

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KOKİL VE ENJEKSİYON YÖNTEMLERİ İLE  
ÜRETİLEN Al-Si-Mn ALAŞIMINA ISIL İŞLEM VE  
BOR İLAVESİNİN İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ayşenur ÖZDEMİR**

**Enstitü Anabilim Dalı : METALURJİ VE MALZEME  
MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ**

**Temmuz 2020**

## BEYAN

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

Ayşenur ÖZDEMİR

Tarih

11/08/2020  


## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca değerli bilgileriyle yolumu aydınlatan bana farklı bir bakış kazandıran ve benden desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışmanım Prof. Dr. Süleyman Can KURNAZ'a, yüksek lisans çalışmamda branş seçimimde bana öncülük eden Prof. Dr. Şenol YILMAZ'a, deneysel çalışmalarımda yardımını esirgemeyen Araş. Gör. Dr. Tuba YENER ve Araş. Gör. Dr. Şeyma Ürdem'e tez çalışmamda malzeme tedarikimi sağlayan Kalyoncu Pres Döküm ailesine ve Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölüm Başkanı ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca her zaman manevi desteğiyle yanımda olan can dostum Billur BULGUR'a, tezimin her aşamasında yardım sağlayan Gül Nur BARUT ve Zeynep YILDIZ'a teşekkür ederim.

Belki de en özel teşekkürü hak eden bu zamana kadar bana en büyük maddi ve manevi desteklerini tüm hayatım boyunca hissettiğim her kararımın yanımda duran aileme manevi destekleri ve her zaman yanımda olan bana verdikleri güç için en içten duygularıyla çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

|                                                         |      |
|---------------------------------------------------------|------|
| TEŞEKKÜR.....                                           | i    |
| İÇİNDEKİLER .....                                       | ii   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....                    | v    |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....                                  | vi   |
| TABLolar LİSTESİ .....                                  | viii |
| ÖZET.....                                               | ix   |
| SUMMARY .....                                           | x    |
| BÖLÜM 1.                                                |      |
| GİRİŞ .....                                             | 1    |
| BÖLÜM 2.                                                |      |
| ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI .....                              | 3    |
| 2.1. Alüminyum Alaşımları .....                         | 4    |
| 2.1.1. Dövme alüminyum alaşımları .....                 | 5    |
| 2.1.2. Dökme alüminyum alaşımları .....                 | 6    |
| 2.2. Alüminyum Silisyum Alaşımları .....                | 7    |
| 2.2.1. Alüminyum silisyum (Al-Si) denge diyagramı ..... | 8    |
| BÖLÜM 3.                                                |      |
| ALÜMİNYUM ALAŞIM ÜRETİM YÖNTEMLERİ .....                | 12   |
| 3.1. Kokil Kalıba Döküm.....                            | 12   |
| 3.2. Basınçlı Döküm .....                               | 13   |
| 3.2.1. Yüksek basınçlı döküm.....                       | 13   |
| 3.2.2. Alçak basınçlı döküm .....                       | 15   |

## BÖLÜM 4.

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| ALAŞIMLARIN ISIL İŞLEMİ.....                              | 16 |
| 4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi .....     | 17 |
| 4.1.1. Temel temper tasarım sistemi .....                 | 17 |
| 4.1.2. Soğuk işlem ile sertleştirilmiş alt bölümler ..... | 17 |
| 4.1.3. Isıl işlem uygulanmış alt bölümler .....           | 17 |
| 4.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler ..... | 18 |
| 4.2.1. Uygulanan ısıl işlem aşamaları.....                | 19 |
| 4.3. Alüminyum Silisyum Alaşımlarının Isıl İşlemi .....   | 21 |

## BÖLÜM 5.

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| MATERYAL VE YÖNTEM.....           | 25 |
| 5.1. Kullanılan Hammaddeler ..... | 25 |
| 5.2. Deneysel Çalışma .....       | 25 |
| 5.3. Metalografik İnceleme.....   | 26 |
| 5.4. Sertlik Deneyi .....         | 27 |
| 5.5. Çekme Deneyi.....            | 27 |

## BÖLÜM 6.

|                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....                                      | 28 |
| 6.1. Mikro yapı Sonuçlarının İrdelenmesi .....                  | 28 |
| 6.1.1. Isıl işlemsiz mikro yapı sonuçları.....                  | 28 |
| 6.1.2. Isıl işlemli alaşımların mikro yapı sonuçları .....      | 36 |
| 6.2. Sertlik Deneyi .....                                       | 42 |
| 6.3. Çekme Deneyi .....                                         | 44 |
| 6.4. Kırık Yüzey Görüntüsü.....                                 | 49 |
| 6.4.1. T6 Isıl işlemli numunelerin kırık yüzey görüntüleri..... | 49 |
| 6.4.2. T5 Isıl işlemli numunelerin kırık yüzey görüntüleri..... | 53 |

## BÖLÜM 7.

|                                  |    |
|----------------------------------|----|
| GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... | 56 |
|----------------------------------|----|

|                          |    |
|--------------------------|----|
| 7.1. Genel Sonuçlar..... | 56 |
| 7.2. Öneriler .....      | 56 |
| KAYNAKLAR.....           | 58 |
| ÖZGEÇMİŞ .....           | 61 |



## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

|                    |                                |
|--------------------|--------------------------------|
| Al                 | : Alüminyum                    |
| Si                 | : Silisyum                     |
| Mg                 | : Magnezyum                    |
| Ti                 | : Titanyum                     |
| B                  | : Bor                          |
| Be                 | : Berilyum                     |
| Zn                 | : Çinko                        |
| Sn                 | : Kalay                        |
| Sr                 | : Stronsiyum                   |
| TiB                | : Titanyum Bor                 |
| TiAl <sub>3</sub>  | : Titanyum Alüminat            |
| Mg <sub>2</sub> Si | : Magnezyum Silisat            |
| AlB                | : Alüminyum Bor                |
| Al <sub>2</sub> Cu | : Alüminyum Bakır              |
| MgZn <sub>2</sub>  | : Magnezyumdiçinko             |
| SEM                | : Taramalı Elektron Mikroskobu |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Alüminyum-silisyum denge diyagramı .....                                                                       | 9  |
| Şekil 3.1. Menteşeli kokil kalıp .....                                                                                    | 13 |
| Şekil 3.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm .....                                                                             | 14 |
| Şekil 3.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm .....                                                                             | 15 |
| Şekil 3.4. Alçak basınçlı döküm.....                                                                                      | 15 |
| Şekil 4.1. Hayali çökelme sertleşmesi ötektik faz diyagramı .....                                                         | 19 |
| Şekil 4.2. Yaşlandırma ısıtıl işleminin sıcaklık-zaman şematik gösterimi .....                                            | 20 |
| Şekil 4.3. GP faz oluşumunun kararlı faz oluşumunda evreleri.....                                                         | 21 |
| Şekil 4.4. Na ilavesi ile değişen Al-Si denge diyagramı .....                                                             | 22 |
| Şekil 4.5. Al-Mg <sub>2</sub> Si denge diyagramı .....                                                                    | 24 |
| Şekil 5.1. Çekme deney numunesi .....                                                                                     | 27 |
| Şekil 6.1. Isıl işlem uygulanmış alaşımların mikroyapı görüntüleri .....                                                  | 29 |
| Şekil 6.2. Isıl işlemsiz alaşımların SEM görüntüleri.....                                                                 | 30 |
| Şekil 6.3. Isıl işlem uygulanmamış alaşım A map görüntüsü .....                                                           | 31 |
| Şekil 6.4. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıtıl işlemsiz C1 alaşımı .....                                         | 32 |
| Şekil 6.5. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıtıl işlemsiz C2 alaşımı .....                                         | 33 |
| Şekil 6.6. Isıl işlemsiz C1 alaşımı map görüntüsü .....                                                                   | 34 |
| Şekil 6.7. Isıl işlemsiz C2 alaşımı map görüntüsü .....                                                                   | 35 |
| Şekil 6.8. T6 ısıtıl işlemi uygulanıp 5 saat yapay yaşlandırma işlemi<br>yapılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri ..... | 37 |
| Şekil 6.9. T6 ısıtıl işlemi 5 saat yapay yaşlandırılmış alaşımların SEM görüntüleri<br>.....                              | 38 |
| Şekil 6.10. Alaşım A T6 ısıtıl işlemi 5saat yapay yaşlandırma sonrası map<br>görüntüsü.....                               | 39 |
| Şekil 6.11. Alaşımların T6 ısıtıl işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı<br>görüntüleri .....                  | 40 |

|                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 6.12. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 1 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri .....                        | 41 |
| Şekil 6.13. T5 ısıt işlemleri uygulanıp 3 saat yapay yaşlandırma işlemleri uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri ..... | 41 |
| Şekil 6.14. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 8 saat yaşlandırma işlemleri sonrası mikroyapı görüntüleri .....                    | 42 |
| Şekil 6.15. T6 ısıt işlemleri alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süre grafiği .....                                       | 43 |
| Şekil 6.16. T5 ısıt işlemleri alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süresi grafiği ....                                      | 44 |
| Şekil 6.17. T6 ısıt işlemleri görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği.....                                 | 45 |
| Şekil 6.18. T5 ısıt işlemleri görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği .....                                | 47 |
| Şekil 6.19. T6 ısıt işlemleri yapılmış alaşımların % uzama-yaşlandırma süresi grafiği .....                                   | 48 |
| Şekil 6.20. T5 ısıt işlemleri yapılmış numunelerin % uzama değeri- yaşlandırma süresi grafiği.....                            | 49 |
| Şekil 6.21. Isıt işlemleri numunelerin kopma yüzey görüntüleri.....                                                           | 50 |
| Şekil 6.22. Alaşımların T6 ısıt işlemleriyle1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri.....                      | 51 |
| Şekil 6.23. T6 ısıt işlemleri 5 saat yapay yaşlandırma ısıt işlemleri sonucu kırık yüzey görüntüleri .....                    | 52 |
| Şekil 6.24. Alaşımların T6 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu alaşımların kırık yüzey görüntüleri .....           | 53 |
| Şekil 6.25. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri.....                        | 54 |
| Şekil 6.26. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 5 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri.....                        | 54 |
| Şekil 6.27. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri.....                        | 55 |

## TABLolar LİSTESİ

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 2.1. Alüminyum döküm sistemi için kabul edilen tasarı sistemi .....                           | 7  |
| Tablo 2.2. Kullanılan ticari alaşım sistemleri.....                                                 | 10 |
| Tablo 4.1. Temel ısııl işlem sistemi .....                                                          | 17 |
| Tablo 4.2. Temel soğuk işlem sistemi .....                                                          | 17 |
| Tablo 4.3. Isıl işlem grupları .....                                                                | 18 |
| Tablo 4.4. Isıl işlem uygulanabilen ve ısııl işlem uygulanamayan alaşımlar .....                    | 18 |
| Tablo 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal analizleri.....                       | 25 |
| Tablo 6.1. T6 ısııl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri ..               | 43 |
| Tablo 6.2. T5 ısııl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri ..               | 44 |
| Tablo 6.3. T6 ısııl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-çekme değerleri...                 | 45 |
| Tablo 6.4. T5 ısııl işlemli numunelerin yaşlandırma süresi-çekme değerleri .....                    | 46 |
| Tablo 6.5. T6 ısııl işlemli numunelerin % uzama değeri-yaşlandırma süresi<br>(saat) değerleri ..... | 48 |

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: AlSi10MnMg, Kokil döküm, basınçlı döküm, ısıt işlemler

Bu çalışmada; AlSi10MnMg alaşımlında bor ilaveli kokil döküm işleml ve enjeksiyonlu döküm işleml yapılmıştır. Elde edilen alüminyum silisyum alaşımlarına ısıt işlemlin etkisi incelenmiştir. Deneysel aşamada basınçlı döküm yöntemi ve kokil döküm yöntemiyle üretilmiş alaşımlara T5 ve T6 ısıt işleml uygulayarak ısıt işlemlin alaşımların mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Elde edilen sertlik, mikro yapı, çekme dayanımı sonuçlarına bakarak alaşımlara uygulanan T5 ısıt işleml ve T6 ısıt işleml sonucunda elde edilen numunelerinde T5 ısıt işleml sonucu elde edilenler numunelerin çekme dayanımlarının daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır. T5 ısıt işleml ile mukavemet değeri yüksek, deformasyon kabiliyeti düşük alaşımların elde edildiği görülmüştür.

