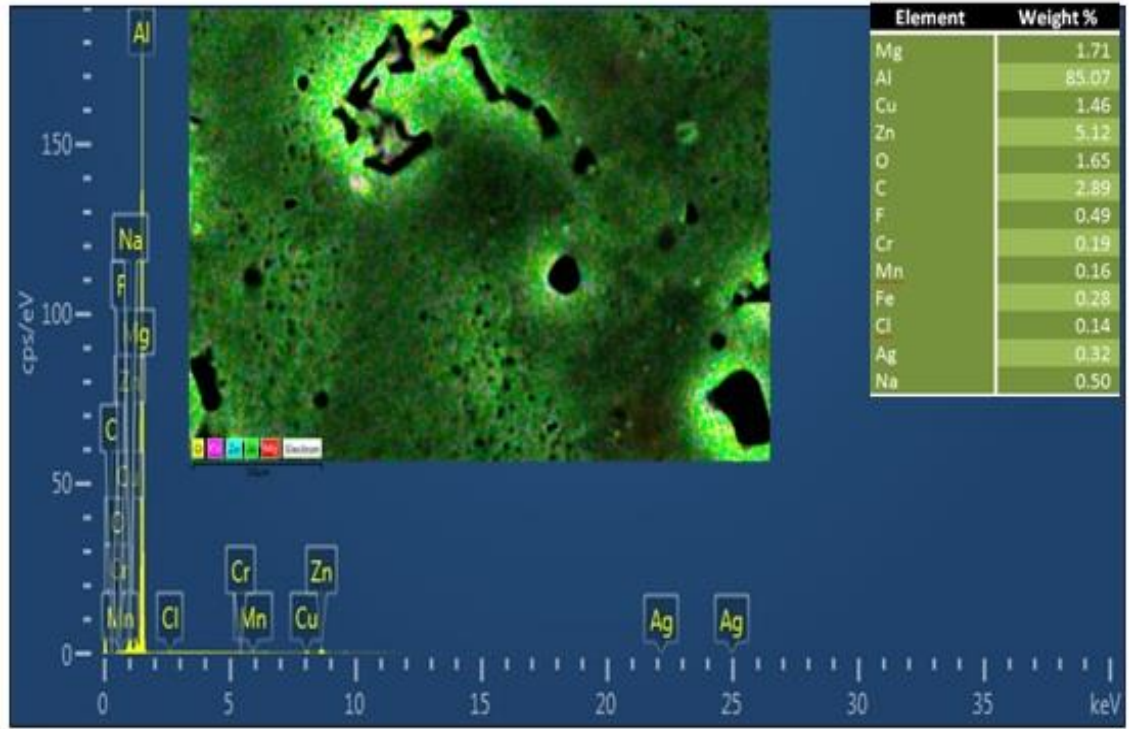
Şekil 3.49’da malzemenin bütününden aldığımız analizlerde malzemenin %85,07 Al, %1,71 Mg, %1,46 Cu, %5,12 Zn, %1,65 O ve %2,89 Cu dan oluştuğu bu elementlerinde kendi içinde bileşikler oluşturduğu görülmektedir.

Dört nolu numunenin genelinden ve üç farklı noktasından aldığımız analizleri şekil 3.50’de incelediğimizde ise tane sınırlarından aldığımız 1 nolu spektrum dışında diğer analizlerin ona matrisi yansıttığı görülmüştür.

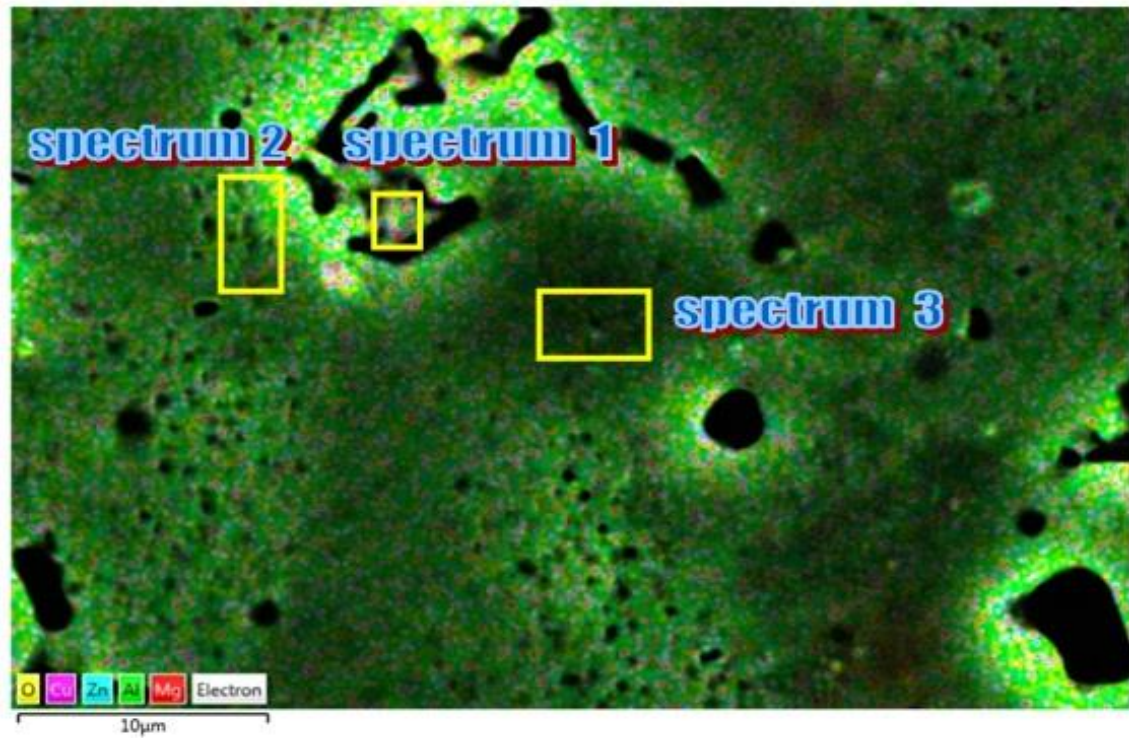
Şekil 3.52’de ise her bir elementin bölgesel dağılımında homojen bir dağılım görülmüştür.



Şekil 3.48. 4 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

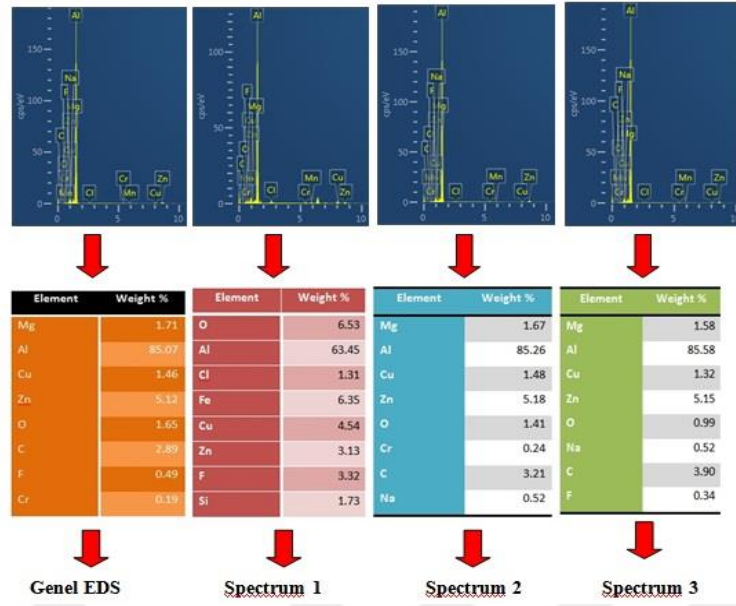


Şekil 3.49. 4 Numaralı numunenin EDS analizi

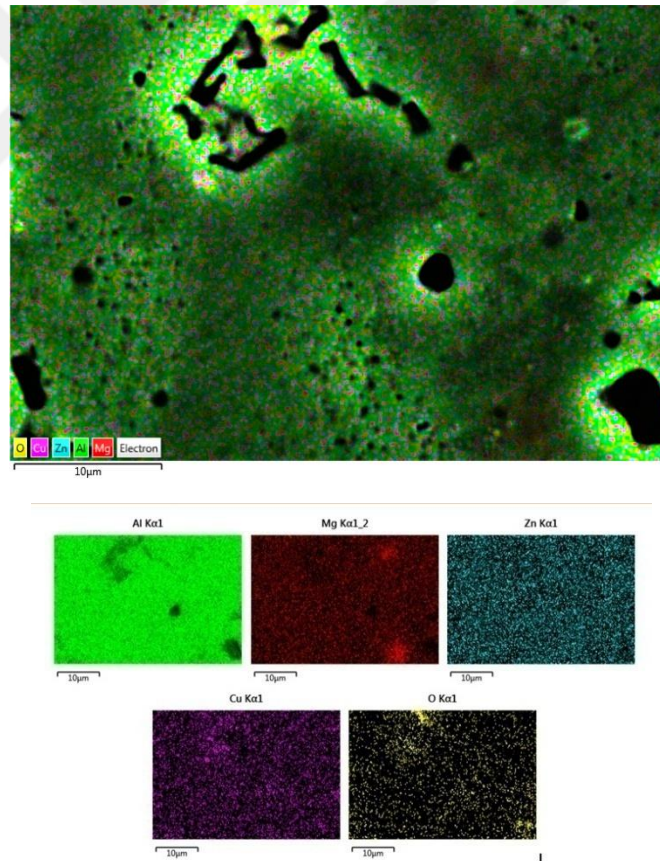


Şekil 3.50. 4 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.51. 4 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



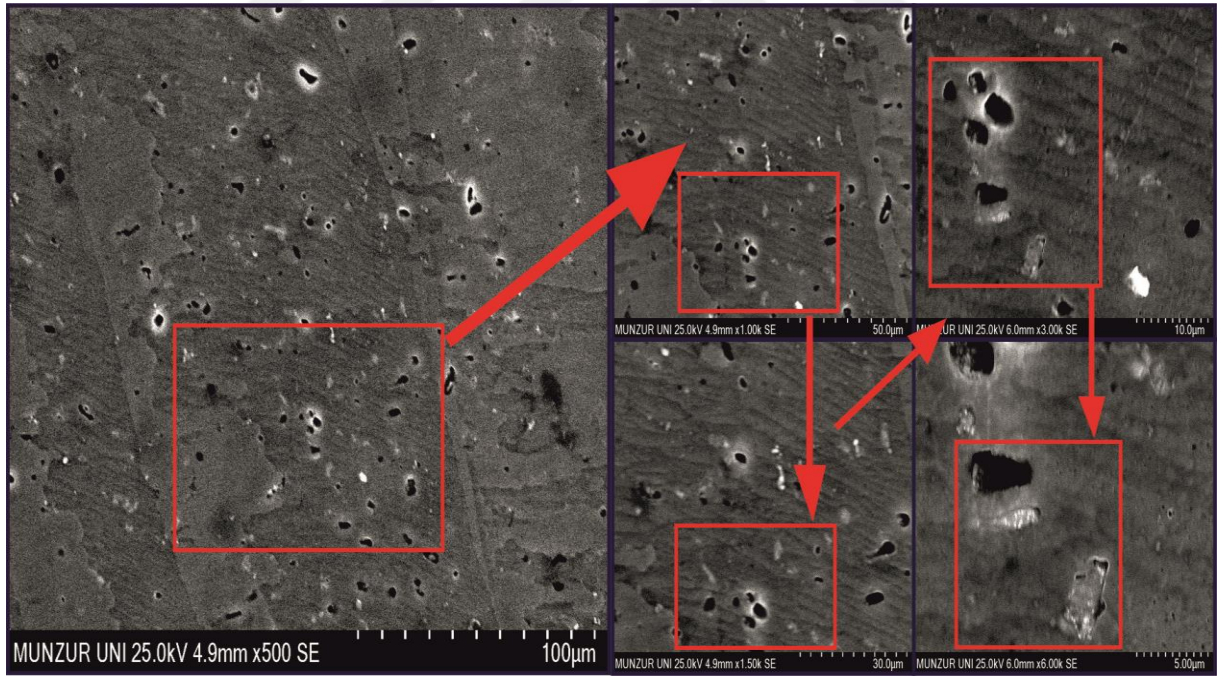
Şekil 3.52. 4 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü

### 3.3.5. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (5 Nolu) Numune

Şekil 3.53'teki farklı büyütme SEM görüntülerini incelediğimizde belli hatlarda çökelmenin daha belirgin olduğu, içerisinde yine metalografik işlemler sırasında zımparadan koparak yapıya saplanmış Silisyum ve Oksitten oluşan tanelerin iri siyah bölgelerin olduğu görülmektedir.

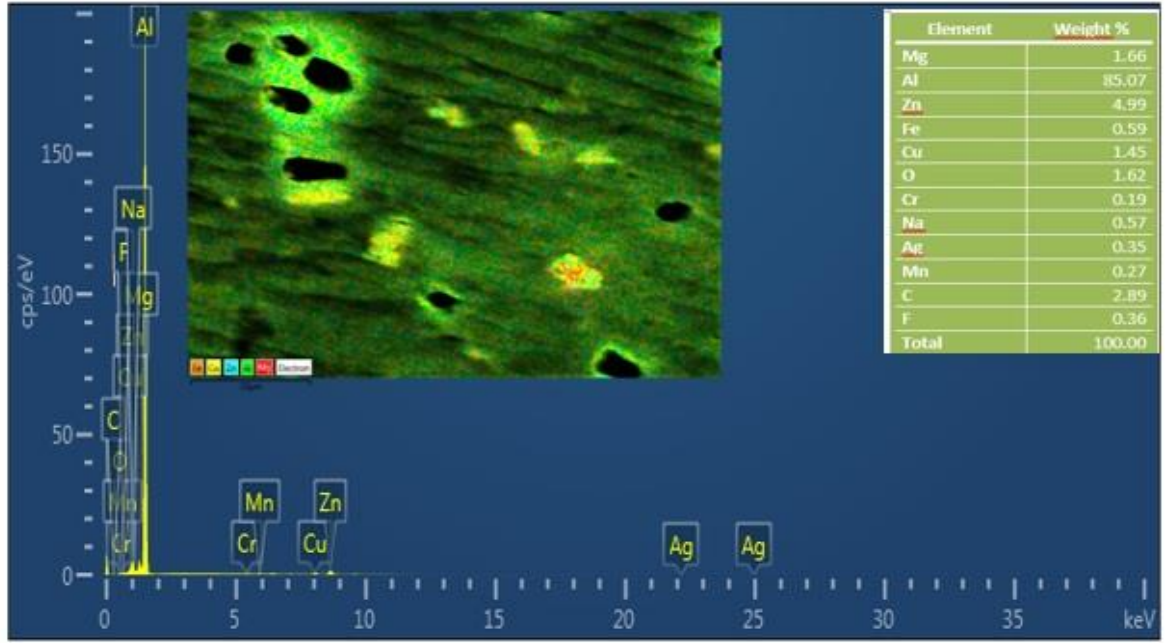
Şekil 3.54'te ise diğer numunelerimize yakın element değerleri görülmüştür; %85,07 Al, %1,6 Mg, %4,99 Zn, %1,45 Cu ve %1,62 O dan oluştuğu görülmektedir. Görüntüde bulunan açık yeşil bölgelerde ise Fe, Mg ve Cu'nun yoğunlaştığı görülmüştür.