# **HEAT TREATMENT EFFECTS OF MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Si-Mn ALLOY PRODUCED BY INJECTION METHOD**

## **SUMMARY**

Keywords: AlSi10MnMg, Gravity Die Casting, Pressure Casting, Heat Treatment

In this study; In AlSi10MnMg alloy, boron added die casting process and injection molding process were performed. The effect of heat treatment on the obtained aluminum silicon alloys is investigated. In the experimental stage, the effect of heat treatment on the mechanical properties of the alloys was investigated by applying T5 and T6 heat treatment to the alloys produced by the pressure casting method and the permanent casting method.

Based on the obtained hardness, microstructure, tensile strength results, it was found that the tensile strength of the samples obtained as a result of T5 heat treatment applied to the alloys and T5 heat treatment were higher. It was observed that alloys with high strength and low deformation ability were obtained with T5 heat treatment.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Alüminyum, dünyada bulunan en bol üçüncü elementtir. Hafif olması, çeliklerin üçte biri yoğunluğa sahip olması, elektrik ve ısıyı iletmesi, korozyon direncinin iyi olması nedeniyle en çok kullanım alanına sahip bir element haline gelmektedir. Alüminyum elementi en çok tercih edilen metalik tabanlı en büyük alaşım sistemini oluşturmaktadır. Alüminyum özelliklerini arttırmak için yapı içerisine Berilyum (Be), Silisyum (Si), Magnezyum (Mg) vb. elementler ilave edilerek daha iyi mekanik ve fiziksel özelliklere sahip alaşımlar elde edilmektedir. Yapılan element ilavesi ile üçlü intermetalik gruplarının alaşım içerisinde çökmesini sağlanarak mekanik özelliklerinin artırılması amaçlanmaktadır. Elde edilen alaşımlar kendi içerisinde dövme ve dökme alaşımlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları tel, levha, ekstrüzyon vb. üretim yöntemlerinden oluşmaktadır. Dökme alüminyum alaşımlarının üretimi kokil kalıba döküm, kum kalıba döküm ve basınçlı döküm yöntemiyle elde edilmektedir.

Üretilen alaşımların mikro yapısını ve mekanik özelliklerini iyileştirebilmek için alaşım gruplarına tane rafine edici elementler (Bor (B), Magnezyum (Mg), Titanyum Bor (TiB), Stronsiyum (Sr) vb.) ilavesi yapılmakta veya alaşımlara ısıtıl işlem uygulanmaktadır. İlave edilen modifiye edici elementlerin her biri mikro yapıda farklı özelliklerin elde edilmesini sağlamaktadır. Döküm yapısına ilave edilen Mg, mikro yapıda intermetaliklerin parçalanmasını sağlamaktadır. Bu yapısal değişim yanında alaşımda  $Mg_2Si$  bileşiği şeklinde alaşım içerisinde çökmesini sağlayarak alaşımların kuvvet ve sertlik artışına sebep olmaktadır. Yapı içerisine ilave edilen B elementi alaşım grubu içerisinde AlB bileşiğinin oluşmasına neden olarak tane kabalaşmasını sağlamaktadır. TiB ilavesi alaşımda Ti çekirdekleyici görevi görmektedir ve  $Ti_3Al$  bileşiğinin oluşmasını sağlamaktadır. Aynı zamanda Ti ve B

elementinin bir arada olmasıyla tane rafinasyonunda tane inceltici olarak kullanılmaktadır.

Yapı değişikliğinin sağlanması ve mekanik özelliklerin değişmesi için alaşıma ısıtıl işlem yapılmaktadır. Isıtıl işlem her alaşım grubuna uygulanmamaktadır. Isıtıl işlem uygulanan alaşım grupları 2xxx,6xxx ve 7xxx alaşımlarından oluşmaktadır. Bu alaşım gruplarına T serisi (T5,T6 ve T7) ısıtıl işlemi uygulanabilmektedir. Alaşıma uygulanan ısıtıl işlem, alaşım veya alaşım gruplarının ısıtılarak çözeltinin oluşturulması ve birden soğutarak intermetaliklerin çökmesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Isıtıl işlem uygulanmayan alaşım grubuna alüminyum – silisyum (4xxx) alaşımı da dahil olmasına rağmen yapı içerisine Magnezyum (Mg), Sodyum (Na), Potasyum (K) vb. element ilavesi yapılarak ısıtıl işlem gerçekleştirilebilmektedir.

Bu çalışmada AlSi10MnMg alaşımına basınçlı döküm ve kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara T5 ve T6 ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Uygulanan ısıtıl işlemlerin mekanik özellikler üzerine etkisi incelenmiştir. Alaşım gruplarından kokil döküm işlemi yapılan gruba T6 ısıtıl işlemi uygulanmış, enjeksiyonla döküm işlemi uygulanan alaşım grubuna T5 ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Elde edilen numunelere çekme testi incelemesi, Brinel sertlik test incelemesi ve metalografik çalışmalar uygulanmıştır.

## BÖLÜM 2. ALÜMİNYUM ALAŞIMLARI

Alüminyum (Al) elementinin keşfedilmesi ve sonrasında üretiminin devam etmesi işleminde alüminyumun saf formu 1825 yılında Sir Humphry Davy in Britain tarafından tanımlanmıştır. Hans Christian Oersted of Denmark Al'un metal şeklinde üretimi gerçekleştirmiştir. İki yıl sonra Freidrich Wöhler of Germany alüminyum ve potasyumu susuz alüminyum klorid ile tepkimeye giren bir toz olarak 1845 yılında alüminyumun üretilbildiğini göstermiştir. Elde edilebilen saf Al elementinin üretimi için ilk ticari işlem Henri Sainte-Claire Deville tarafından Wöhler prosesinin bir gelişmiş şekli olarak 1854'te geliştirilmiştir. Bu üretim işlemleri sonucunda Al elementinin üretimi, üretimin ilk safhalarında çok pahalı bir element olarak piyasaya sürülmüştür. Gerçekleştirilen üretim işlemi 30-40 yıl boyunca sayısız talepler ile maliyetin azalabilmesini ve daha fazla ekonomik işleminin gerçekleştirilebilmesini sağlamıştır. Elde edilen gelişmelerde Al üretiminin gerçekleştirilmesi ve maliyetinin düşürülmesi safhasında gelişmeler kaydedilmiştir. Kaydedilen veriler Aldophe Minet (1902, 1905) tarafından yayımlanan ilginç kitap ilk Almanya'da 1902'de ve daha sonra İngiltere'de 1905'te yayımlanmıştır [1].

Keşfedilen ve çeşitli ekonomik arayışlar sonucunda Al elementinin dünya kabuğunda bulunan en bol üçüncü elementi olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen bu özelliğinin yanında Al elementinin atom numarası 13, yoğunluğu  $2,7 \text{ g/cm}^3$  olan yüzey merkezli kübik (YMK) kristal kafes yapıya sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek oksidasyon direnci, işlenmesinin kolay olması, ısı ve elektriği iyi iletmesi gibi özelliklere sahip olmaktadır. İlk başlarda yüksek saflıkta alüminyumun üretiminin kolay olması ve mekanik özelliklerinin iyi olması nedeniyle element ilavesiz şekliyle kullanılmıştır [1, 2, 3].

Saf Al kullanımı genellikle iletken folyolar, yarı iletkenler ve manyetik malzemeler şeklinde olmuştur. Bu kullanım alanları dışında ısıyı emen bir özelliğe sahip olması nedeniyle ısıtma sistemlerinde, hafif olması nedeniyle uçak, uzay ve çeşitli araçlarda, parlak ve şık görünümü nedeniyle mobilya ve süs eşyalarında kullanılmıştır. Her zaman saf element halinde kullanımı mevcut olmayıp Al özelliklerinin ve kullanım alanlarının artırılması için alaşım içerisine Be, Mg, Zn, Si, Sn vb. elementler ilave ederek özellikleri geliştirilmiş ve daha geniş bir alaşım grubunun elde edilmesi sağlanmıştır [2, 3].

Alüminyuma ilave edilen Mg, Si, Ti vb. elementlerin ilavesi ile elde edilen geniş alaşım grubu yüksek mukavemeti, iyi korozyon direnci, hafif olması ve işleme kolaylığı sayesinde alaşımlardan elde edilen mekanik özellikleri artırılmış alaşımların oluşmasını sağlamaktadır. Hafifliği sayesinde büyük boyuttaki parçalar üretilmektedir. İşlemesinin kolay olması, sonrasında istenilen dış görünüşün elde edilmesinde kolaylık sağlamaktadır. Yüksek korozyon direnci, alaşımların oksidasyonunu geciktirmektedir. Alaşımlar ortam koşullarına kolay adapte olarak elde edilen malzemenin verimliliğinin artmasını sağlamaktadır. Elde edilen alaşıma ilave edilen element sayısı artırılabilir. Element sayısının artması alaşım içerisinde oluşan intermetalik sayısını arttırmasını sağlamaktadır. Elde edilen intermetalikler mukavemet özelliklerini arttırılmakta ve şekil verme özelliğini kısıtlamaktadır [4].

## **2.1. Alüminyum Alaşımları**

Günümüzde alüminyum alaşımlarına baktığımızda, üretimlerinin yıllık 50 milyon ton civarında olduğu ifade edilmektedir. Alaşımların en belirgin özelliği kullanılan element yelpazesinin oldukça geniş olmasıdır. Yüksek saflıktaki alüminyumun element ilavesi ile fiziksel ve mekaniksel özellikleri geliştirilebilmektedir. Uygulanabilen bu işlem karmaşık yapıdaki alaşımlar için önemli hale gelmektedir. Üretilen Al'e bakıldığında, 400'den fazla alüminyum alaşımı kullanıldığı bilinmektedir. Yapı içerisine ilave edilen alaşım elementleri ile birlikte yüksek korozyon direnci, yüksek çekme mukavemeti, düşük yoğunluk vb. özelliklere sahip

olması alüminyum alaşımlarının özelliklerinin iyileştiğini göstermektedir [5]. Sahip oldukları bu özellikler sayesinde havacılık, otomotiv sektörü, beyaz eşya, süs eşyaları vb. yerlerde kullanıma sahip olmaktadır [6].

Alüminyum alaşımları kendi içerisinde dövme ve dökme alüminyum alaşımları olarak ikiye ayrılmaktadır. Dövme alüminyum alaşımları fabrikada üretilen ürünün şekil verme ve mekanik özellik değişimleri yapılarak elde edilen ürünlerdir. Yapılan bu işlemler dövme, haddeme, çekme ve ekstrüzyondur. Dökme alüminyum alaşımları ise ergimiş üründen istenen tarz ve boyutlarda kalıp içerisinde şekillendirilen sonrasında katılaşma işlemi yapılarak üretilen üretim yöntemidir. Uygulanılan bu işlemler kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm ve basınçlı döküm şeklinde gerçekleştirilmektedir.

Döküm sonrasında mekanik özelliklerini değiştirebilmek için alüminyum alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanmaktadır. 2xxx, 6xxx ve 7xxx alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanabilirken 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx ve 8xxx alaşımlarına ısıtma işlemi uygulanmamaktadır. Isıtma işlemi uygulanabilen alaşımlara yaşlandırma sertleşmesi yapılabilirken ısıtma işlemi uygulanamayan alaşımlarda yaşlandırma işlemi yapılamamaktadır. Isıtma işlemi görmemiş alaşımlara katı eriyik, deformasyon ve dağılım sertleşmesi yöntemleri kullanılarak özelliklerinde iyileştirme yapılabilir [7].

### **2.1.1. Dövme alüminyum alaşımları**

Alüminyum içeren ilk uygulamaların çoğu dövme alüminyum ürünlerinden oluşmaktadır. Elde edilen ürünlerin seçilmesinde, saf alüminyum veya alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Alüminyum birçok kullanım alanına sahip olduğundan tercih edilmektedir. Bu alaşımlar fabrika ürünlerinin son geometrik şekillerinin mekanik işlemlerle elde edilmiş ürünler olduğundan bu üretimler levha, tel, ekstrüzyon, dövme, derin çekme ve folyo üretim şeklinde olmaktadır. Isıtma işlemsiz levha kullanımı en yaygın kullanılan şekli oluşturmaktadır. Isıtma işlemsiz levha kullanımı; paketlenmede, taşıma endüstrisinde, inşaat endüstrisinde yaygın bir

kullanıma sahip olmaktadır. Dövme alüminyum alaşımlarının büyük çoğunluğunu şimdilerde inşaat endüstrisi ve taşıma endüstrisi oluşturmaktadır [1, 7].

### 2.1.2. Dökme alüminyum alaşımları

Alüminyum alaşımları döküm işlemi yapılabilme özelliğine sahiptir. Üretim yöntemleri kum kalıba döküm, kokil kalıba döküm ve basınçlı döküm işlemlerinden oluşmaktadır. Tüm döküm yöntemleri ile alaşım gruplarına istenen özelliklerde döküm işlemi yapılabilir. Sertlik ve istenen diğer özellikler ilave edilen alaşım elementi veya ısıtma işlem yöntemiyle elde edilmektedir. Bu elementlere örnek olarak magnezyum, stronsiyum, bor vb. elementler verilebilmektedir.

Alaşım içerisine B ilavesi Titanyum borür (TiB) , Bor (B), Alüminyum borür (AlB) ilavesi şeklinde gerçekleştirilmektedir. Yapı içerisine ilave edilen B elementi tane rafine işleminde kullanılmaktadır. İlave edilen bileşiğin TiB olması durumunda alüminyum alaşımına eklenen titanyum çekirdekleyici görevi görmekte olup dentrit yapısının oluşumunu sağlayan  $TiAl_3$  bileşiğini oluşturmaktadır. Tane rafine işleminde Ti ve B birlikte kullanımı daha iyi bir rafine oluşumuna neden olmaktadır. %5 Ti ve %1 B ilavesi tane inceltici olarak kullanılmaktadır. Yapı içerisinde Ti, TiB ve  $TiAl_3$  bileşiklerini oluşturmaktadır.  $TiAl_3$  bileşiğinin oluşumu daha iyi rafinasyonların oluşumunu sağlamaktadır. İlave edilen metalin B olması durumunda yapı içerisinde AlB bileşiği oluşmakta, aglomerasyon ve inklüzyon oluşumu gerçekleşmektedir [8, 9].

İlave edilen Mg elementi alaşımın sertlik ve kuvvet artışı için alüminyum silisyum (Al-Si) ısıtma işlem alaşımlarının temelini oluşturmaktadır. Bakır (Cu), Nikel (Ni), Mangan (Mn) ve diğer elementleri içeren karmaşık bir yapıya sahip Al-Si alaşımları yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapı içerisinde sertlik artışını sağlayacak  $Mg_2Si$  bileşiğini oluşturmaktadır. Oluşan bu bileşik sertlik oluşumunun dışında alaşıma yüksek korozyon direnci ve iyi kaynak işlemi yapılabilme özelliği sağlamaktadır. Al-Si alaşımlarında ısıtma işlem uygulanabilmesi için Mg çözünürlük sınırının %0,7'e kadar olmalıdır. Belirlenen bu sınırdan fazla Mg kullanımı, mekanik özelliklerinde (sertlik,

çekme dayanımı, akma dayanımı vb.) belirli bir değersel artma sağlamayıp yapının yumuşamasını sağlamaktadır. Genellikle Al-Si alaşımlarında magnezyum kullanımı %0,40 ile %0,70 arasında olmaktadır [8, 9].

Element ilavesi ile elde edilen alaşım gruplarının isimlendirilmesi çoğu ülkede kendi tanımlama sistemine sahip olmaktadır. Genel olarak kabul edilen tanımlama sistemi Tablo 2.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 2.1. Alüminyum döküm sistemi için kabul edilen tasarı sistemi [8]

| Diziler | Alaşımlar                       |
|---------|---------------------------------|
| 1xx     | >99,0% Al                       |
| 2xx     | Al-Cu                           |
| 3xx     | Al-Si-Mg, Al-Si-Cu, Al-Si-Cu-Mg |
| 4xx     | Al-Si                           |
| 5xx     | Al-Mg                           |
| 7xx     | Al-Zn                           |
| 8xx     | Al-Sn                           |

Alaşım gruplarında dört haneli bir sistem kullanılmaktadır. Alaşımlarda ilişkilendirilen grup ilk hane ile belirtilenmektedir. Bu alaşım grupları hem ısıtıl işlem uygulanabilen alaşımlardan hem de ısıtıl işlem uygulanamayan alaşım gruplarından oluşmaktadır. 2xx.x, 3xx.x, 4xx.x ve 7xx.x alaşım grupları ısıtıl işleme tabi tutulabilen alaşım grupları olmaktadır. Isıl işlem uygulanamayan alaşım gruplarında mukavemet, son tavla işleminde kaybolmaktadır. Bu gruplara soğuk şekil verme işlemi yapılmadıkça alaşımlarda mukavemet elde edilememektedir [1, 10, 11].

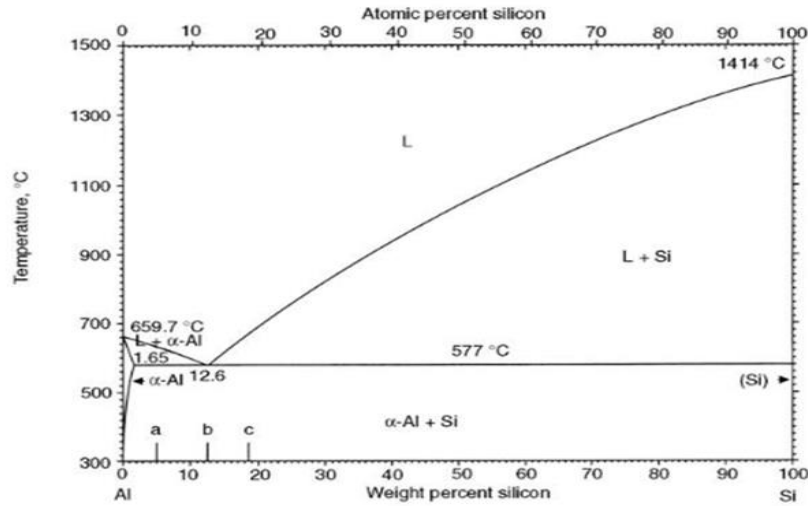
## 2.2. Alüminyum Silisyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları ilave edilen alaşım elementine göre ayırt edilmektedir. 4xxx olarak ifade edilen alaşım grubuna Al-Si alaşımı adı verilmektedir. Yumuşak bir yapıya sahip olan alüminyuma silisyumun ilave edilmesiyle oluşan Al-Si alaşımında Silisyum (Si) büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Al-Si alaşımına ilave edilen silisyum miktarı alaşımın yoğunluğunu ve termal genleşme katsayısını azaltıp, kimyasal ve mekaniksel özelliklerini arttırmaktadır. Si ilavesi, yüksek akışkanlık ve düşük sıcak yırtılma eğiliminin de oluşmasını sağlamaktadır. Alaşımda katılaşma

sırasında oluşan yüksek katılaşma yapısı modifiye olmamış östenitik yapının oluşmasına katkı sağlamaktadır [12]. Ötektik öncesi Al-Si alaşımları ( $\text{Si} < \%12,6$ ) için mukavemet ve yumuşaklık düşük, döküm alaşımı akışkan yapıya sahip olmaktadır. Modifiye edici elementlerin ilavesi ile özelliklerin geliştirilmesi sağlanabilmektedir. Ötektik sonrası Al-Si alaşımlarında ( $\text{Si} > \%12,6$ ) Si ve mikro yapının modifiye edilmesi genellikle Fosfor (P) elementinin alaşım içerisine ilave edilmesi ile sağlanmaktadır [11]. İlave edilen alaşım elementlerin dışında alaşım yapısındaki değişim döküm işlemindeki niceliklerin değiştirilmesiyle de elde edilebilmektedir. Alaşımın yavaş katılaşma işlemi intermetalik, makrosegregerasyon ve kaba ilk fazların oluşumuna neden olmaktadır. Mikro yapıda meydana gelen karakteristik özelliğe sahip değişimler alaşım grubunun kimyasal ve mekaniksel özelliklerini etkilemektedir. Bu oluşumların engellenmesi yapı içerisine alaşım element ilavesi veya ısıtılma işlemi ile iyileştirme sağlanabilmektedir [13]. Önerilen bu iyileştirmelerin dışında döküm işleminde kullanılan döküm yöntemi ve dökümün katılaşma şekli değiştirilerek alaşımın özelliklerinde değişim sağlanabilmektedir [14]. Alaşım yapısında meydana gelebilecek bu değişimlere baktığımızda, alaşımların özellikleri; malzeme döküm özelliklerine, dökümün katılaşma şekline ve mikro yapıda oluşan değişimlere bağlı olmaktadır [15].

### 2.2.1. Alüminyum silisyum (Al-Si) denge diyagramı

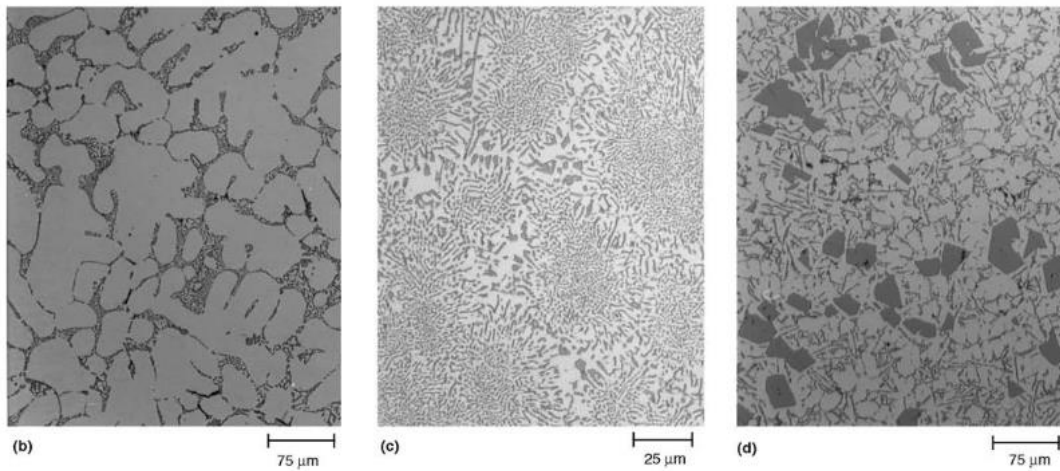
Genellikle ötektik öncesi ve ötektik sonrası olarak ayrılan Al-Si alaşım grubu yüzey merkezli kübik (YMK) yapıya sahip alüminyum ve elmas kristal yapıya sahip silisyumun birleşmesi ile oluşmuştur. Oluşan ikili denge diyagramı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Alüminyum-silisyum denge diyagramı [16]

Basit bir yapıya sahip olan ikili östenitik Al-Si alaşım sisteminde aşınma direncinin artırılması için sınırlandırılmış sayıda silisyum tanelerinden oluşmaktadır. Östenitik reaksiyonu, saf alüminyum ve saf silisyumun alüminyum içerisine %5'ten %20'ye kadar silisyum ilavesi ile meydana gelmektedir. Oluşan bu yapı ile çözeltide östenitik dönüşüm meydana gelmektedir. Alüminyum çözeltisi ve saf silisyum östenitik reaksiyon ile 577,6°C'de %12,6 silisyum bileşimi ile gerçekleşmektedir. Oluşan bu östenitik oluşum diyagramı Şekil 2.2.'de gösterilmektedir [16, 17].