Şekil 3.55'te ise yine genel matrisin (Al un yoğun olduğu malzemenin tamamını kapsadığı. Bileşik olarak pikleri gruplar halinde inceleyecek olursak Al, Mg, Fe'nin birlikte bileşik oluşturduğunu, Cr ve Mn'nin birlikte ve Cu ile Zn de birlikte bileşik oluşturduğu görülmüştür. Şekil 3.57'de ise Fe'nin bazı bölgelerde yoğunlaşmasının dışında homojen bir dağılım görülmektedir.

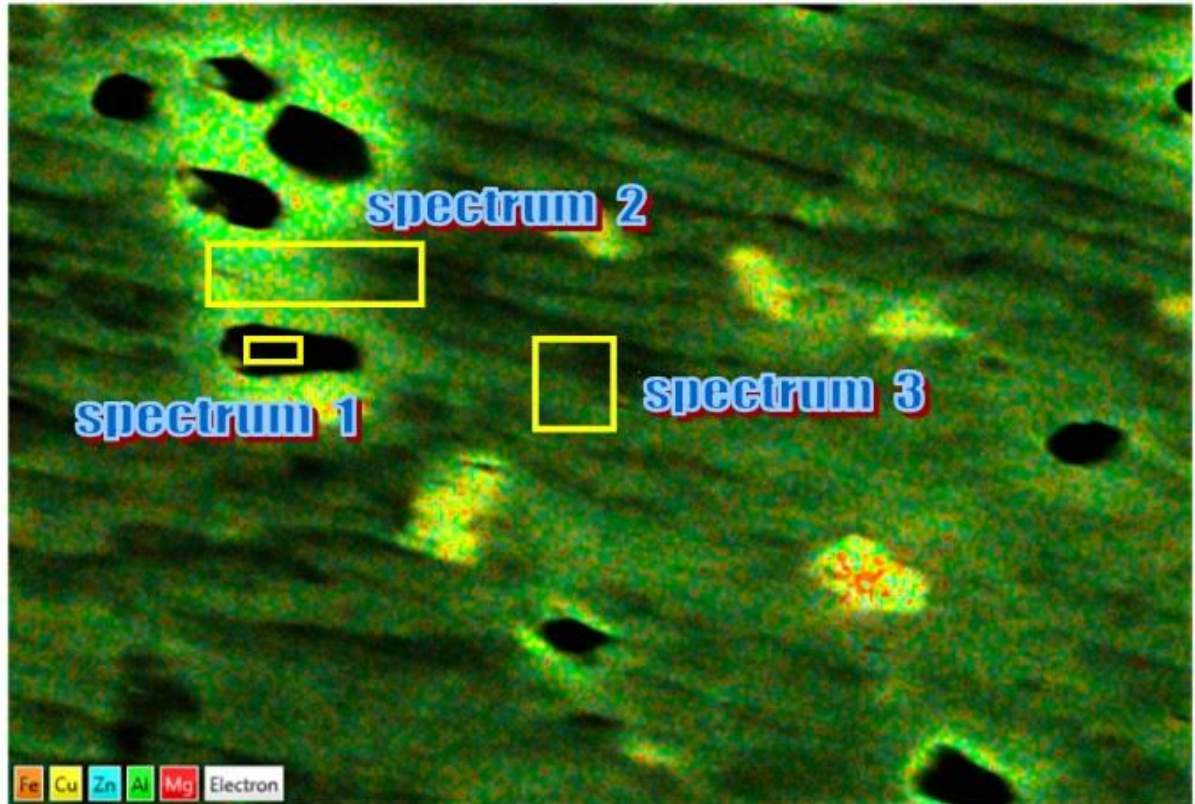


Şekil 3.53. 5 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

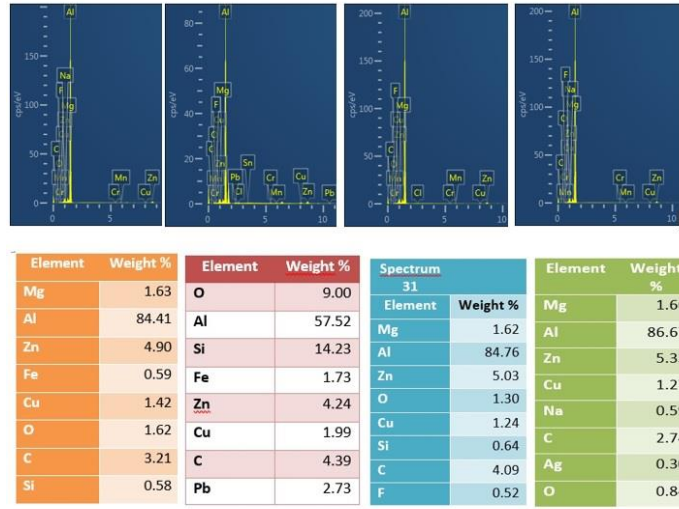




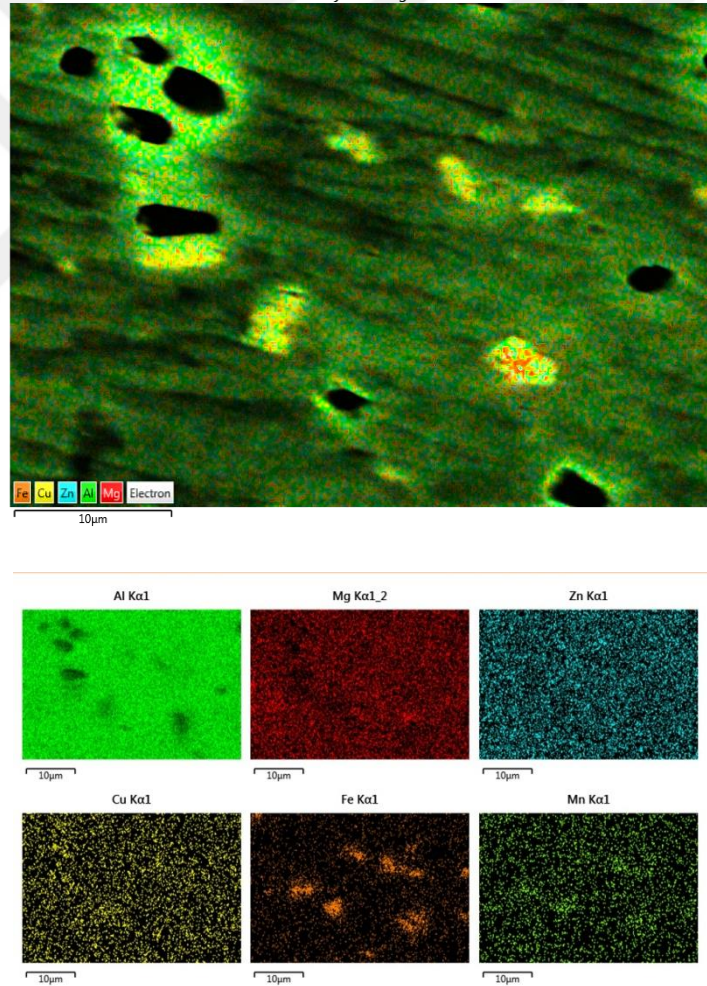
Şekil 3.54. 5 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.55. 5 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.56. 5 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.57. 5 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü

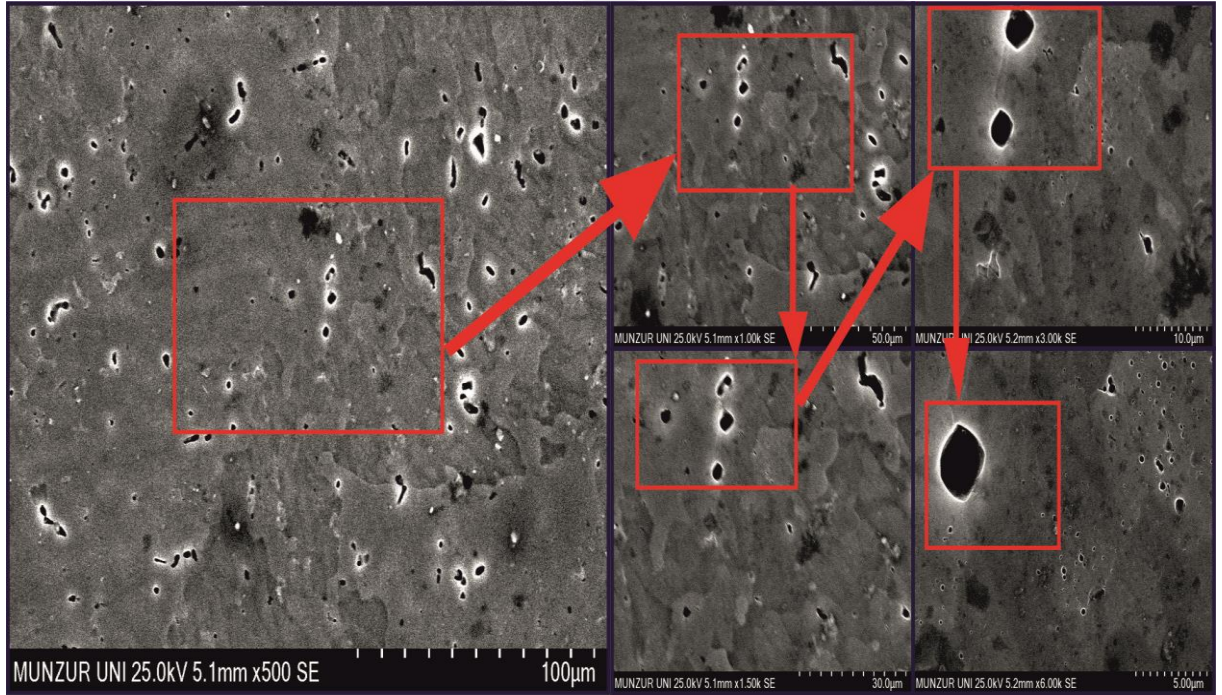


### 3.3.6. 180 °C 2 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (6 Nolu) Numune

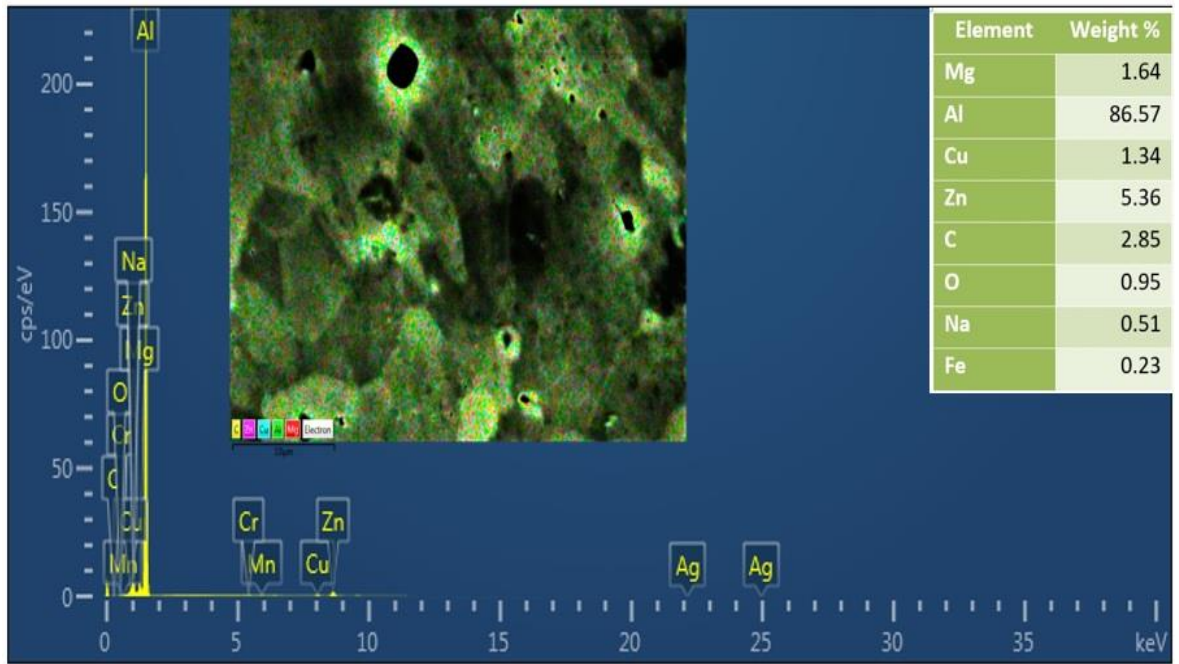
Şekil 3.58’de verilen SEM görüntülerini incelediğimizde 5 nolu numuneyle yapının benzerlikler gösterdiği söylenebilir.

Şekil 3.59’da ise 6 nolu numunenin bütününden aldığı analizde % 86,57 Al, % 1,64 Mg, % 1,34 Cu, % 5,36Zn ve % 2,85 C dan oluştuğu görülmüştür.