Al-Si alaşımı genel olarak içerisinde magnezyum, bakır, demir, çinko vb. elementleri ihtiva etmektedir. Her element alaşım içerisine farklı bileşim kompozisyonlarında bulunmaktadır. Elementlerin alaşım içerisindeki oranları katılaşma işleminde büyük bir öneme sahip olmaktadır. Bu alaşımlarında katılaşma işlemi ötektik öncesi ve ötektik sonrası katılaşma olarak ayrılmaktadır. Oluşan bu ayrıcalık alaşım grubu içerisindeki silisyum oranının %12,6'dan az olanlara ötektik öncesi, %12,6'dan fazla olanlara ötektik sonrası alaşımlar olarak adlandırılmaktadır. Her iki alaşım grubunda genel katılaşma işlemi  $\alpha$ -Al dentrit çekirdeklerinin, intermetalik olarak bulunan  $\text{Al}_{15}(\text{Mn,Fe})_3\text{Si}_2$ ,  $\beta\text{-Al}_5\text{FeSi}$  ve  $\text{Mg}_2\text{Si}$  ve primer Si yapılarının döküm yapısı içerisinde katılaşmasından meydana gelmektedir. Döküm sonrası oluşan mikro yapılar Şekil 2.2.'de gösterilmektedir. Oluşan bu mikro yapılarda intermetalik oluşumu yapı içerisinde bulunan çeşitli elementlere ve bunların yapı içerisinde bulunma oranlarına bağlı olarak oluşumu farklılık göstermektedir [16, 18].



Şekil 2.2. Ticari Al-Si döküm alaşımları mikroyapıları a) ötektik öncesi Al-Si(%1,65-%12,6 Si)150x b) ötektik Al-Si alaşımı (%12,6 Si) 150x c) ötektik sonrası Al-Si alaşımı (>%12,6 Si) 150x [ 16 ]

Genel olarak kullanılan alaşım sistemleri Tablo 2.2.'de gösterilmektedir. Bu alaşım gruplarına mekanik özelliklerin artırılması için modifiye edici elementlerin ilavesi veya ısıt işlem yapılmaktadır. Modifiye edici elementler kabalaşmaya eğilimde olan bileşiklerin daha küçük yapıda oluşmasını sağlamakta ve yapı içerisinde sert özelliğe sahip intermetaliklerin oluşmasını sağlayarak yapının mukavemetini arttırmaktadır. Uygulanılan ısıt işlemlerde ani soğutma işlemi alaşım içerisindeki Si tanelerinin ve intermetaliklerin daha küçük tane yapısına sahip olmasını sağlamaktadır. Hızlı soğutma işlemi mikro yapı ve mekanik özellik değişiminde çok büyük bir etkiye sahip olmayıp döküm işlemi sonrası alaşıma ilave edilen modifiye edici element ile daha iyi bir modifikasyon sağlanabilmektedir [ 19,20 ].

Tablo 2.2. Kullanılan ticari alaşım sistemleri [9]

| Alloy                       | Composition, wt% |     |         |           |         |                               |
|-----------------------------|------------------|-----|---------|-----------|---------|-------------------------------|
|                             | Si               | Fe  | Cu      | Mg        | Mn      | Other                         |
| <b>Hypereutectic alloys</b> |                  |     |         |           |         |                               |
| 390.0                       | 16-18            | 1.3 | 4-5     | 0.45-0.65 | 0.1     | ---                           |
| A390.0                      | 16-18            | 0.5 | 4-5     | 0.45-0.65 | 0.1     | ---                           |
| B390.0                      | 16-18            | 1.3 | 4-5     | 0.45-0.65 | 0.5     | 1.5 Zn                        |
| 392.0                       | 18-20            | 1.5 | 0.4-0.8 | 0.8-1.2   | 0.2-0.6 | 0.5 Ni, 0.5 Zn, 0.3 Sn        |
| 393.0                       | 21-23            | 1.3 | 0.7-1.1 | 0.7-1.3   | 0.1     | 2-2.5 Ni                      |
| <b>Eutectic alloys</b>      |                  |     |         |           |         |                               |
| 384.0                       | 10.5-12          | 1.3 | 3-4.5   | 0.1       | 0.5     | 0.5 Ni, 3 Zn, 0.35 Sn         |
| 336.0                       | 11-13            | 1.2 | 0.5-1.5 | 0.7-1.3   | 0.35    | 2-3 Ni, 0.35 Zn               |
| 339.0                       | 11-13            | 1.2 | 1.5-3   | 0.5-1.5   | 0.5     | 0.5-1.5 Ni, 1 Zn              |
| 413.0                       | 11-13            | 2   | 1       | 0.1       | 0.35    | 0.5 Ni, 0.5 Zn                |
| 4032                        | 11-13.5          | 1   | 0.5-1.3 | 0.8-1.3   | ---     | 0.5-1.3 Ni                    |
| <b>Hypoeutectic alloys</b>  |                  |     |         |           |         |                               |
| 319.0                       | 5.5-6.5          | 1   | 3-4     | 0.1       | 0.5     | 0.35 Ni, 1 Zn                 |
| 356.0                       | 6.5-7.5          | 0.6 | 0.25    | 0.2-0.45  | 0.35    | 0.35 Zn                       |
| 364.0                       | 7.5-9.5          | 1.5 | 0.2     | 0.2-0.4   | 0.1     | 0.25-0.5 Cr, 0.15 Ni, 0.15 Sn |
| 380.0                       | 7.5-9.5          | 2   | 3-4     | 0.1       | 0.5     | 0.5 Ni, 3 Zn, 0.35 Sn         |
| 333.0                       | 8-10             | 1   | 3-4     | 0.05-0.5  | 0.5     | 0.5 Ni, 1 Zn                  |
| 332.0                       | 8.5-10.5         | 1.2 | 2-4     | 0.5-1.5   | 0.5     | 0.5 Ni, 1 Zn                  |
| 360.0                       | 9-10             | 2   | 0.6     | 0.4-0.6   | 0.35    | 0.5 Ni, 0.5 Zn                |
| 383.0                       | 9.5-11.5         | 1.3 | 2-3     | 0.1       | 0.5     | 0.3 Ni, 3 Zn, 0.15 Sn         |

Source: Ref 8, 9

Tablo 2.2.'de gösterilen alaşım grupları içerisinde A360 veya 360.0 olarak bilinen AlSi10MnMg alaşımı çok iyi işlenebilme, kalıba yapışmama, yüksek korozyon direnci, talaşlı işlenebilme, yüksek yorulma direnci, kaynak yapılabilme vb. özelliklere sahip olmaktadır. A360 alaşımı mimari, armatür, otomotiv, ışıklandırma, ev aletleri vb. birçok yerde kullanım alanı bulunmaktadır. Bu alaşım grubu 550-590°C katılaşma aralığına, 2,64 kg/dm<sup>3</sup> yoğunluğa sahip olmaktadır. Her döküm yöntemiyle üretimi mümkün olmaktadır. İnce kesitli parçaların üretimi ve parçaların seri üretimi mümkün olduğundan genellikle basınçlı döküm yöntemiyle üretimi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen döküm malzemesinin mekanik özelliklerinin artırılması için alaşım grubuna ısıtıl işlem uygulanabilmektedir. Uygulanılan ısıtıl işlemler genellikle T serisi (T4,T5,T6,T7) ısıtıl işlemler olmaktadır. Uygulanılan ısıtıl işlem sonrasında elde edilen mekanik özellikler Tablo 2.1.'de gösterilmektedir [21].

Tablo 2.1. Isıl işlemlili AlSi10MnMg alaşımı mekanik özellikleri [21]

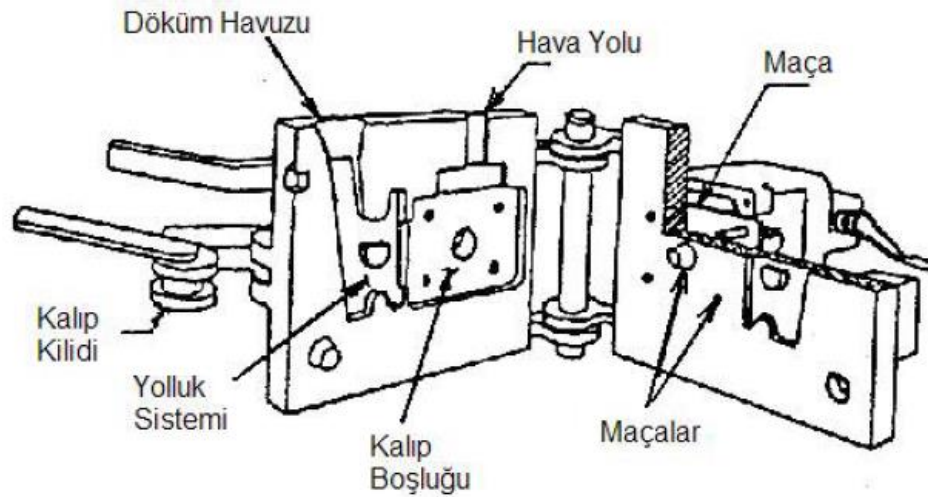
| Döküm yöntemi    | Isıl işlem durumu | Akma mukavemeti<br>R <sub>p0.2</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | Çekme mukavemeti<br>R <sub>m</sub> [N/mm <sup>2</sup> ] | Kırılma uzaması<br>A [%] | Brinell-Sertlik<br>HBW |
|------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------|
| Enjeksiyon döküm | F                 | 120–150                                                   | 250–290                                                 | 5–11                     | 75–95                  |
| Enjeksiyon döküm | T5                | 155–245                                                   | 275–340                                                 | 4–9                      | 80–110                 |
| Enjeksiyon döküm | T4                | 95–140                                                    | 210–260                                                 | 15–22                    | 60–75                  |
| Enjeksiyon döküm | T6                | 210–280                                                   | 290–340                                                 | 7–12                     | 90–110                 |
| Enjeksiyon döküm | T7                | 120–170                                                   | 200–240                                                 | 15–20                    | 60–75                  |

## **BÖLÜM 3. ALÜMİNYUM ALAŞIM ÜRETİM YÖNTEMLERİ**

### **3.1. Kokil Kalıba Döküm**

Ergitilen metalin birden fazla döküm işleminin yapılabilirdiği kalıcı kalıp içerisinde dökülmesiyle gerçekleştirilen işleme kalıcı kalıba döküm denmektedir. Bu döküm yöntemi karmaşık şekilli ve boyutları dar bir aralıkta olan parçalar için kullanılmaktadır. Döküm işleminde kullanılacak olan kalıp, malzemede gerekli olan refrakterik özelliğe sahip olmalıdır. Düşük ergime sıcaklığına sahip alaşım ve malzeme grupları için kalıp malzemesi olarak bronz kullanılmaktadır. Bu grubun dışındaki diğer malzeme grupları için dökme demir, zirkonyum veya çelik kalıplar kullanılabilir. Dökme demir ve çelik kalıp kullanımında yapı içerisinde bulunan demirin alaşım grubuna geçmemesi için kalıp zirkonyum oksit ile kaplama işlemine tabi tutulmaktadır. Zirkonyum kalıpların kullanılması durumunda sınırlı sayıda alaşımın döküm işlemini kokil kalıp yöntemiyle yapılmaktadır. Bunun nedeni dökümü yapılan malzemenin hızlı soğuma ve yüksek akışkanlığa sahip olmasının istenmesidir. İstenen bu özelliklere bakıldığında, kokil kalıba döküm yöntemi için silisyum içeren 3xxx ve 4xxx seri alaşımların uygun olduğu görülmektedir.

Kokil kalıplar, açılıp kapanabilen iki parçalı kalıplardan oluşmaktadır. Kokil kalıba döküm işleminde ergitilen metal kalıp boşluğuna dökülmektedir. Katılma işlemi gerçekleşikten sonra kalıp açılmaktadır. İstenen şekli elde edilen malzemede iç boşluğun oluşması isteniyorsa maça kullanılmakta veya istenen boşluk talaşlı imalat yöntemiyle istenilen boşluk elde edilmektedir [22, 23].



Şekil 3.1. Menteşeli kokil kalıp [22]

## 3.2. Basınçlı Döküm

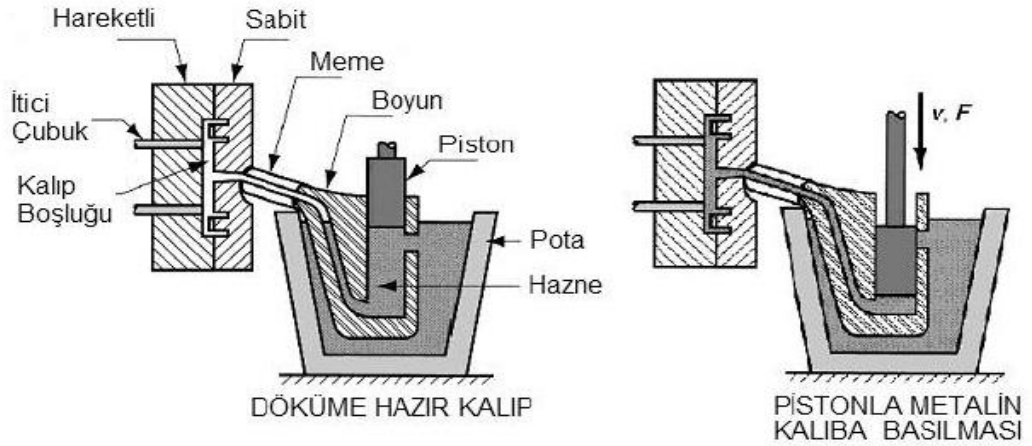
### 3.2.1. Yüksek basınçlı döküm

Çelikten yapılmış kalıba, yüksek basınç ile sıvı metalin doldurulması işlemine basınçlı döküm yöntemi denmektedir. Takım çeliklerinden üretilen kalıbın içerisine ergimiş metalin belirli bir kuvvet ile metalin itilmesi ve basınç yardımıyla erigin birden soğumasını içeren işlem aşamalarından oluşmaktadır. Yüksek basınçlı döküm işleminde dökülen malzemenin hızlı bir şekilde soğuması istendiği için kalıp refrakter malzemelerle kaplanmamaktadır. Hızlı bir şekilde katılaşma işlemi gerçekleştiğinden ince taneli mikro yapı elde edilmektedir. Basınçlı döküm işlemi, ince cidarlı ve karmaşık şekilli malzemelerin üretimi için elverişli bir yöntem olmaktadır. Yüksek basınçlı döküm yönteminde dikkatli bir şekilde planlanmış işlem aşamalarından oluşturulması gerekmektedir. Basınçlı döküm yönteminde alaşımın ergitilme yöntemine bağlı olarak sıcak hazneli basınçlı döküm ve soğuk hazneli basınçlı döküm yöntemi olarak ikiye ayrılmaktadır.

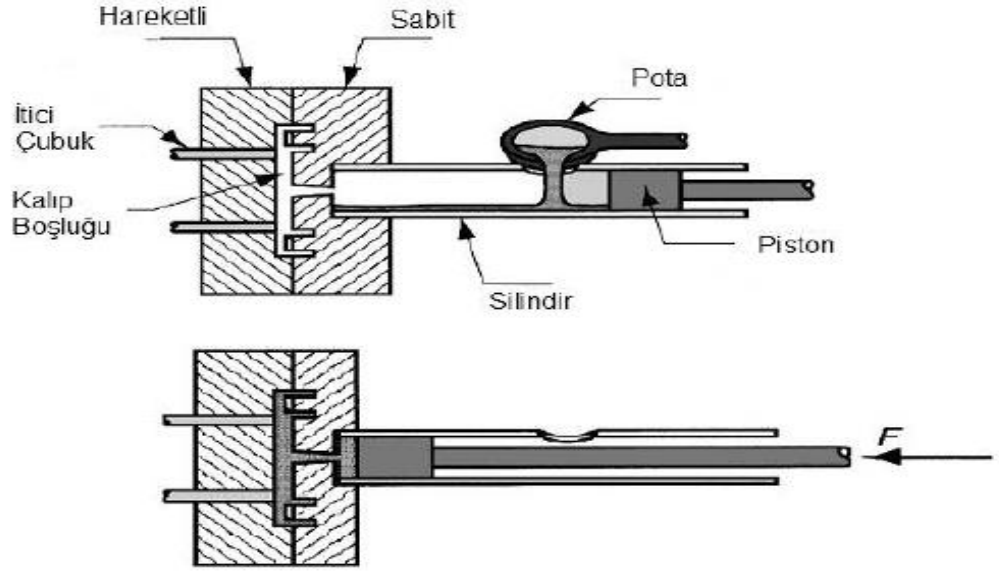
Sıcak hazneli basınçlı döküm işleminde, hazne ve piston sıvı metalin içerisinde. Bu yöntemle ergime noktası düşük olan kalay, kurşun ve çinko vb. alaşımların döküm işlemi gerçekleştirilmektedir.

Soğuk hazneli basınçlı döküm işleminde ergime potası ayrı bir yerde bulunup sıvı metal, belirlenen pota içerisine belirli bir kap yardımı ile otomatik bir şekilde gerçekleştirilen döküm işlemidir. Bu işlem sonrasında sıvı metalin kalıp içerisine itilme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Yüksek basınçlı döküm yöntemi ile üretilen malzeme sayısı sınırlı olmaktadır. Her kalıp belirli bir üretim kapasitesine sahiptir. Hem kalıba doldurma işleminin hem de soğuma işleminin hızlı olması, eriğin iyi bir akışkanlığa sahip olması, katılaşma sırasında ve katılaşma sonrasında çatlama işleminin olmaması alaşımlarda istenen özellikler arasında olmaktadır. Bu nedenle Al-Si alaşımlarının dökümünde yüksek basınçlı döküm işlemi tercih edilmektedir. Kullanılan bu döküm yönteminin malzeme sarfiyatının az olması, üretim sayısının fazla olması, karmaşık şekilli parçaların üretimin mümkün olması, çok sayıda parça üretimi mümkün olması, az işçilikle yüksek verimliliğin elde edilmesi, pahalı kalıplara rağmen düşük maliyetle döküm işleminin gerçekleştirilmesi gibi avantajlarına sahip olmaktadır. Döküm işleminde dezavantaj olarak döküm içi boşluk ve baloncuk oluşumu görülmektedir [1, 22, 23].



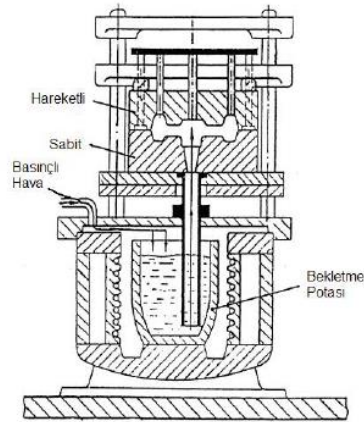
Şekil 3.2. Sıcak hazneli basınçlı döküm [22]



Şekil 3.3. Soğuk hazneli basınçlı döküm [22]

### 3.2.2. Alçak basınçlı döküm

Dar kalıp boşluklarına sahip kalıcı kalıba, metalin yer çekimi yardımıyla doldurulması zor olduğundan belirli bir basınca ihtiyaç duyulmaktadır. Dar kalıpların alçak bir basınç uygulanarak doldurulması işlemine alçak basınçlı döküm işlemi denilmektedir. Potada bulunan sıvı metal yüzeyine basınç uygulayıp sıvıya daldırılan dikey yolluk yardımıyla sıvı metalin yukarı çıkması işlemi gerçekleşmekte ve üst kalıbın dolması sağlanmaktadır. Sıvı metalin kalıba dökülmesi işlemi ardından metalin katılaşması ile işlem tamamlanmaktadır [22, 23].



Şekil 3.4. Alçak basınçlı döküm [22]

## BÖLÜM 4. ALAŞIMLARIN ISIL İŞLEMİ

Bir standart alaşımda ısıtılmasının anlaşılabilmesi için alaşım sisteminin iyi bilinmesi gerekmektedir. Alaşım sistemi, kimyasal bileşiminin anlaşılmasını ve alaşım özelliklerinde standart bir oluşumu sağlamaktadır. Günümüzde kullanılan alaşım ve ısıtılma sistemlerinden dövme alüminyum alaşımları 1955'te alüminyum endüstrisine katılmıştır. Şimdilerde kullanılan alüminyum alaşım sisteminde ilk kullanılan alaşım sistemine göre bazı standartlar sonradan geliştirilmiştir. Bu oluşumun benzer bir yapı olarak ısıtılma işlem üreticilerinin anlayabilmesi de sağlanmıştır [10].

Uygulanılan ısıtılma işlemlerde, elde edilen mekanik özellikleri sağlayabilmek için malzemeyi ısıtma ve soğutma ısıtılma işlem aşamalarını içermektedir. Uygulanan bu ısıtılma işlem aşamalarında alüminyum alaşımlarına ısıtılma işlem uygulandıktan sonra dövme alüminyum alaşımlarında ve dökme alüminyum alaşımlarında alaşımın sertliği artırılarak kullanım yerleri sınırlandırılmaktadır. Sertlik artışının dışında ısıtılma işlemle mekanik özelliklerde meydana getirilecek değişim, ısı derecesi ve ısı tutma süresine bağlı olarak da değişmektedir. Niceliklerin değiştirilmesi ile mikro yapıda oluşan reaksiyonlar, malzemeye yumuşaklık dereceleri ile mekanik özellikler farklı olmaktadır. Sonrasında uygulanan yaşlandırma ısıtılma işlemi bu alaşımlarda çökelti oluşturarak mikro yapı ve mekanik özelliklerin değişmesini sağlamaktadır. Özelliklerin değişiminde malzemeye uygulanan düşük sıcaklık işlemi, ısıtılma işlem uygulanmayan malzemelere uygulanmakta olup tavlama olarak adlandırılmaktadır [24].