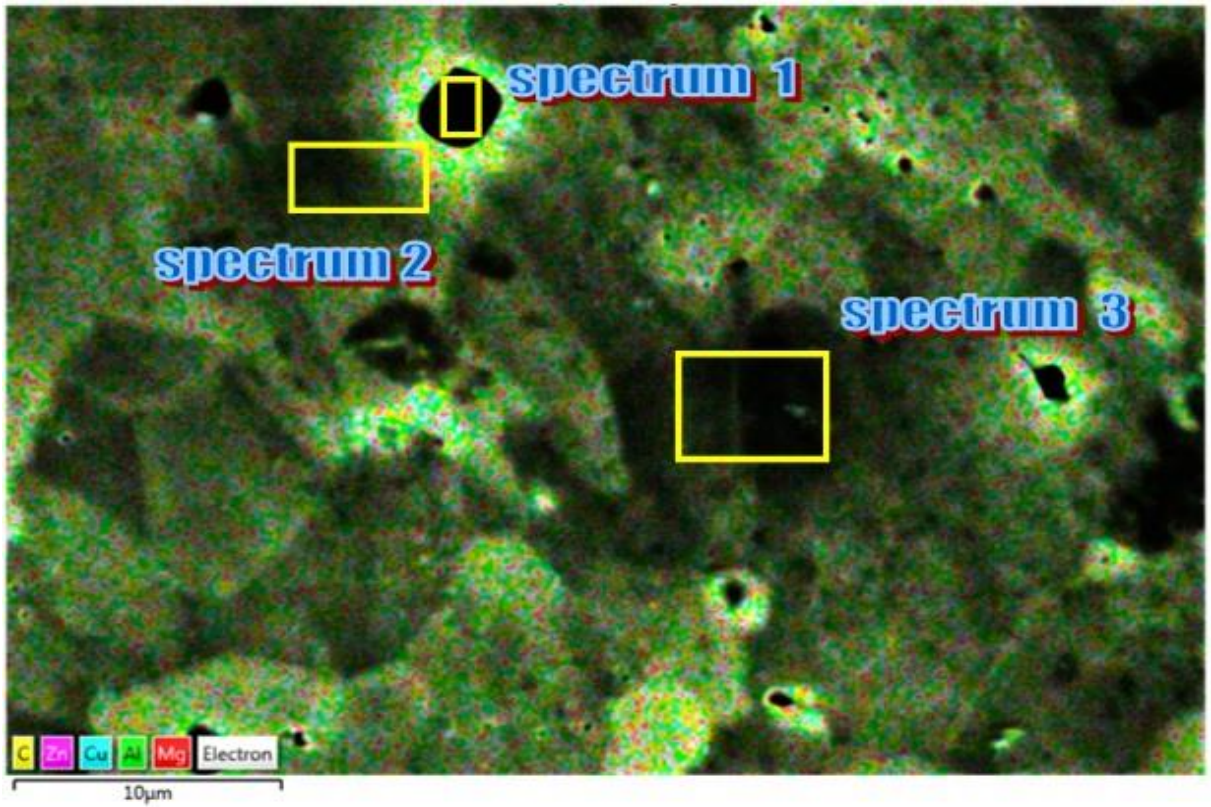
Şekil 3.60’da noktasal olarak aldığımız analizlerde diğer numunelerden farklı olarak C oranının %3’ler civarına çıktığı bununda ısıtıl işlem sırasında Al’un az da olsa bir kısmının karbonlaştığı kanısı oluşmuştur. Şekil 3.62’de malzeme yapısında bulunan elementlerin homojen bir dağılım gösterdiği söylenebilir.



Şekil 3.58. 6 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

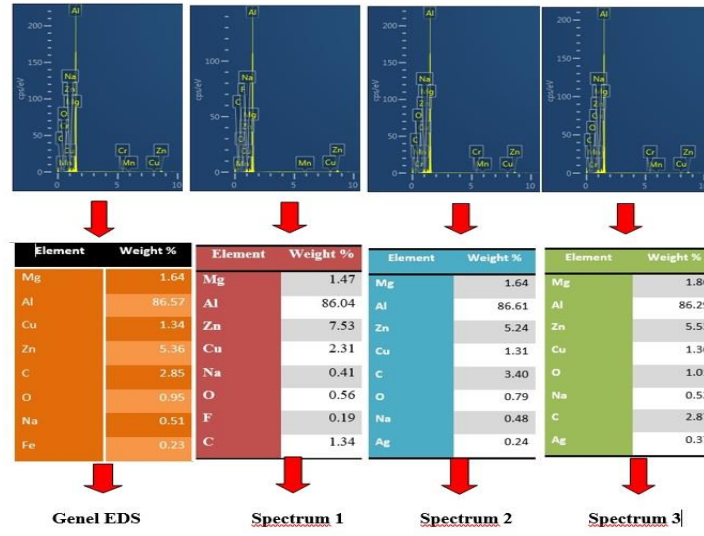


Şekil 3.59. 6 Numaralı numunenin EDS analizi

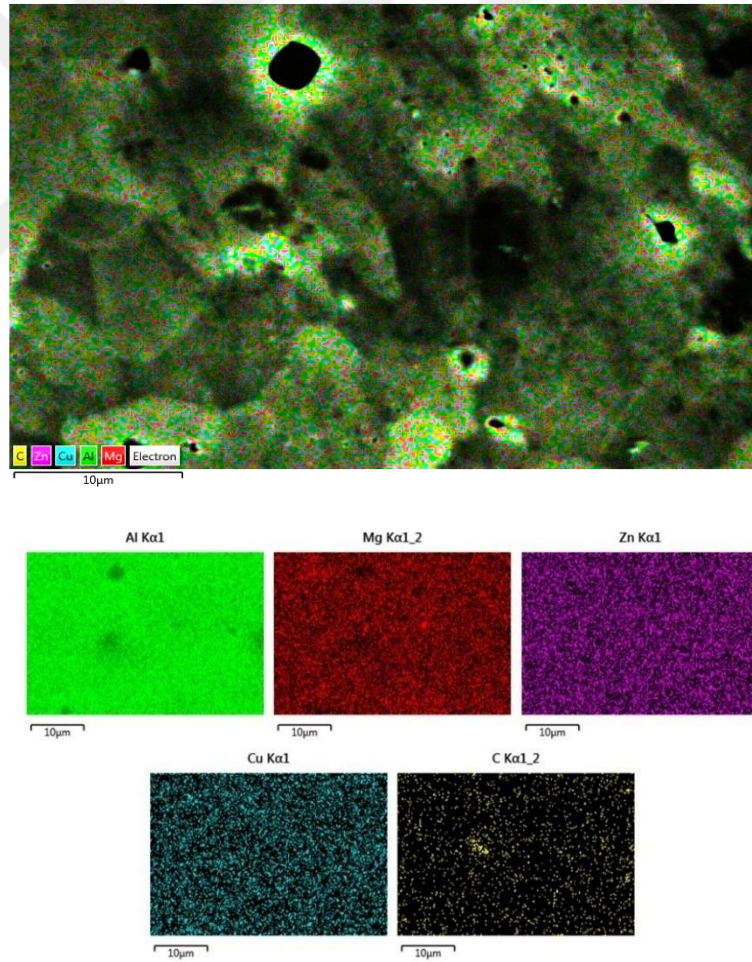


Şekil 3.60. 6 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.61. 6 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü

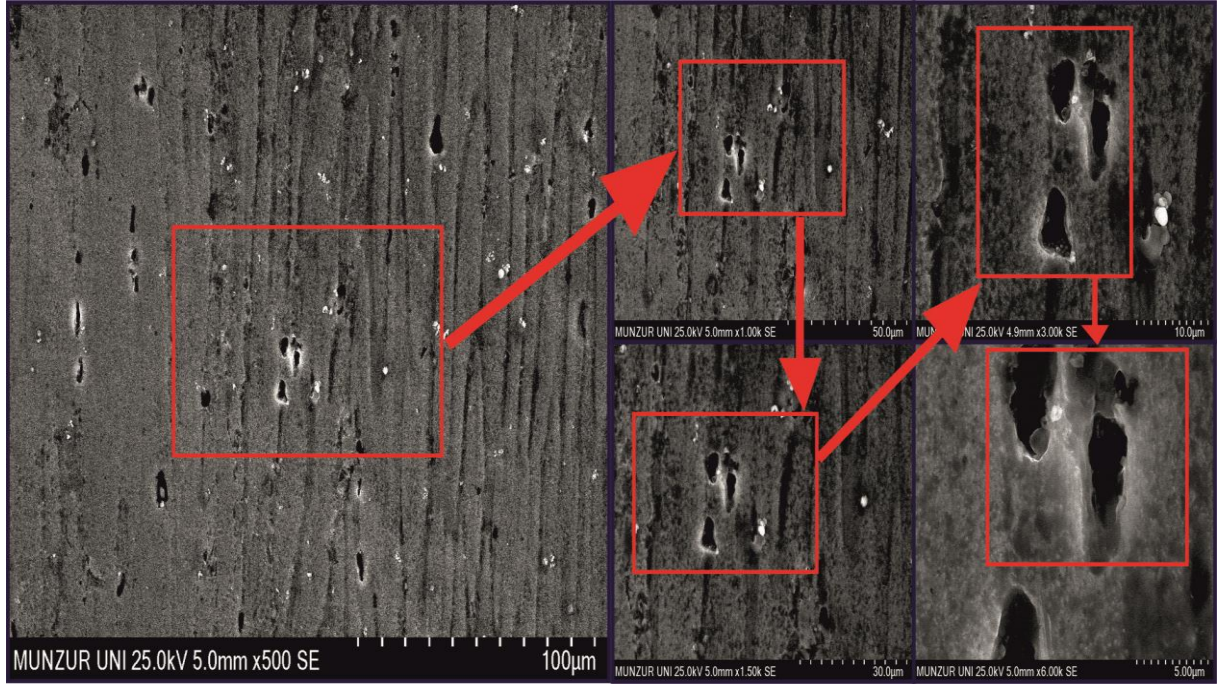


Şekil 3.62. 6 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

### 3.3.7. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (25 Nolu) Numune

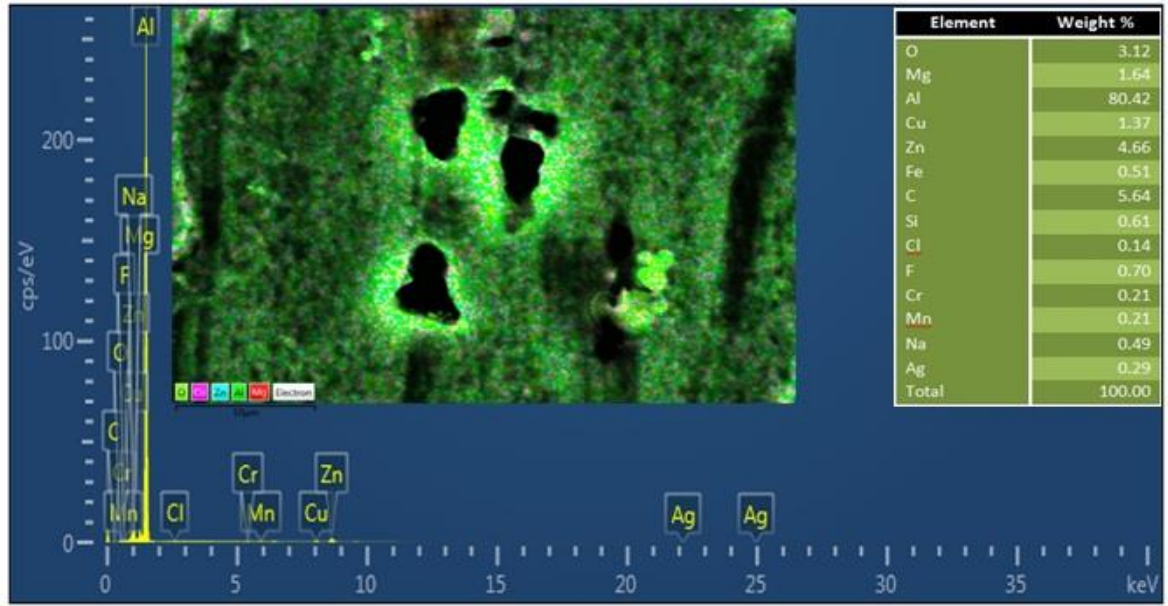
Şekil 3.63'te 500x, 1000x, 3000x ve 6000x büyütmelemler tek bir fotoğrafta verilmiş olup, bu çalışmamızda en uzun çalışma süresi olan 24 saat bir ısıtıl işleme tabi tutulmuştur. 25 nolu numunemizin genel yapının tamamen çökeldiği buna karşın yapıdaki siyah noktaların 24 saatlik ısıtıl işlemin sonucu olarak karbonlaşmış bölgeler olduğu görülmüştür.

Şekil 3.64'te ise renklendirilerek bütününden aldığımız analizde diğer numunelere kıyasla Al oranının % 80,42 lere düştüğü, % 5'lik oranınsa C ve O dışında birbirine yakın değerler göstermiştir.

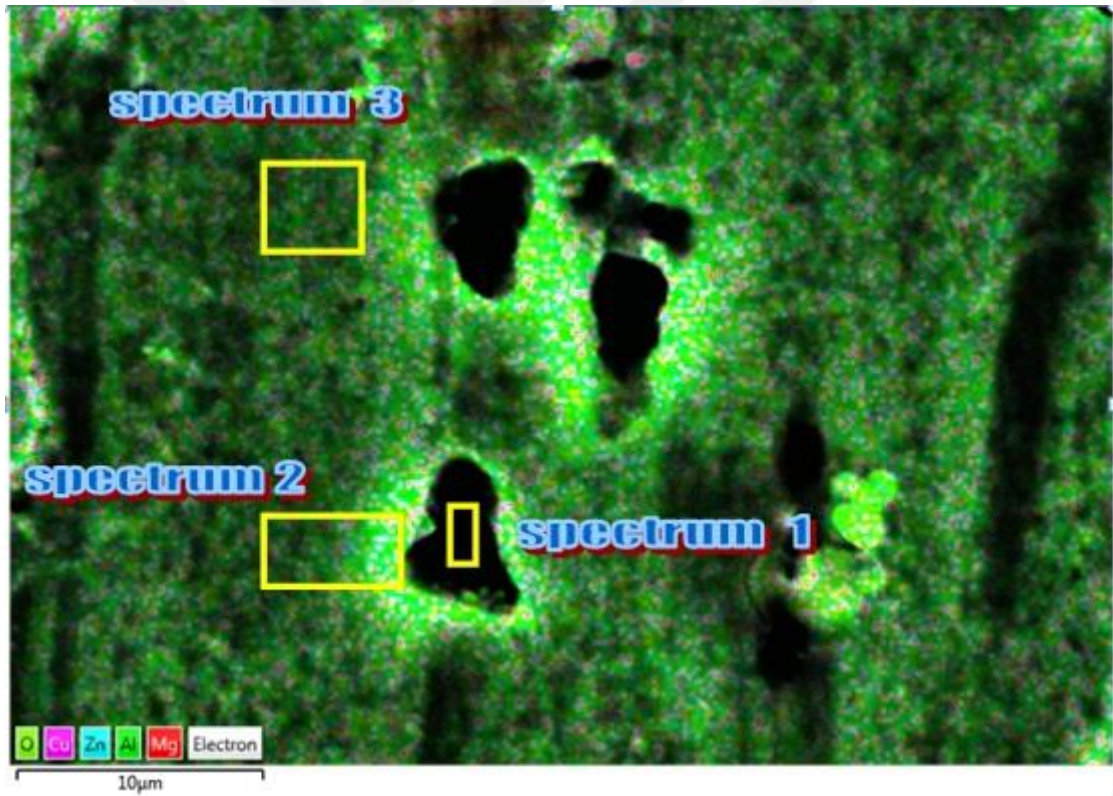


Şekil 3.63. 25 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

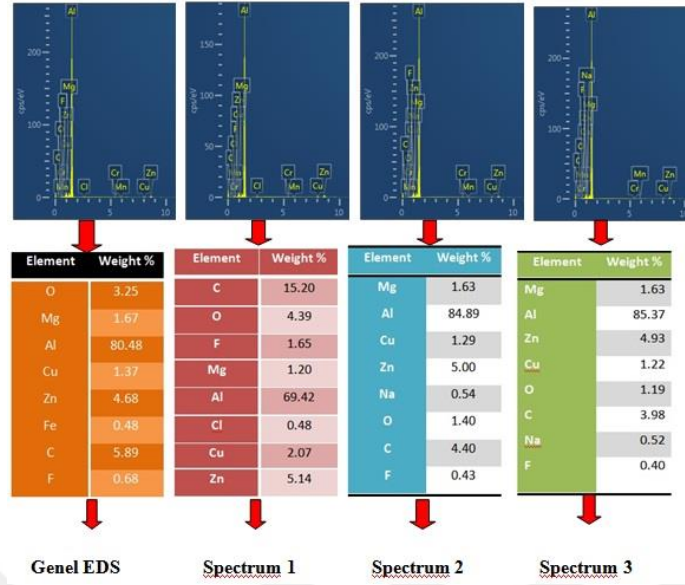




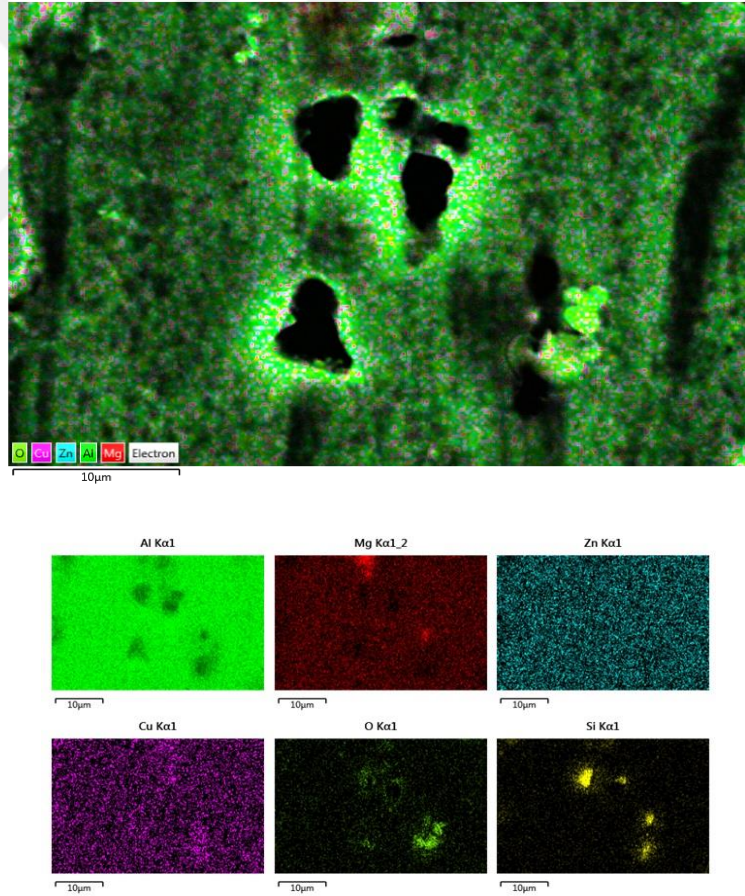
Şekil 3.64. 25 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.65. 25 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.66. 25 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü

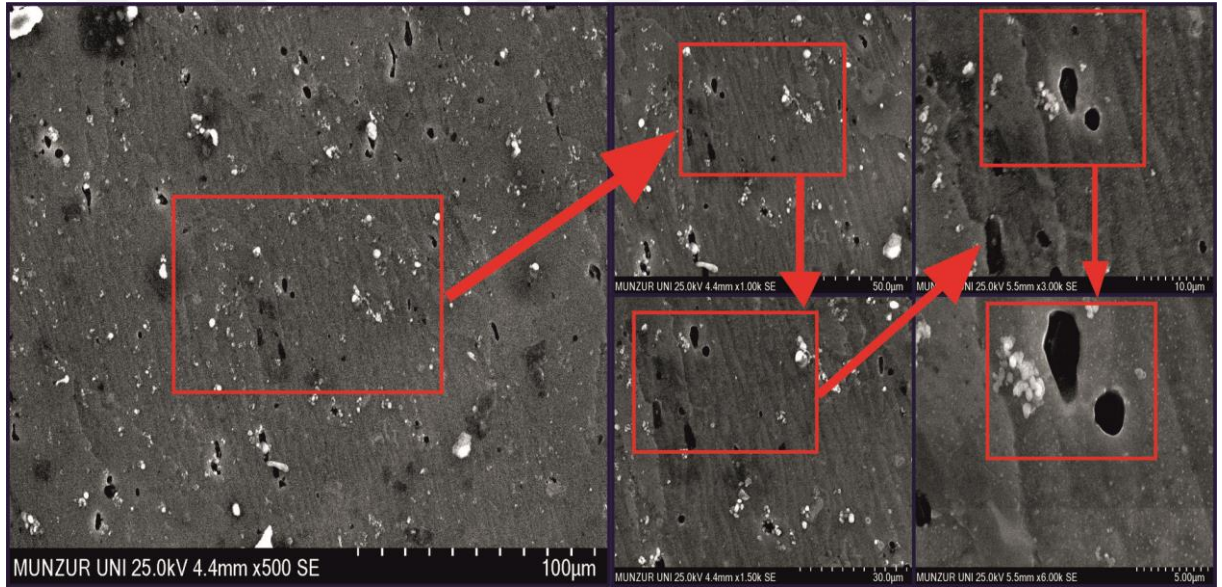


Şekil 3.67. 25 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

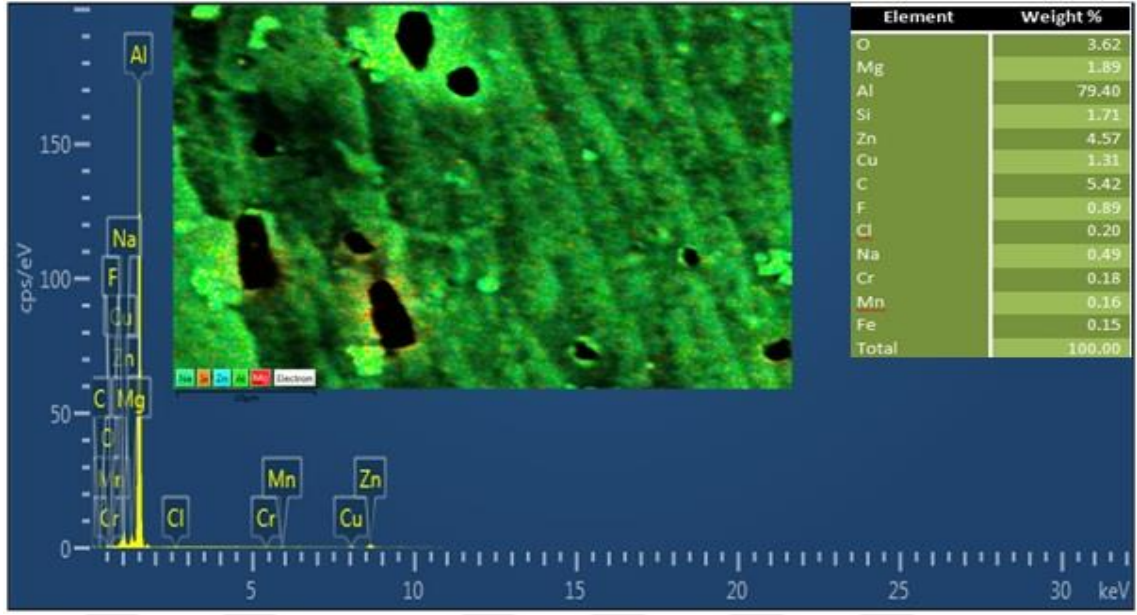


### 3.3.8. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (26 Nolu) Numune

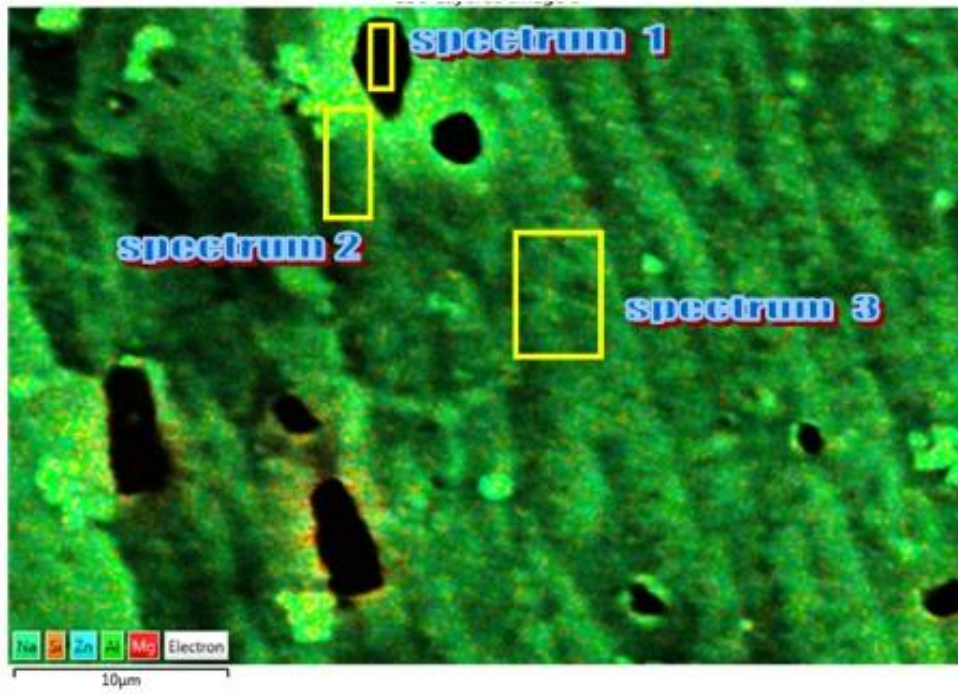
Şekil 3.68’de farklı büyütmelelerdeki SEM görüntüleri incelendiğinde 24 saat ısıtılma işlemde kalan numunenin hızlı bir şekilde suda soğutulmasından kaynaklı yapının çökmesinin yanı sıra incelme görülmüştür. Şekil 3.69’da ise Si ve O dan oluşan zımpara parçalarının yine ön plana çıktığı Al oranının % 79,40 olduğu diğer elementlerin ise; % 3,62 O, % 1,89 Mg, % 4,57 Zn, % 1,71 Si, % 1,31 Cu ve % 5,42 C’den oluştuğu görülmektedir. Şekil 3.70’den aldığımız noktasal analiz sonuçlarına göre spectrum 1 in dışında yapının % 80 civarında Al’dan oluştuğu, 24 saatlik ısıtılma işleminden kaynaklı yine C ve O oranlarındaki yükselme görülmüştür. Şekil 3.72’de homojen dağılım sağlanmıştır.