#### 4.1. Alüminyum Alaşımlarının Sembolleştirilmesi

##### 4.1.1. Temel temper tasarım sistemi

Isıl işlem işaretleme sistemi harf ile ifade edilmektedir. Isıl işlem tasarımı sisteminde bir merkezi harf sistemi ısıtım işlem sistemini ifade etmektedir. Belirtilen gruplar dışında bazı belirlenen işaretler sadece döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara, bazı gruplar dövme yöntemiyle üretilen alaşımlara ve bazı ısıtım sistemleri ise her iki gruba da uygulanabilen ısıtım sistemlerini içermektedir. Tanımlanan tasarım sistemi Tablo 4.1.'de gösterilmektedir [7].

Tablo 4.1. Temel ısıtım işlem sistemi [7]

|   |                                                                                                                                       |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| F | Dövme haliyle kalmış (dövme mamülleri)                                                                                                |
| O | Tavlanmış,yeniden kristallendirilmiş (dövme mamülleri)                                                                                |
| H | Sertleştirilmiş(dövme mamülleri)                                                                                                      |
| W | Herhangi bir iyileştirme işlemine tabi tutulmamış düzgün olmayan temperleme işlemi ile ısıtım işlemine tabi tutulmuş (dövme mamüller) |
| T | Düzgün bir şekilde temperleme işlemi ile ısıtım işlemine tabi tutulmuş                                                                |

##### 4.1.2. Soğuk işlem ile sertleştirilmiş alt bölümler

Isıl işlem sisteminde kullanılan ısıtım işlem sistemi, ısıtım işlem sıcaklığına ve malzeme çeşitliliğine bağlıdır. Temel ısıtım işlem tasarımının alt türleri bir veya daha fazla hane ile belirtilmekte olup Tablo 4.2.'de gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Temel soğuk işlem sistemi [7]

|    |                                                  |
|----|--------------------------------------------------|
| H  | Sertleştirilmiş (dövme mamüller)                 |
| H1 | Yalnız sertleştirilmiş                           |
| H2 | Sertleştirildikten sonra kısmi tavlanmış         |
| H3 | Sertleştirildikten sonra dengeli hale getirilmiş |

##### 4.1.3. Isıl işlem uygulanmış alt bölümler

Isıl işlem uygulanabilen alaşım gruplarının ısıtım işlem uygulama şekilleri ve ısıtım işlem isimleri Tablo 4.3.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.3. Isıl işlem grupları [7]

|     |                                                                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| W   | Herhangi bir tane iyileştirilmesine işlemi uygulanmadan düzgün olmayan bir ısıtma işlemine maruz bırakılmış (dövme mamülleri) |
| T   | Düzgün bir ısıtma işlemi uygulanmış                                                                                           |
| T2  | Tavlama işlemi (dövme mamülleri)                                                                                              |
| T3  | Isıtma işlemi tabii tutulduktan sonra soğuk dövme işlemi yapılmış (dövme mamülleri)                                           |
| T4  | Isıtma işlemi uygulanmış (dövme veya dövme ile üretilmiş malzemeler)                                                          |
| T5  | Yapay olarak yaşlandırılmış (dövme veya dövme malzemeler)                                                                     |
| T6  | Isıtma işlemi uygulandıktan sonra yapay yaşlandırılmış (dövme veya dövme malzemeler)                                          |
| T7  | Isıtma işlemi uygulanmış sonrasında iç yapısı düzenli hale getirilmiş (dövme malzemeler)                                      |
| T8  | Isıtma işlemi uygulanmış soğuk dövme ve sonrasında yapay yaşlandırılmış                                                       |
| T9  | Isıtma işlemi uygulanmış ,yapay yaşlandırılmış sonrasında soğuk dövme (dövme malzemeler)                                      |
| T10 | Yapay yaşlandırılmış sonrasında soğuk dövme (dövme malzemeler)                                                                |

#### 4.2. Alüminyum Alaşımlarına Uygulanan Isıl İşlemler

Alüminyum alaşımlarının ısıtma işlemi, müşteri tarafından istenen özelliklerin tasarlanması tüketici ve üretici arasında geniş bir kullanım alanını oluşturmaktadır. Bu kadar geniş bir kullanıma sahip olması alüminyumun bileşimi ve diğer metallerde bulunmayan özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Alüminyum alaşımları ısıtma işlemi açısından 2 gruba ayrılmaktadır. Oluşturulan grup Tablo 4.4.'te gösterilmektedir.

Tablo 4.4. Isıtma işlemi uygulanabilen ve ısıtma işlemi uygulanamayan alaşımlar [7]

| Sınıflandırma                         | Alaşımlar                              |
|---------------------------------------|----------------------------------------|
| Isıtma işlemi uygulanmayan alaşımlar  | 1xxx,3xxx,4xxx,5xxx ve 8xxx alaşımları |
| Isıtma işlemi uygulanabilen alaşımlar | 2xxx,6xxx ve 7xxx alaşımları           |

Isıtma işlemi alaşım grupları saf alüminyuma, alaşım elementi ilavesi ile elde edilen alaşım grubudur. Bu alaşım elementlerinin bazıları alaşıma istenen özelliklerin oluşmasına katkı sağlarken bazıları istenmeyen bileşiklerin yapı içerisinde oluşumunu sağlamaktadır. Uygulanan ısıtma işlemi alaşımın mukavemetini arttırmaktadır. Mukavemet artırma işlemi alaşıma uygulanan ısıtma işlemi alaşım içerisindeki intermetalikler ile sağlanmaktadır. Mekanik özelliklerin artmasında rol oynayan ısıtma işlemi derecesine bağlı olarak oluşan intermetalikler aşağıda verilmektedir [7].

Alüminyum-magnezyum-silisyum alaşım sisteminde ( $Mg_2Si$ )

Alüminyum-magnezyum-çinko alaşım sisteminde ( $MgZn_2$ )

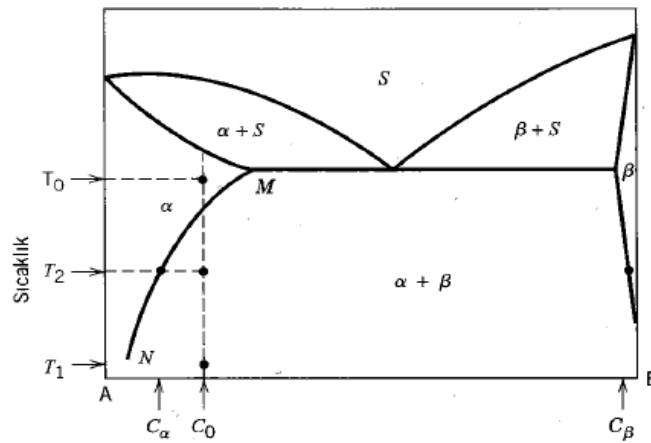
Alüminyum-Bakır alaşım sisteminde ( $\text{Al}_2\text{Cu}$ ) bileşiklerinin oluşumu gözlemlenmektedir [24]

#### 4.2.1. Uygulanan ısı işlem aşamaları

Isıl işlem uygulanabilen alüminyum alaşımlarına veya başka alaşım gruplarına ısı işlem belirli aşamalarla gerçekleştirilmektedir. Aşamalar halinde gerçekleşme nedeni uygulanan ısı etki ile alaşımda oluşan çeşitli fazlar ve artan sıcaklık ile birlikte elde edilen fazların oluşumunun artmasıdır. Oluşan fazlar ve faz dağılımlarının düzenlenmesi gerekmektedir. Fazların dağılımı, yapı içerisindeki element ve bileşiklere bağlı olarak değişmektedir. Bu niceliklerin dışında uygulanan sıcaklığa bağlı olarak da fazlar değişim göstermektedir.

Uygulanan sıcaklık solvüs eğrisinin ötektik bölge sıcaklık eğimi ısı işlem sıcaklık belirlenmesi için kritiktir. Belirlenen sıcaklık, sıcaklık difüzyon oranını zamanla etkilemektedir [11]. Kriter alınan bu değişimler aşamalar halinde gerçekleşmektedir. Bu aşamalar çözeltiye alma ve yaşılandırma işlemlerinden oluşmaktadır.

##### 4.2.1.1. Çözeltiye alma

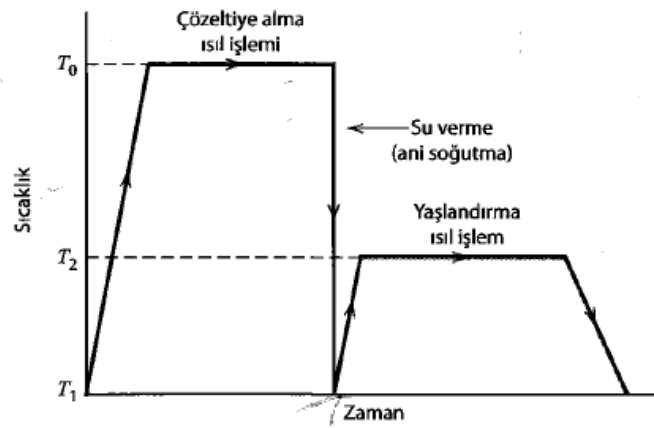


İlk aşama olan çözeltiye alma ısı işlemi  $C_0$  bileşimine sahip bir alaşımı ele alınmaktadır. Bu işlemde, bileşimdeki alaşım  $\beta$  fazını tamamıyla çözdüğü  $\alpha$  faz

bölgesinde  $T_0$  gibi bir sıcaklığa ısıtma işlemiyle oluşmaktadır. Isıtılan bu noktada bileşik sadece  $\alpha$  fazından oluşmaktadır. Bu ısıtma işleminden sonra  $\beta$  faz oluşumunun yeniden meydana gelmemesi için yüksek bir hızda ve çoğu alaşım için oda sıcaklığında  $T_1$  sıcaklığına birden soğutulmaktadır. Bu işlem ile  $T_1$  sıcaklığında  $\beta$  atomları tarafından aşırı doymuş bir  $\alpha$  fazı elde edilmektedir. Aşamalar neticesinde oluşan alaşım yumuşak ve düşük dayanım özelliklerine sahip olmaktadır. Yayınma hızı  $T_1$  sıcaklığında düşük olduğundan alaşım aşırı doymuş bir halde uzun süre kalabilmektedir [25].

#### 4.2.1.2. Yaşlandırma

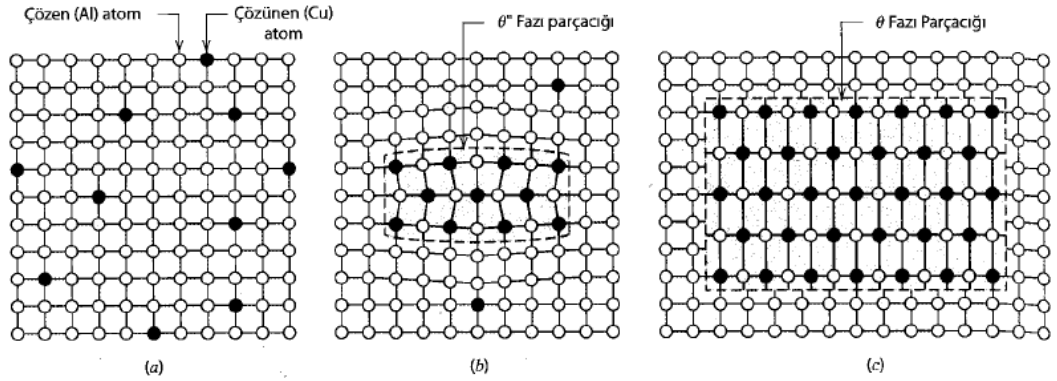
Aşırı doymuş çözelti alaşımın Şekil 4.2.'de görülen  $\alpha+\beta$  faz bölgesinden  $T_2$  ile belirtilen yayınma işleminin gerçekleştiği belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılması işlemini içermektedir. Belirtilen  $T_2$  sıcaklığında  $C_\beta$  bileşiği  $\beta$  çökelti fazı ve  $\alpha$  aşırı doymuş çözelti içerisinde dağılmış partiküller şeklinde oluşmaya başlamaktadır. Oluşan bu işleme yaşlandırma ısısal işlemi denmektedir.  $T_2$  sıcaklığında belirli bir süre bekletip alaşımı oda sıcaklığında soğutma işlemine tabi tutarsak buna yapay yaşlandırma ismi verilmektedir.  $T_2$  yaşlandırma sıcaklığı kullanılmadan oda sıcaklığında soğutularak yapılan ısısal işleme doğal yaşlandırma denilmektedir [25].