Şekil 3.68. 26 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

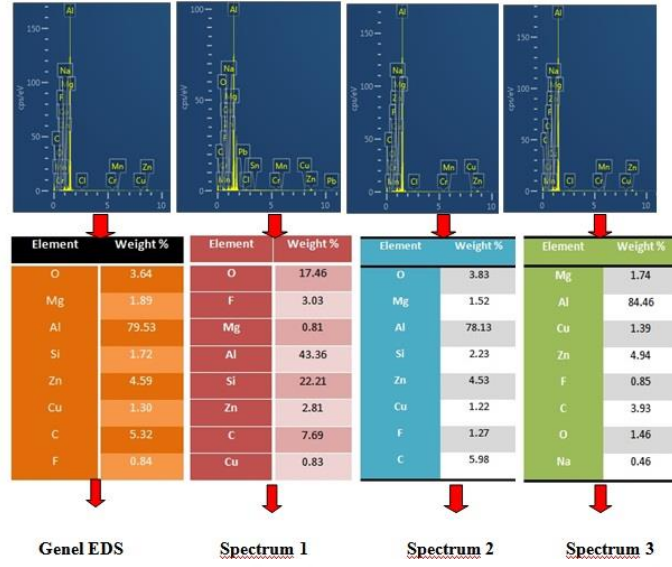


Şekil 3.69. 26 Numaralı numunenin EDS analizi

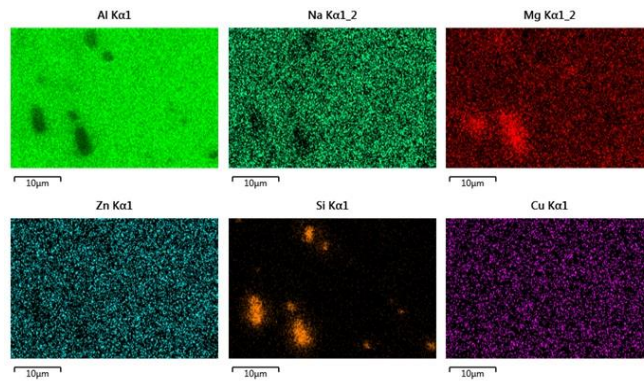
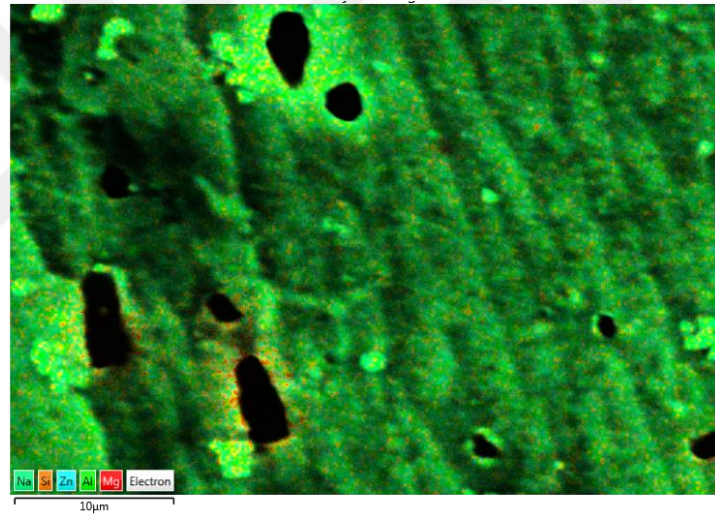


Şekil 3.70. 26 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.71. 26 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.72. 26 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

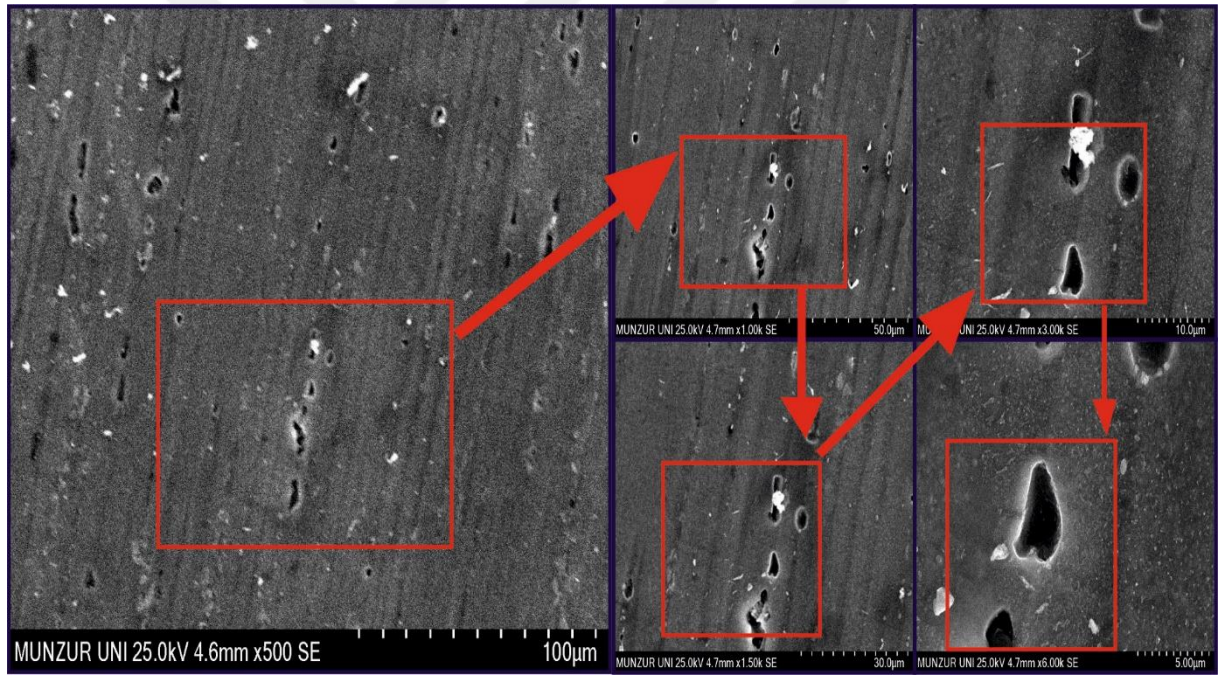
### 3.3.9. 120 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (27 Nolu) Numune

Şekil 3.73'te 27 nolu numuneye ait SEM görüntülerini farklı büyütmelerde incelediğimizde soğutma ortamının yağda olmasından kaynaklı iç gerilmelerinin biraz azaldığı söylenebilir.

Şekil 3.74'te Genel analizi verilen 27 nolu numune de % 83,54 Al, % 1,69 Mg, %4,88 Zn, % 2,23 O, % 1,46 Cu ve % 3,92 C bulunduğu analiz piklerinin diğer numunelerle benzer olduğu, yine bileşik durumunun da aynı olduğu söylenebilir.

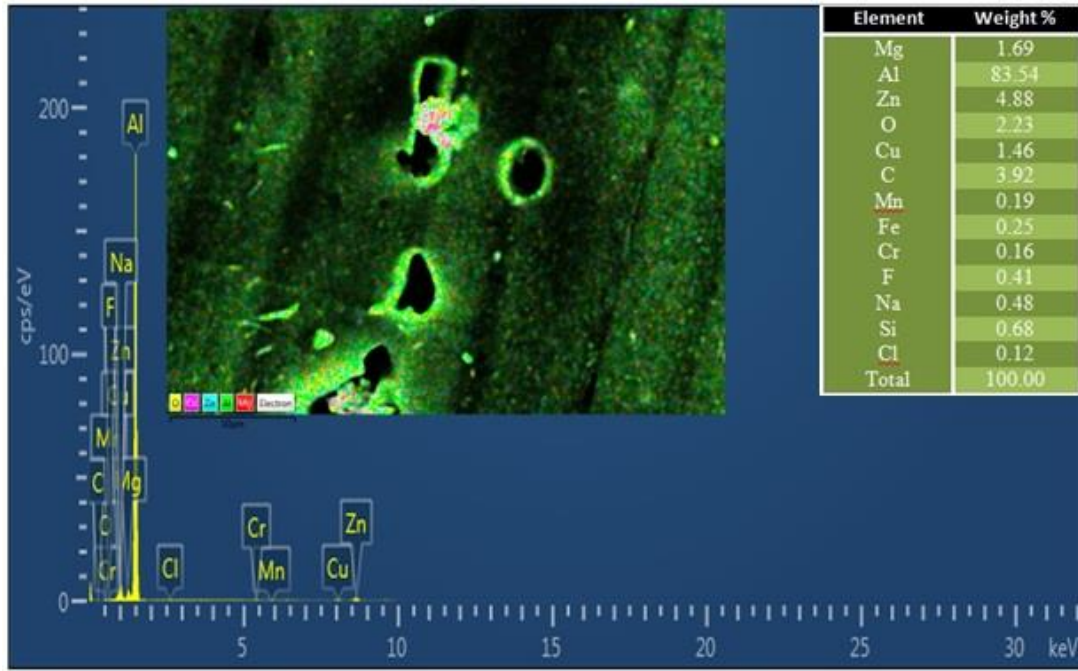
Şekil 3.75'te 27 nolu numuneden alınan noktasal analizlerde Al yine % 80'in üzerinde çıktığı görülmektedir.

Elementler dağılım analizlerini şekil 3.77'de incelediğimizde Al, Mg ve Zn yoğun olduğu homojen bir dağılım görülmüştür.

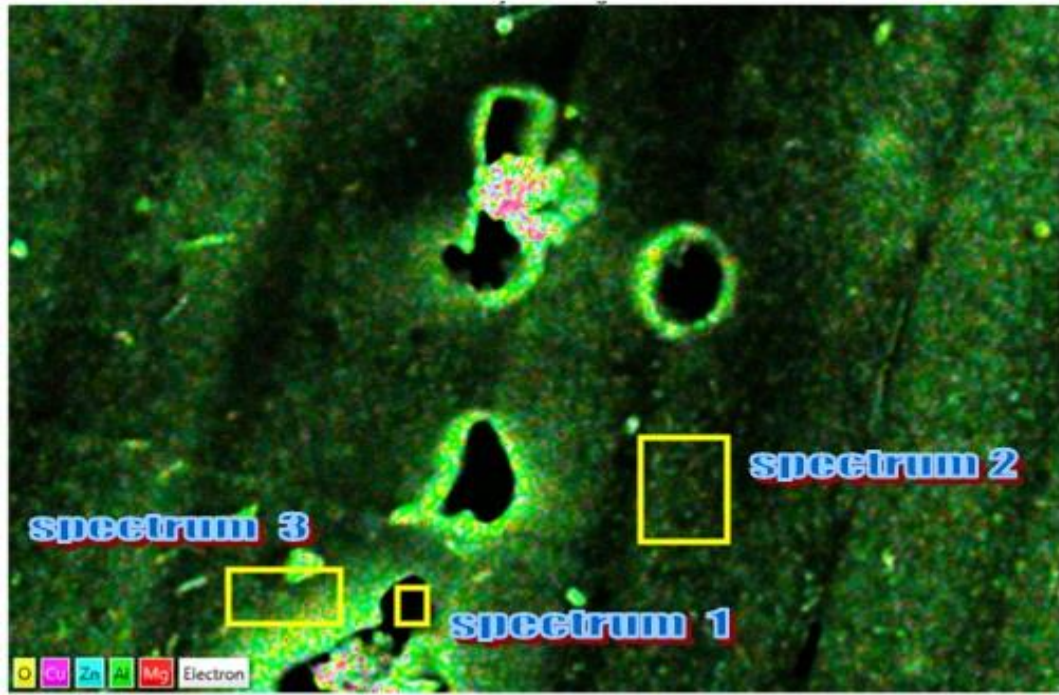


Şekil 3.73. 27 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

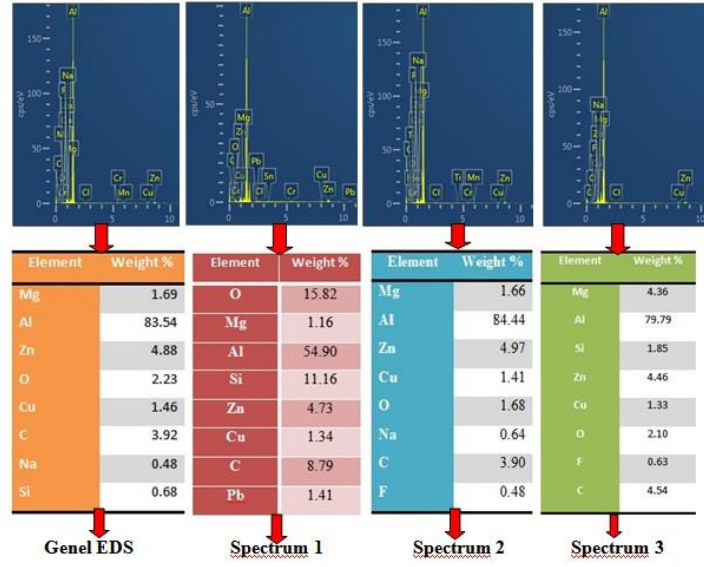




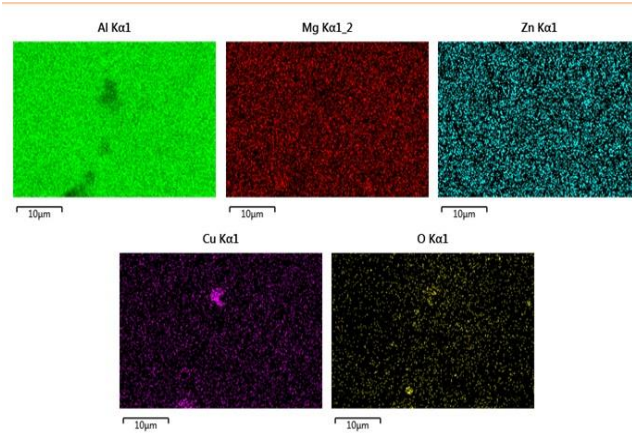
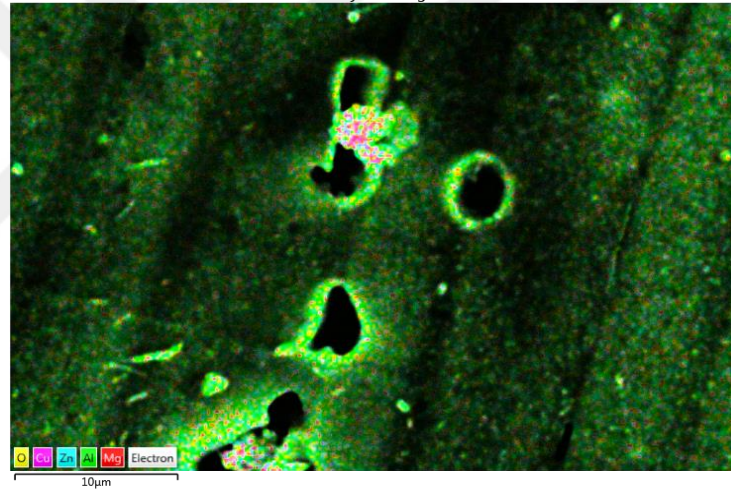
Şekil 3.74. 27 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.75. 27 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.76. 27 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.77. 27 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

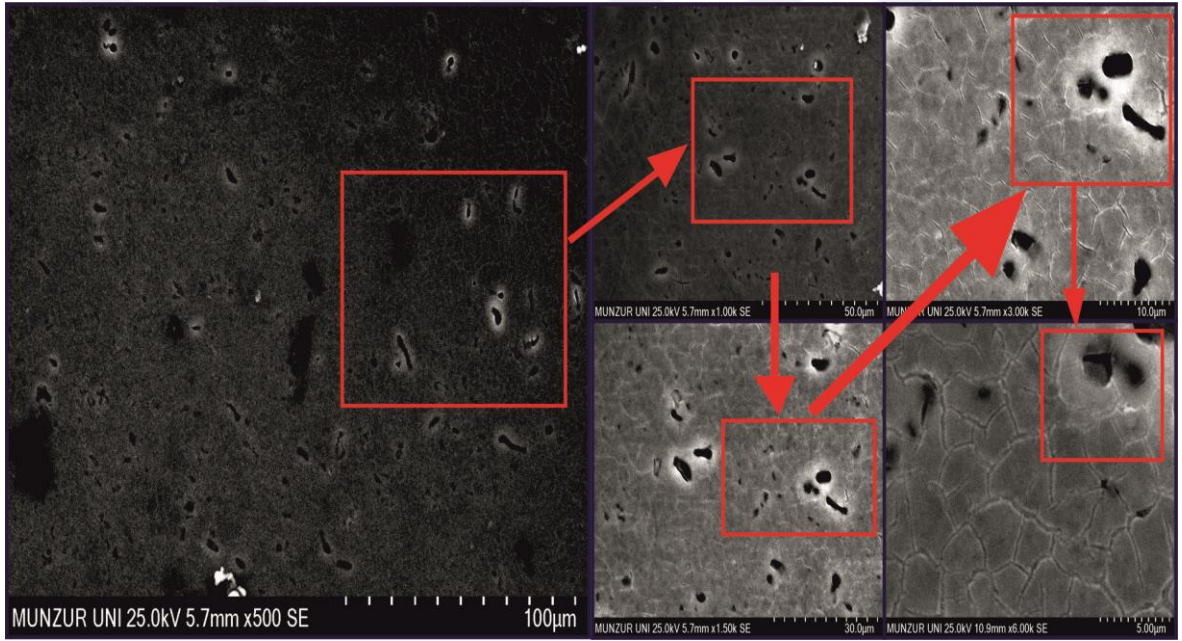


### 3.3.10. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Havada Soğutulan (28 Nolu) Numune

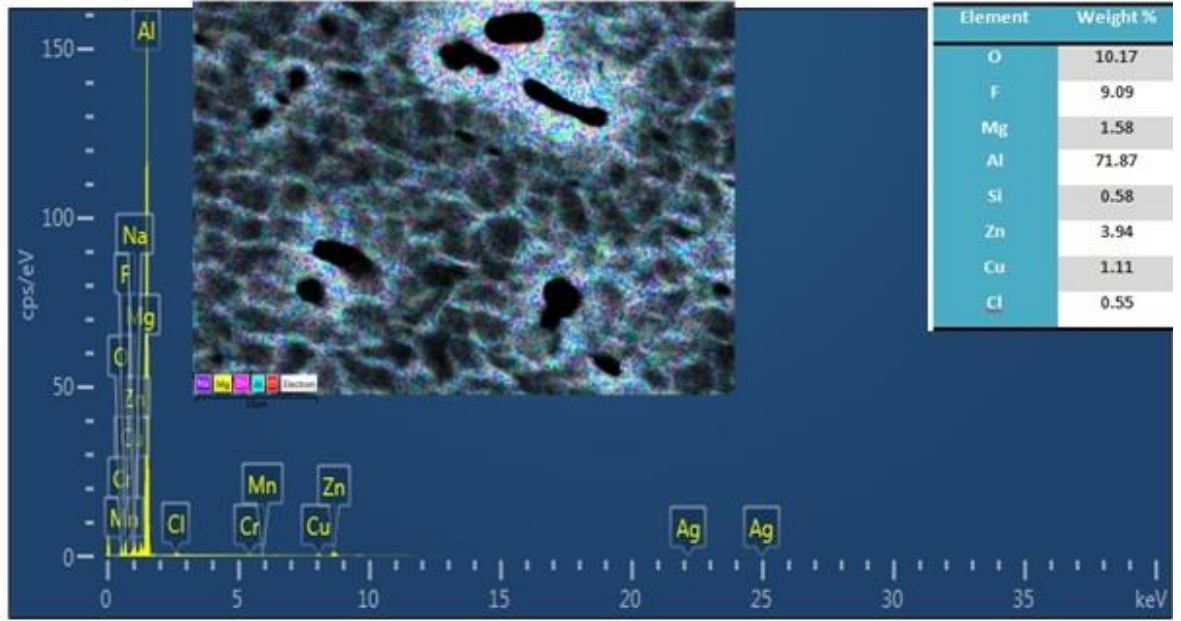
Şekil 3.78’de 28 nolu numuneye ait farklı büyütme seviyelerindeki (500x,1000x,1500x, 3000x, 6000x) SEM görüntülerini incelediğimizde 180 °C’lik ısıtılmasının olumlu yönde gerçekleşmesi açısından daha etkili olduğu söylenebilir.

Şekil 3.79’da malzemenin genelinden alınan analizde Al oranının çok düşerek % 71, 87’lerde olması O’nin ise %10,17 ile genelinde yayılması ve Fe’nin yine %9,09 la ön plana çıkması diğer numunelerle olan farklılıklar göze çarpmaktadır.

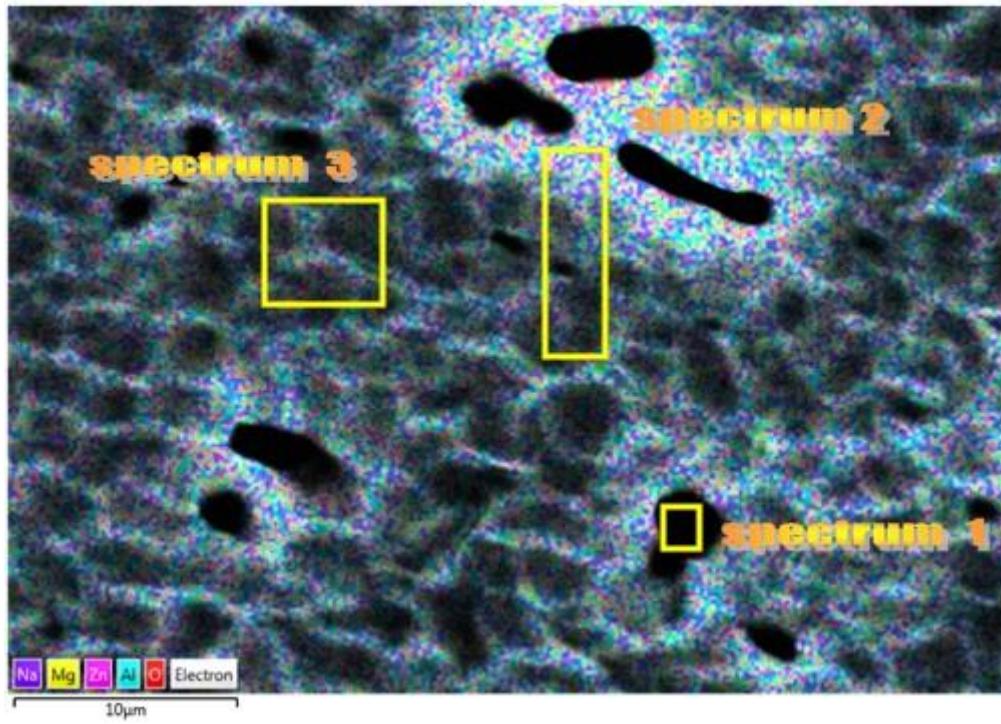
Şekil 3.80’de 28 nolu numuneden aldığımız noktasal analizlerde ise yine Al değerlerinin düşük olduğu görülmüştür. Şekil 3.82’de ise element dağılımı düzenlidir.



Şekil 3.78. 28 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

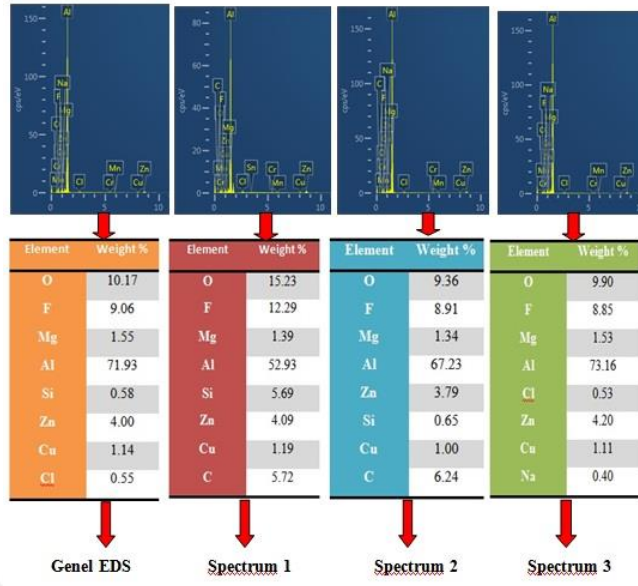


Şekil 3.79. 28 Numaralı numunenin EDS analizi

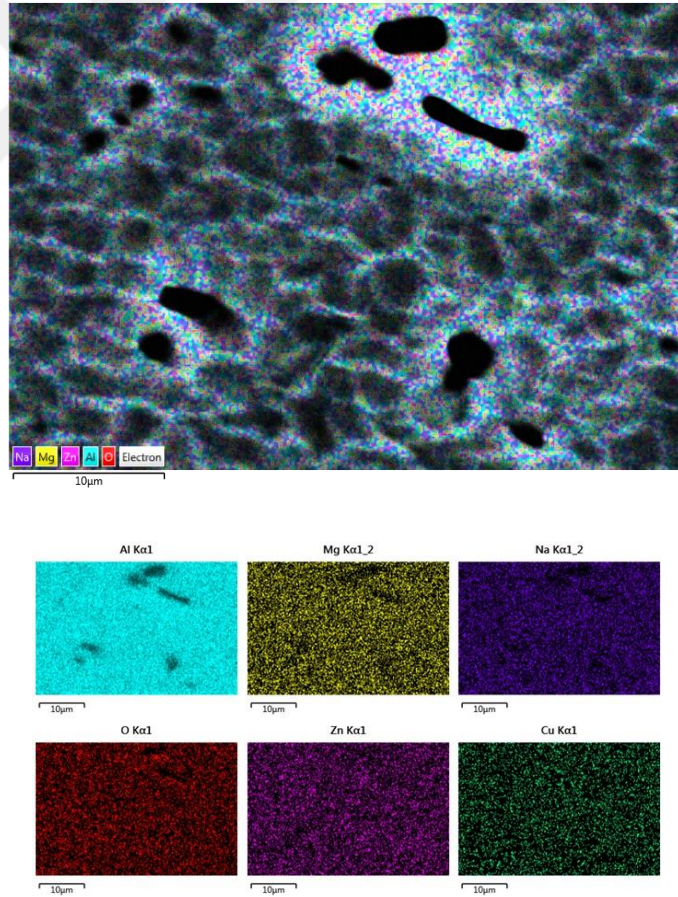


Şekil 3.80. 28 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.81. 28 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



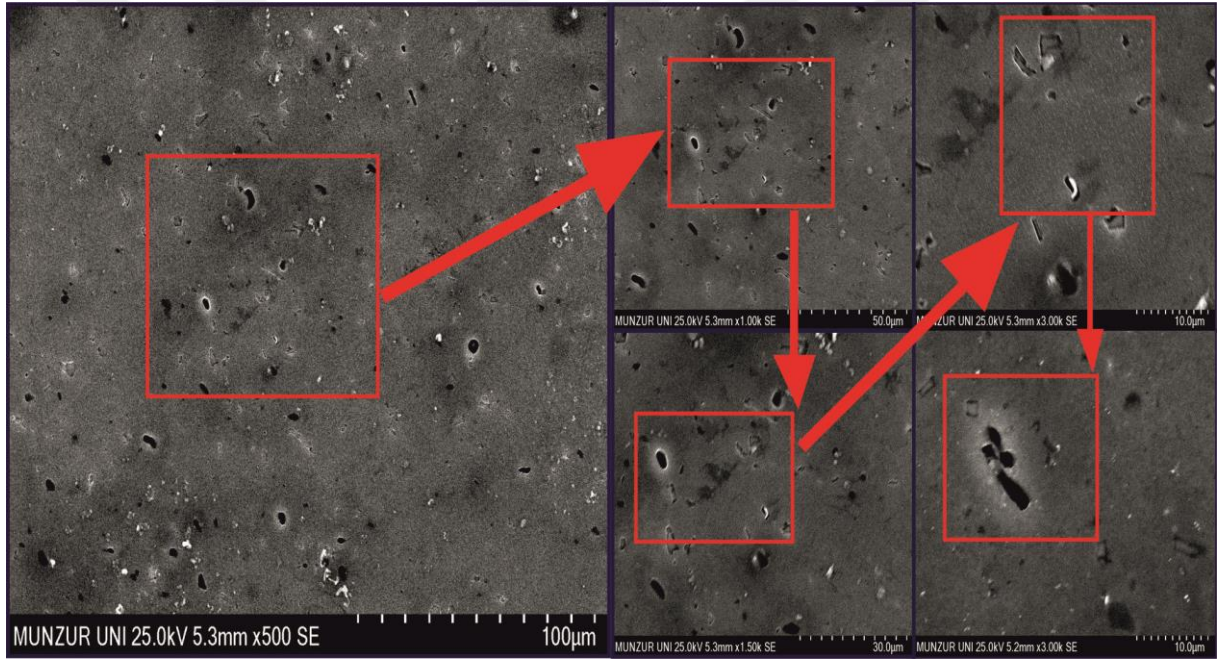
Şekil 3.82. 28 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

### 3.3.11. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Suda Soğutulan (29 Nolu) Numune

Şekil 3.83'te farklı büyütmelerdeki SEM görüntülerini incelediğimizde uzun ısıtım işlem süresinin yanı sıra suda soğutulmanın da yapının ince taneli olmasına yardımcı olduğu görülmektedir.