Şekil 4.2. Yaşlandırma ısısal işleminin sıcaklık-zaman şematik gösterimi [25]

Yapılan ısısal işlem aşamaları sonrasında sertlik artışı gözlemlenmektedir. Bu sertlik artışı aşırı doymuş katı çözeltilerden kuvvet artışı sağlamak için yapıda homojen

dağılmış çökeltilerden oluşmaktadır. Yaşlandırma ısı işlemi sonrasında gerçekleşen bu sertlik artışı GP solvüs bölgesinde gerçekleşmektedir. Aşırı doymuş boşluklar bu bölgedeki difüzyona izin vermektedir. Elementlerin çözeltiye geçmesiyle aşırı doymuş katı çözeltide çözünen bileşik kümelerini oluşturmaktadır. Oluşan bileşik kümeleri sonrasında geçiş çökeltilerini oluşturan katı çökeltiyi meydana getirmektedir [24]. Bu işlem aşamalarında çökeltinin yapı içerisinde ilk çökmesi ile GP-1 bölge oluşumu gerçekleşmektedir. Çökeltinin kalın diskler oluşumu ile GP-2 bölgelerine dönüşümü gerçekleşmekte sonrasında bölge dengeli bir  $\theta'$  yapısına dönüşmektedir. Yapı içerisinde oluşan  $\theta$  fazı tamamıyla yapı içerisinde çökelmektedir. Bu dengesiz çökeltiler uyumlu çökeltilerdir. Isıl işlem sırasında bu uyumlu fazların boyutunun büyüdüğü ve alaşım dayanımının zamanla arttığı görülmektedir [25]. Yapı ile uyumlu olsa bile çökelen atom boyutları büyümekte ve buda kafes parametresinin gerilmesi ve nihayetinde sertlik artışına neden olmaktadır. Sertlik artışının oluşum aşamaları ve kafes parametre büyümesi Şekil 4.3.'te gösterilmektedir.



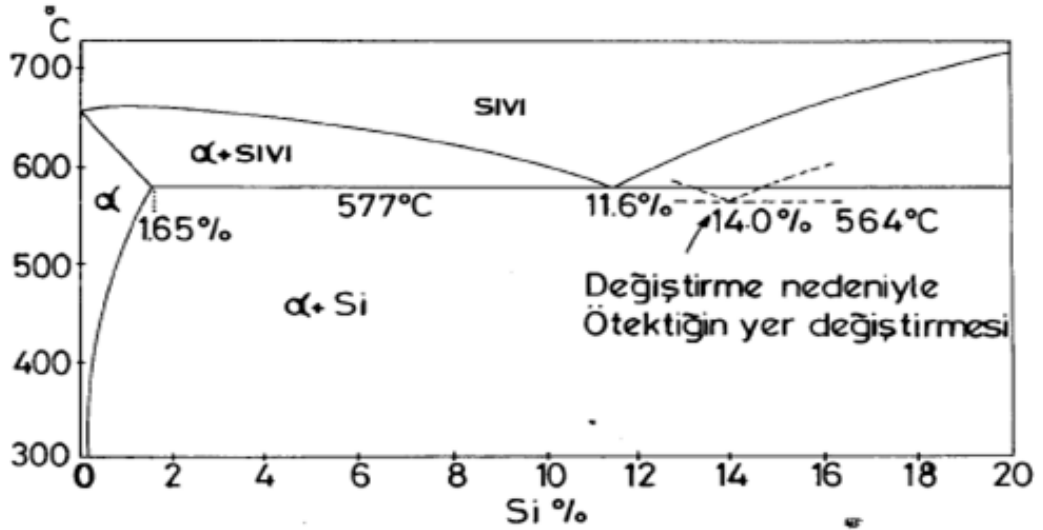
Şekil 4.3. GP faz oluşumunun kararlı faz oluşumunda evreleri a) aşırı doymuş çözelti b) çökelti  $\theta''$  faz oluşumu c) çökelen kararlı  $\theta'$  kararlı faz oluşumu [25]

#### 4.3. Alüminyum Silisyum Alaşımlarının Isıl İşlemi

Isıl işlem uygulanmayan (4xxx) alaşım grubuna ait alüminyum silisyum alaşımının yüksek mekanik özellikleri sayesinde döküm sanayisinde nitelikli özellikler elde edilmektedir. Al-Si alaşımına ısı işlem uygulanamamaktadır. Isıl işlemin gerçekleştirilebilmesi için alaşım içerisine çeşitli alaşım elementleri ilave edilmektedir. Al-Si alaşımına ilave edilen alaşım elementleri genellikle Na, Mg, P

vb. alaşımlar elementleri olmaktadır. Her alaşım elementi alaşımda farklı değişiklikler sağlamakta ve Al-Si alaşımlarının T serisi ısıl işleminin uygulanmasına yol açmaktadır. İlave edilen elementlerle alaşıma kazandırdığı özellikleri kullanmak ve geniş bir kullanım alanı sağlamak için ısıl işlem uygulanmaktadır. Bu alaşım grubu genellikle %9 ile %13 arasında silisyum içeren alaşım grupları olup bazılarında az miktarda bakır ilave edilmektedir. Yapıya ilave edilen bu elementin dışında magnezyum, sodyum, fosfor vb. elementler ilavesi gerçekleştirilmektedir. İlave edilen bu elementler mikro yapı içerisinde magnezyum  $Mg_2Si$ , bakır  $Al_2Cu$  gibi bileşiklerin oluşmasını sağlayarak alaşımın yüksek mekanik özelliklere sahip olmasını sağlamaktadır.

Döküm alaşımına az miktarda (yaklaşık %0.01) sodyum ilavesinden oluşmaktadır. Bu element ilavesi ötektik sıcaklığındaki silisyumun çökelti oluşturmalarını geciktirmektedir. Bunun dışında denge diyagramını sağa kaymasını sağlamaktadır. Diyagramda oluşan değişim Şekil 4.4.'te gösterilmektedir.

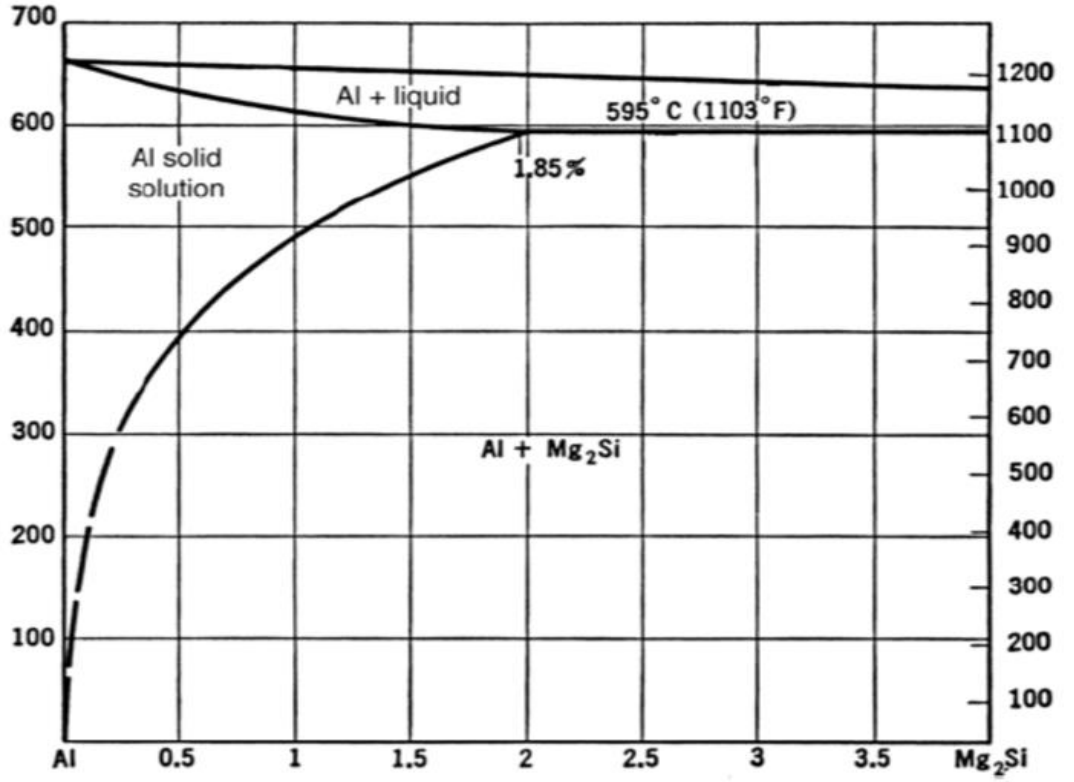


Şekil 4.4. Na ilavesi ile değişen Al-Si denge diyagramı [7]

Ötektik yapının değişmesi yapı içerisine ilave edilen Na miktarına bağlı olmaktadır. Bu ilave miktarına Na miktarına bağlı olarak Si elementince daha zengin bir bölgenin oluşumu sağlamaktadır. Bunun yanında sodyum ilavesi, ötektik bölge

sıcaklığını 30°C azalttığı görülmektedir. Anlatılan bu oluşumun dışında Al-Si alaşımında sodyum ve potasyum tuz ilavesi (%1-2) kalın parçalı malzeme üretiminde yavaş soğumayı sağlayarak ince taneli bir mikro yapının oluşmasını sağlamaktadır. Sodyum tuzu alkali metalde reaksiyon oluşumuna neden olduğundan florür bileşiği yerine sodyum (%0,01) ilave edilmektedir [7, 26].

Magnezyum ilavesi Al-Si alaşımlarında tane yapısı ve alaşımın ısıtılma işlemi oluşumunda etkisi yüksek olmaktadır. Magnezyum ilavesi yapıda oluşan kaba tanelerinin, AlFeSi ve AlFeMnSi intermetaliklerinin parçalanmasını sağlayarak daha yüksek mekanik özelliklerin elde edilmesine neden olmaktadır. Bu oluşumun yanında yapı içerisinde  $Mg_2Si$  intermetalik oluşumunu sağlayarak intermetaliklerin mukavemet artışına neden olmaktadır. Aşağıda Şekil 4.5.'de Al- $Mg_2Si$  denge diyagramında da görüldüğü gibi Al içerisinde  $Mg_2Si$  intermetalığının 595°'de 1,85 olduğu görülmektedir. Ötektik öncesi yapısında sıvı primer Al fazı ( $\alpha$ -Al) yapı içerisinde bulunurken  $Mg_2Si$  alaşım içerisinde artmasına bağlı olarak sıvı fazın azaldığı görülmektedir. %13,9  $Mg_2Si$  fazla olduğu zaman hakim olan fazın  $Mg_2Si$  olduğu anlaşılmaktadır [3].



Şekil 4.5. Al-Mg<sub>2</sub>Si denge diyagramı [3]

Bahsedilen elementlerin dışında alaşıma fosfor ilavesi çoğunlukla ötektik sonrası alaşımlarda kullanılmaktadır. Alaşım içerisine ilave edilen fosfor ile büyük ve sert yapıya sahip intermetaliklerin parçalanması sağlanarak mikro yapıda ve mekanik özelliklerde iyileşmenin gerçekleşmesi sağlanmaktadır.