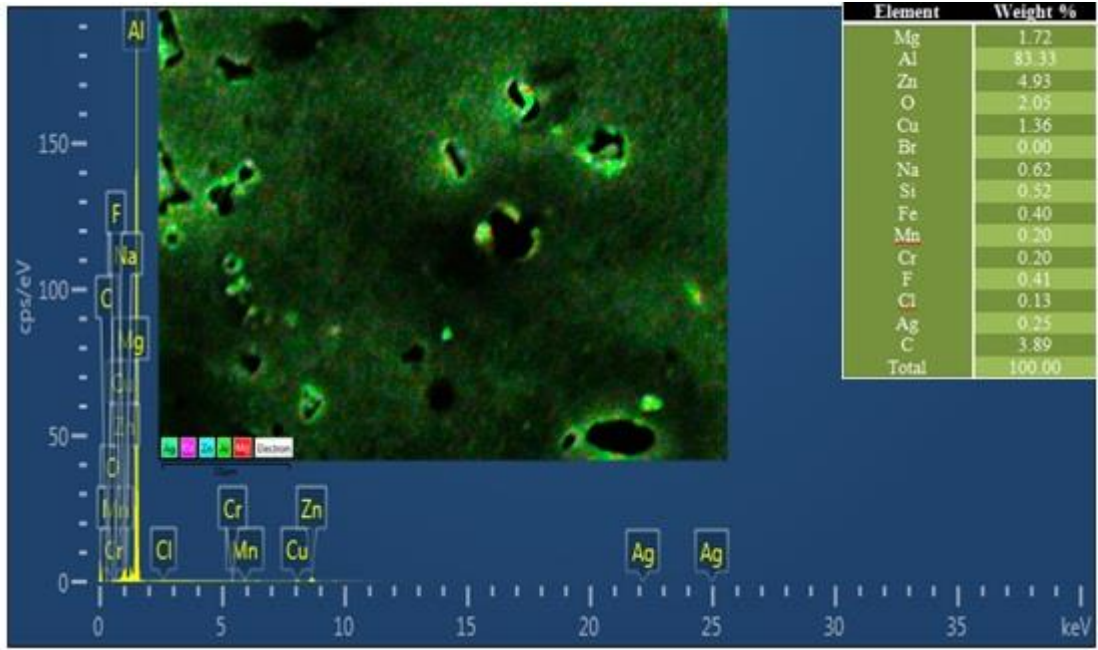
Şekil 3.84'te ise al oranlarının yine yükselmiş olması beklenmeyen bir durum olarak karşımıza çıkmıştır.

Şekil 3.85'ten noktasal olarak aldığımız analizlerden genel olarak Al un % 80-85 arasında olduğu diğer elementlerin ise diğer numunelere yakın değerlerde olduğu görülmektedir. Şekil 3.87'de yine homojen bir element dağılımı görülmektedir.

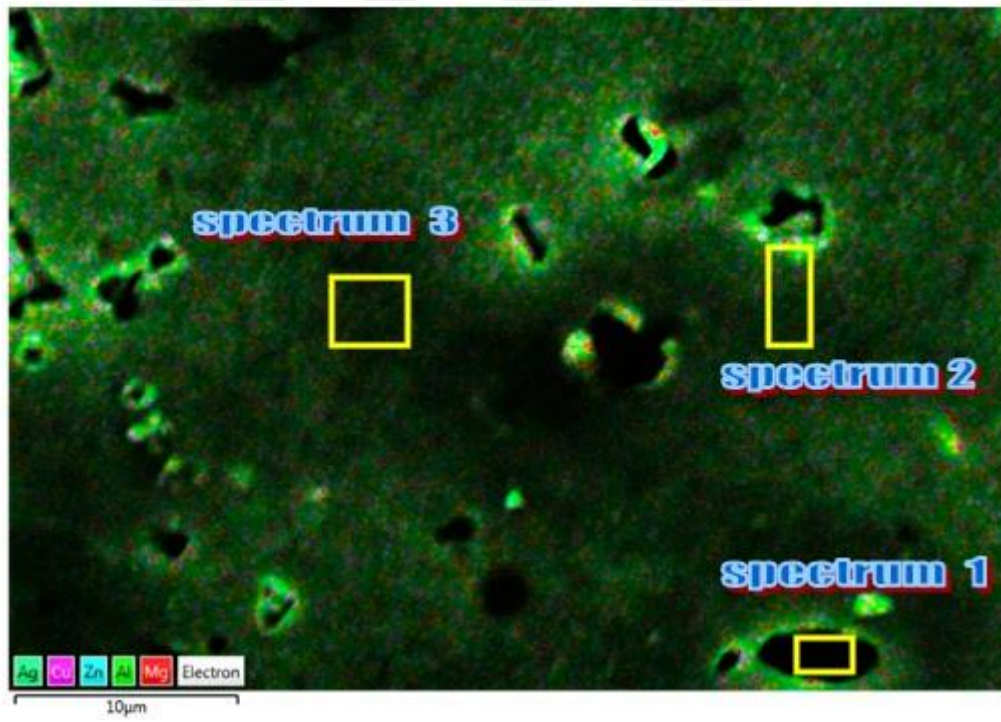


Şekil 3.83. 29 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

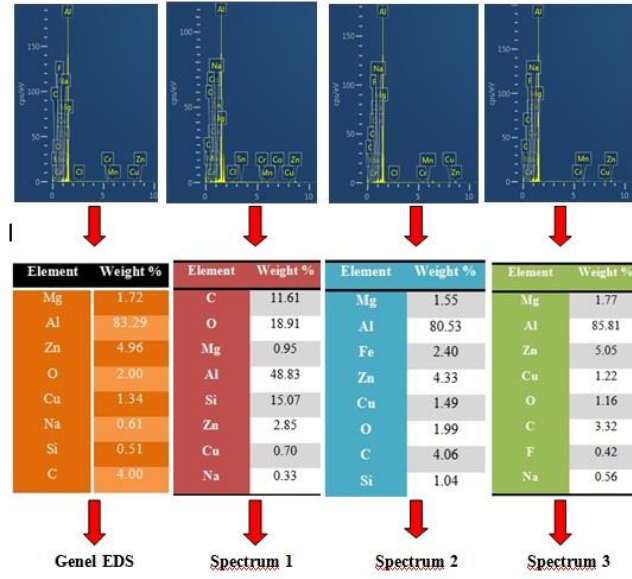




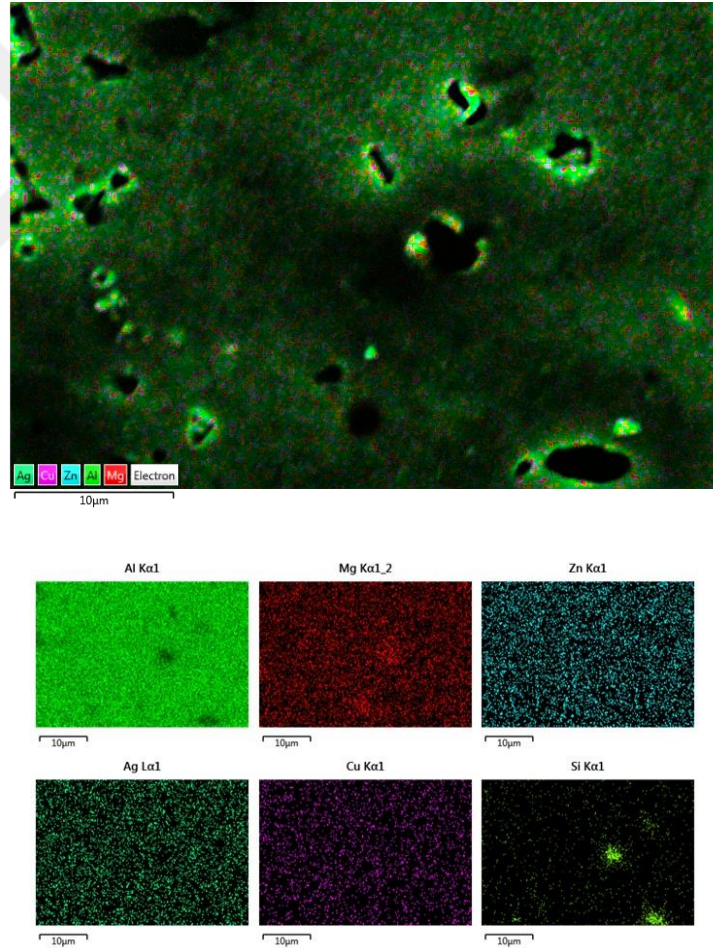
Şekil 3.84. 29 Numaralı numunenin EDS analizi



Şekil 3.85. 29 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi



Şekil 3.86. 29 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.87. 29 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi



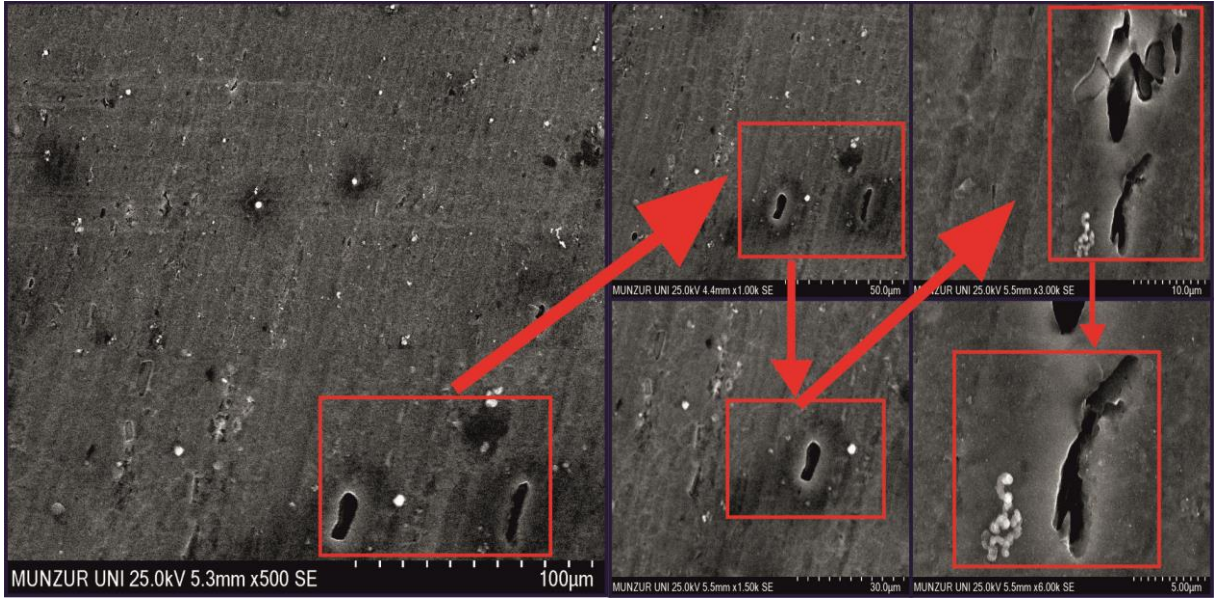
### 3.3.12. 180 °C 24 Saat Yaşlandırılan ve Yağda Soğutulan (30 Nolu) Numune

Şekil 3.88’de incelediğimiz 30 nolu numuneye ait farklı büyütme SEM görüntüleri diğer numunelerle farklılık göstermeyip aynı yapılar görülmüştür.

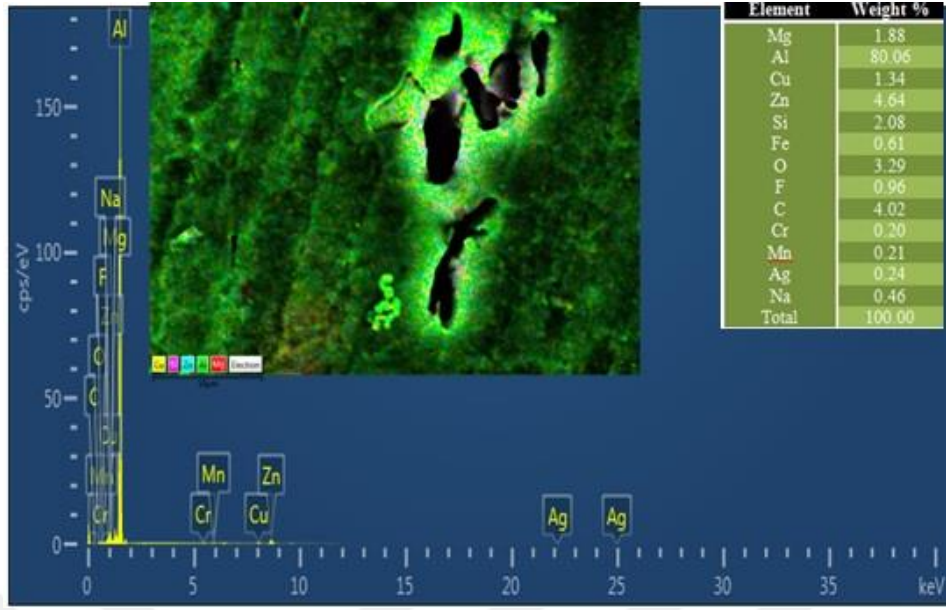
Şekil 3.89’da ise analiz sonuçlarına göre; % 80,06 Al, %1,88 Mg, % 1,34 Cu, % 4,64 Zn, % 2,08 Si ve % 3,290’dan oluştuğu görülmektedir.

30 nolu numuneden aldığımız şekil 3.90’da noktaları verilen analizlerde Al un % 80civvarında seyrettiği görülmektedir.

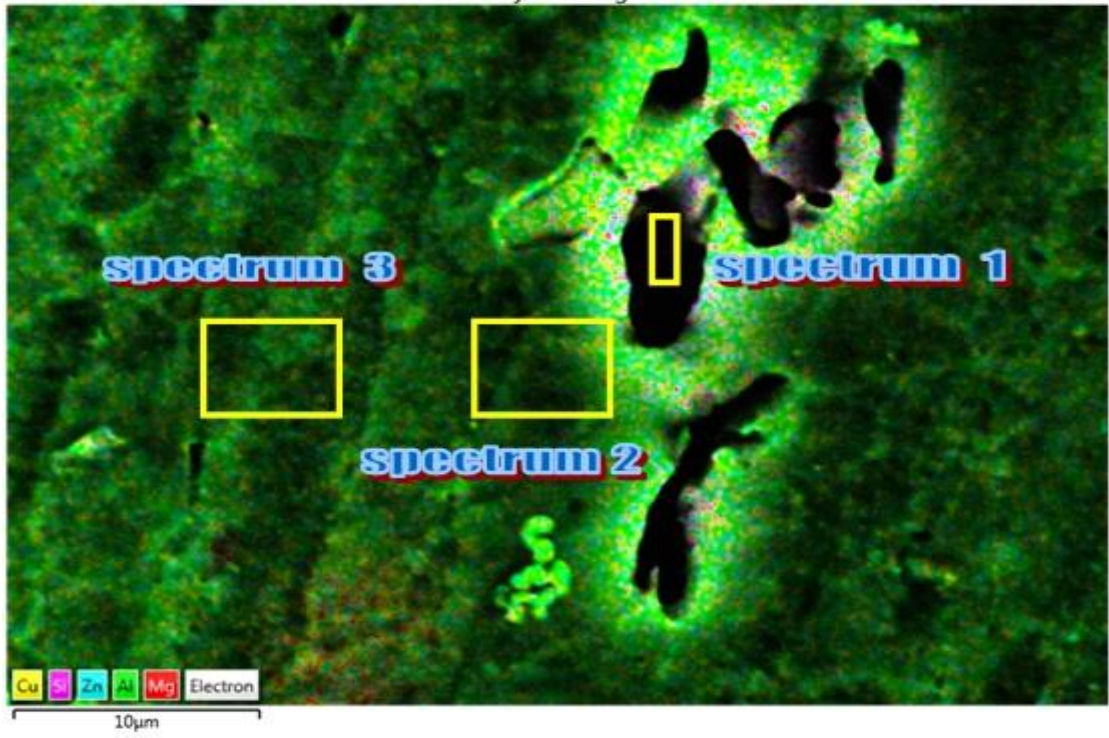
Şekil 3.92’de yapı yine homojen bir element dağılımını göstermiştir.



Şekil 3.88. 30 Numaralı numuneye ait 500x-1000x-1500x-3000x-6000x büyütme SEM görüntüsü

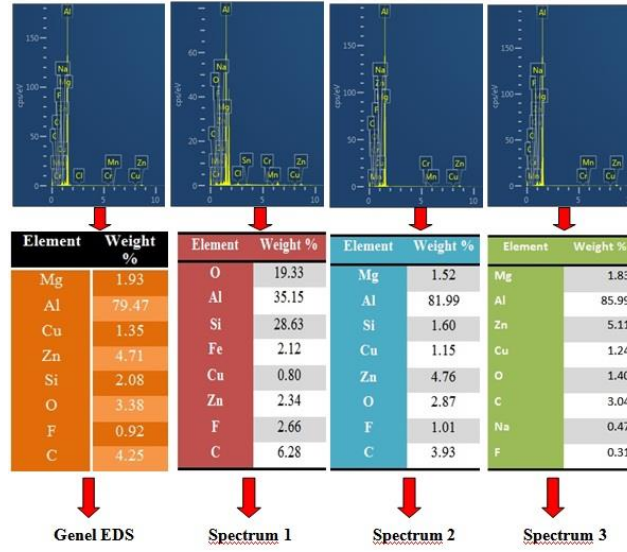


Şekil 3.89. 30 Numaralı numunenin EDS analizi

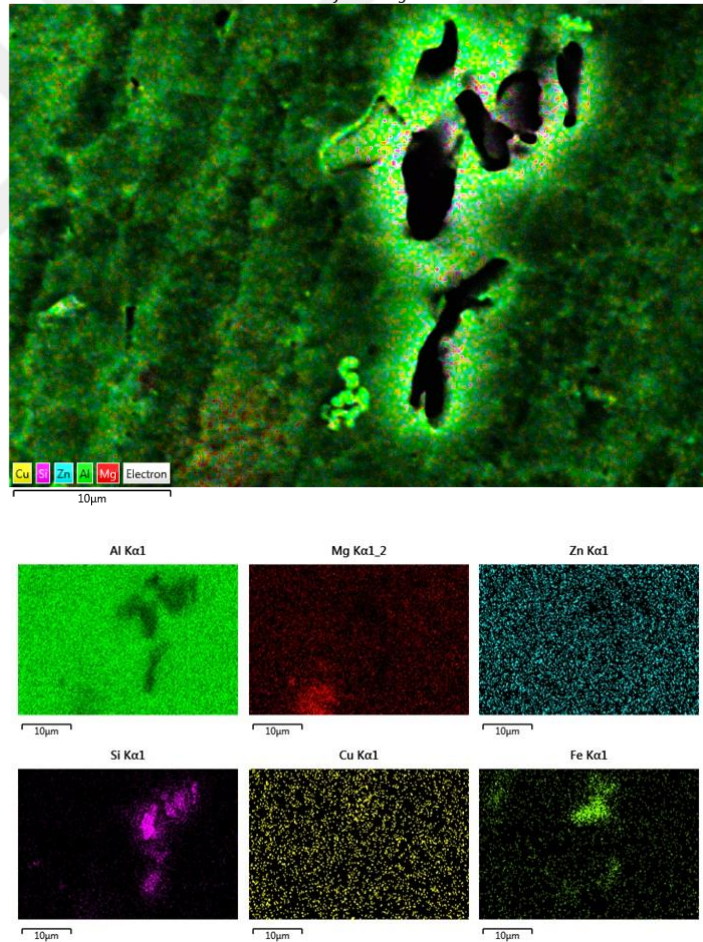


Şekil 3.90. 30 Numaralı numunenin noktasal EDS analizi





Şekil 3.91. 30 Numaralı numunenin Elementer yüzdelik dağılım görüntüsü



Şekil 3.92. 30 Numaralı numunenin Elementer Maps analizi

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında özellikle havacılık alanında kullanılan Al alaşımı (AA 7075) malzemenin çökelme sertleşmesi (Yaşlandırma) diye adlandırılan ısıtma işlemle farklı sıcaklıklarda farklı sürelerde ve açık hava, su ve yağda olmak üzere üç farklı soğutma ortamında 30 farklı numune üzerinde çalışma yapılmıştır. Bu numunelerin önce mikro sertliklerine bakılmış daha sonra metalografik incelemeler (Spektrometre, Optik Mikroskop, SEM, EDS) yapılmıştır.

Bu sonuçlara göre;

- ✓ Al alaşımı malzemelere yapılan deneyler sonucunda yaşlandırma işleminin 30 Numunede de olumlu yönde etkili olduğu görülmüştür.
- ✓ Yapılan yaşlandırma ısıtma işlem sıcaklıklarını baz aldığımızda 120 °C den ziyade 180 °C nin daha etkili olduğu. Isıtma işlem süresi olarak ise 4 ve 8 saatlik uygulamanın az da olsa hem maliyet açısından hem de malzemenin yapısı üzerindeki etkileri açısından daha etkili olduğu görülmektedir.
- ✓ Isıtma işlem sonrası soğutma ortamlarının malzeme üzerinde özellikle mikro sertlik açısından farklılık yarattığı, açık havada sertlik değeri diğerlerine göre en az olurken yağda biraz daha sertliğin arttığı, suda soğutulduğunda ise en sert yapının elde edildiği görülmüştür.
- ✓ Malzemenin yapısında bulunan  $\alpha$  fazı ve tane sınırlarının belli noktalarında bulunan  $\beta$  fazının çökelme sertleşmesi (Yaşlandırma) sonrası  $\beta$  fazının  $\alpha$  fazı içerisinde daha küçük taneler halinde dağıldığı tespit edilmiştir.
- ✓ Alüminyumun bilinen olumsuz yönlerinin (Isıtma dayanımı, Aşınma) az da olsa yaşlandırma yöntemiyle olumlu yönde etki oluşturabileceği düşünülmektedir.
- ✓ SEM ve EDS analizlerinde ise yapıdaki alaşım elementlerinin düzenli bir dağılım gösterdiği. SEM görüntülerinde görülen parçaların Alüminyumun sünek bir malzeme olmasından kaynaklı malzemenin parlatma işlemi sırasında aşındırıcı zımparadan kopup alüminyuma saplanan parçalar olduğu düşünülmüştür.



## KAYNAKLAR

**Akdoğan, A. ,** 2003. Prof. Dr. Ayşe Akdoğan Eker Ders Notları.

**Alpay N.,** 2009. Farklı önileşlem yöntemlerinin alüminyum anodizasyonu üzerindeki etkisinin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Askeland, D. R.,** 1998. Malzeme Bilimi ve Mühendislik Malzemeleri Cilt I, Nobel Kitapevi, Ankara.

**Azarniya, A., Khalkhali A., Zadeh A. A., Madaah H.R., Hosseini H. S.,** 2019. In situ hybrid aluminum matrix composites: are view of phase transformations and Mechanical Aspects, 18:518–524.

**Barbosa, C., Dille, J., Delplancke, J. L., Rebello, J.M.A., Acselrad, O.,** 2006. A microstructural study of flash welded and aged 6061 and 6013 aluminum alloys. *Materials Characterization*, 57:187-192.

**Baydoğan, M.,** 2003. Retrogresyon ve yeniden yaşlandırma uygulanmış 2014 ve 7075 kalite alüminyum alaşımlarının mekanik ve korozyon özelliklerinin incelenmesi. *Doktora Tezi*, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Brandes, E. A., Brook, G. B.,** 1998. Seventh edition (pdf form), reed educational and professional publishing Ltd. *Smithells metals reference book*, Oxford, UK.

**Braun, R.,** 2006. Investigations on the long-term stability of 6013-T6 sheet. *Materials Characterization*, 56:85-95.

**Demir, H., Gündüz, S.,** 2009. The effects of aging on machinability of 6061 aluminium alloy. *Materials and Design*, 30:1480–1483.

**Doğan M.,** 1989. Alüminyum alaşımlarının ısı işleme. *Yüksek Lisans Tezi*, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

**Dündar, M.,** 2003. Alüminyumun yaygın kullanımı için potansiyel uygulamalar. *II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi*, 22-24 May., Seydişehir.

**Erdoğan M.,** (1996). Al-Li-Cu-Mg Alaşımlarında yaşlandırma mekanizması ve ısı işleme. *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 140.

- Florea, R.S., Solanki, K.N., Bammann, D.J. Baird, J.C., M.P.,** 2012. Castanier: Resistance spot welding of 6061-T6 aluminum: Failure loads and deformation. *Materials and Design*, 34:624–630.
- Geçkinli, E.,** 2002. Alüminyum alaşımlarının ısıtılma işlemi, 2. *Isıl İşlem Sempozyumu*. 07-08 Şubat 2002, İTÜ, İstanbul.
- Kaya, I.,** 2005. Metalurji ve Malzeme müh. Al 7075 alaşımının şekillenme ve ısıtılma işlemle özelliklerinin iyileştirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 4-30.
- Kılıç N.,** 2003. 2. *Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi ve Sonuç Bildirgesi*. İzmir, 15-20.
- Kurt M., Kaynak Y. ve Bağcı E.,** 2008. Evaluation of drilled hole quality in Al 2024 alloy. *International journal of Advance Manufacturing Technology*, 37: 1051-1060.
- Laird C.,** 1967. Fatigue crack propagation, in ASTM STP 415. *American Society of Testing and Materials*, Philadelphia, 136.
- Meyveci, A., Karacan, I., Çalgül, U., Durmuş, H.,** 2010. Pin-on-disc characterization of 2xxx and 6xxx aluminium alloy aged by precipitation hardening. *Journal of Alloys and Compounds*, 491:278–283.
- Meyveci A.,** 2007. Yaşlandırılmış 2XXX ve 6XXX serisi alüminyum alaşımlarının aşınma davranışlarının incelenmesi. *Bilim Uzmanlığı Tezi*, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Mrowka-Nowotnik ,G., Sieniawski,** 2005. J., Influence of heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6005 and 6082 aluminium alloys. *Journal of Materials Processing Technology*, 162–163: 367–372.
- Özer, H.H.,** 2004. 7075 Alaşımında retrogresyon ve yeniden yaşlandırma ısıtılma işlemi sonucu mekanik özelliklerin incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk , F., Şişman, A., Toros, S., Kilic , S., Picu, R.C.,** 2010. Influence of aging treatment on mechanical properties of 6061 aluminum alloy. *Materials, Design*, 31:972–975.
- Ulucak, T.,** 2013. Timur Ulucak ders notları  
<http://www.aluminyumsanayi.com/aluwebsayfam1.html>
- Rafiq A. Siddiqu, Hussein A. Abdullah, Khamis R. Al-Belushi,** 2000. Influence of aging parameters on the mechanical properties of 6063 aluminium alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, 102:234-240.
- Sanchez M., Sanchez-Sola J.M., Gonzalez J.M., Contreras J.P., Macros M.,** 2002. Cutting for compatibility based on plastic model: Application to the oblique cutting of the AA2024. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 42: 559-565.



**Shipp R.**, 1971. Thesis, Cambridge University.

**Shokroni A., Dhokia V., Newman S.T.**, 2012. Environmentally conscious machining of difficult-to machine material with regard to cutting fluids, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 57: 83-101.

**Petroyiannis, P.V., Kermanidis, Al. Th., Papanikos, P., Pantelakis, Sp. G.**, 2004. Corrosion-induced hydrogen embrittlement of 2024, 6013 aluminum alloys, theoretical, *Applied Fracture Mechanics*, 41:173–183.

**Tesch, A., Pippan, R., Trautmann, K.H., Döker, H.**, 2007. Shortcrack initiated in Al 6013-T6 with the focused ion beam (FIB)-technology. *International Journal of Fatigue*, 29:1803–1811.

**URL-1**, 2013 [https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi153/d153\\_2027.pdf](https://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi153/d153_2027.pdf), 15 Ocak 2020

**URL-2**, 2020 <https://www.ankarametal.com.tr/urunler/aluminyum/> 12 Ocak 2020

**Yılmaz, M.**, 2003. Alüminyum sektöründe yeni kullanım sahaları. *II. Alüminyum Sempozyumu ve Sergisi*, 22-24 May., Seydişehir.

## ÖZGEÇMİŞ

Ramazan ERGİN, 1981 yılında Diyarbakır'da doğdu. 2008 yılında Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Otomotiv Öğretmenliğinden, 2017 yılında da Munzur Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliğinden mezun oldu. Munzur Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında Konstiksüyon ve İmalat Dalında yüksek lisansa başladı. 2008-2010 Diyarbakır Milli Eğitim Öğretmenlik, 2010 ve sonrası İçişleri Bakanlığında teknik personel olarak işe başladı. Yüksek lisans deney çalışmalarını Munzur Üniversitesinde yaptı.