## BÖLÜM 5. MATERYAL VE YÖNTEM

### 5.1. Kullanılan Hammaddeler

Deneysel çalışmada ötektik öncesi AlSi10MnMg alaşımına iki farklı işlem yapılmıştır. İlk yapılan işlem grubunda Bor ilavesi yaparak kokil döküm işlemi uygulanmış ve sonrasında T6 ısıt işlemi uygulanmıştır. İkinci alaşım grubunda enjeksiyonlu döküm yöntemiyle Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de üretilen alaşımlara T5 ısıt işlemi yapılmıştır. Alaşımların kimyasal bileşimleri Şekil 5.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 5.1. Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal analizleri

| Alaşım ve Uygulanılan Isıl İşlem | %             | Al   | Si | Mn   | Mg   | B      | Fe   | Diğer |
|----------------------------------|---------------|------|----|------|------|--------|------|-------|
| A-T6                             | AlSi10MnMg-A  | 88,2 | 10 | 0,58 | 0,39 | 0      | 0,09 | 0,74  |
| B1-T6                            | AlSi10MnMg-B1 | 88,9 | 10 | 0,53 | 0,52 | 0,07   | 0,09 | 0,11  |
| B2-T6                            | AlSi10MnMg-B2 | 88   | 10 | 0,58 | 0,60 | 0,145  | 0,13 | 0,54  |
| B3-T6                            | AlSi10MnMg-B3 | 88,5 | 10 | 0,48 | 0,39 | 0,22   | 0,10 | 0,30  |
| C1-T5                            | AlSi10MnMg-C1 | 88,3 | 10 | 0,69 | 0,20 | 0,0016 | 0,19 | 0,62  |
| C2-T5                            | AlSi10MnMg-C2 | 87,6 | 10 | 0,63 | 0,43 | 0,0016 | 0,14 | 1,19  |

### 5.2. Deneysel Çalışma

Deneysel çalışmalarda ötektik altı AlSi10MnMg alaşımına iki farklı grup şeklinde işlem uygulanmıştır. Birinci işlemde AlSi10MnMg alaşımına değişik oranlarda Bor ilave edilerek T6 ısıt işlemi sonucu mikro yapı ve mekanik özelliklerdeki değişim

incelenmiştir. İkinci işlemde Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de üretilen AlSi10MnMg alaşımına T5 ısıtma işlemi uygulandıktan sonra mikro yapı ve mekanik özellik değişimleri incelenmiş ve sonrasında bu iki grup arasında karşılaştırma yapılmıştır. Her bir grup için AlSi10MnMg alaşımından 2 kg olacak şekilde Bor ilavesi yaparak kokil döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Alaşımların döküm işlemi, Naberthern marka döküm fırınında grafit pota içerisinde, sıvı metal sıcaklığı  $700^{\circ}\text{C}$  ve kokil kalıp sıcaklığı  $180^{\circ}\text{C}$  olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Döküm işleminin ardından üretilen alaşımlara spektral analiz yapılmıştır. Elde edilen 4 alaşım grubunun mikro yapı, sertlik, çekme deneyi için numuneler üretilmiştir. Döküm sonrası gerçekleştirilecek T6 ısıtma işleminde çözeltiye alma işlemi Naberthern marka fırında  $490^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat, ardından yapay yaşlandırma işlemi  $160^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat olacak şekilde gerçekleştirilmiştir.

İkinci grupta AlSi10MnMg alaşım grubu enjeksiyon döküm yöntemiyle Şekil 5.1'deki olacak şekilde numuneler elde edilmiştir. Elde edilen alaşımlar döküm işleminden hemen sonra su verme (T5 ısıtma işlemi) işlemi gerçekleştirilmiş sonrasında Naberthern marka fırında numunelere  $160^{\circ}\text{C}$ 'de 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat bekletme işlemi ile yapay yaşlandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Numunelerin spektral analizi incelenmiştir. Isıl işlem sonucu elde edilen numunelere mikro yapı incelemesi, sertlik ve çekme deneyi yapılmıştır.

### 5.3. Metalografik İnceleme

Bor ilavesi ile kokil dökümle üretilen ve sonrasında T6 ısıtma işlemi uygulanan alaşımlardan ve enjeksiyonlu döküm yöntemiyle üretilmiş sonrasında T5 ısıtma işlemi uygulanmış alaşımlardan uygun numuneler RD Grinder-Polisher marka cihazda kesilmiştir. Her bir grup için ısıtma işlemi öncesinde ve ısıtma işlemi sonrasında numune kesim işlemi gerçekleştirilmiştir. Kesilen numuneler Buehler Metaserv marka cihazda bakelite alma işlemine tabi tutulmuştur. Numuneler bakelite alındıktan sonra sırasıyla 400-600-800 ve 1200'lük zımparalarla sırasıyla zımparalanmıştır. Zımparalama işlemi bittikten sonra numune çuha üzerinde %3'lük alümina çözeltisi yardımıyla parlatma işlemi gerçekleştirilmiştir. Parlatma işlemi bittikten sonra

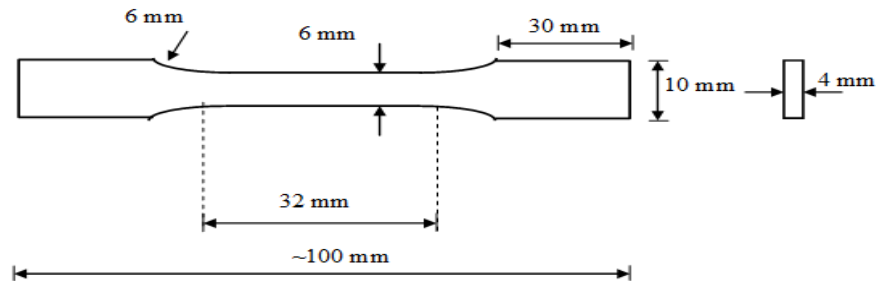
dağlama işlemi Keller çözeltisi (2ml HF + 3ml HCl + 5ml HNO<sub>3</sub> + 190ml Su) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama işlemi bittikten sonra Nikon Eclipse L150 cihazında optik mikroskop incelemeleri yapılmıştır. Alaşımın iç yapısına ve elementlerin dağılımına bakmak için Gresham Sirius marka SEM cihazı yardımı ile tane sınırı ve tane yapısı görüntüleri elde edilmiştir.

#### 5.4. Sertlik Deney

Elde edilen ısıtıl işlemli ve ısıtıl işlemsiz alaşım gruplarından uygun numuneler RD Grinder-Polisher marka cihazda kesilmiştir. Elde edilen kesme işlemi sonrası numunelere 2,5 mm bilya uç yardımıyla 62,5 kg yük uygulayarak sertlik alma işlemi Bulut Makine Brinel Sertlik Cihazı ile değerler ölçülmüştür. Sertlik alma işlemi her bir numune için beş ölçüm alınarak gerçekleştirilmiştir.

#### 5.5. Çekme Deney

Kokil döküm yöntemiyle numune elde etmek için işlenmiştir. Elde edilen alaşım grupları Şekil 5.1.'de gösterilen ölçülere göre tornalama ve frezeleme işlemi gerçekleştirilerek numuneler elde edilmiştir. İkinci grup olan enjeksiyonlu döküm işleminde numuneler Şekil 5.1'deki ölçülerde hazırlanan kalıba döküm işlemi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen çekme numuneleri ASTM'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler Kalkancı Pres Döküm A.Ş.'de çekme testine tabi tutulmuştur. Elde edilen sonuçlar sonrasında incelenerek karşılaştırılma yapılmıştır.



Şekil 5.1. Çekme deney numunesi

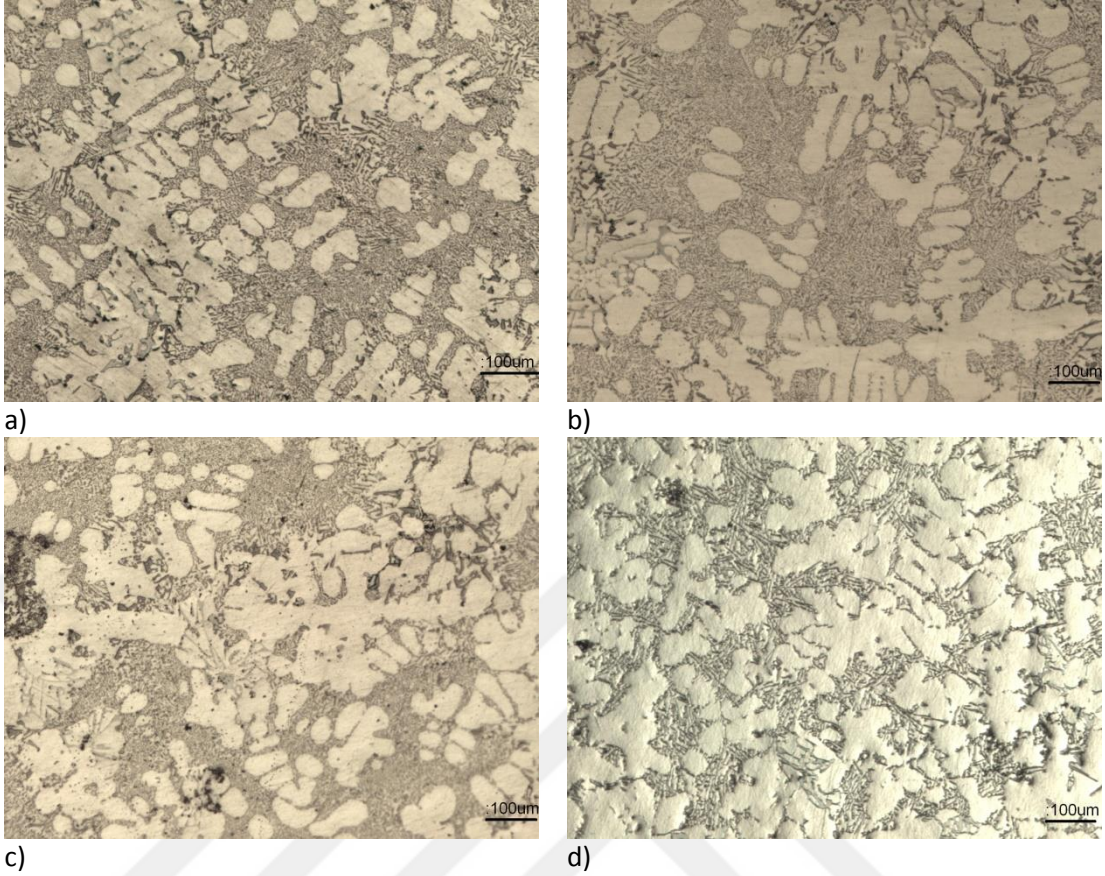
## BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 6.1. Mikro yapı Sonuçlarının İrdelenmesi

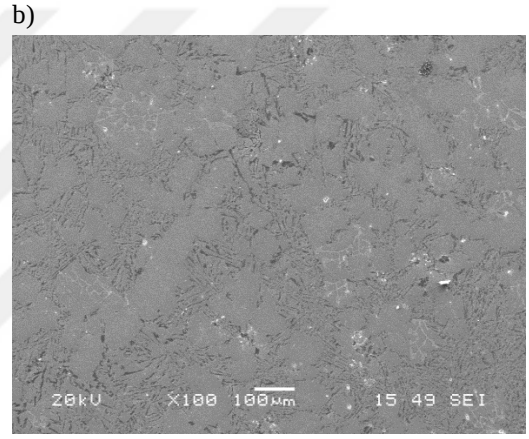
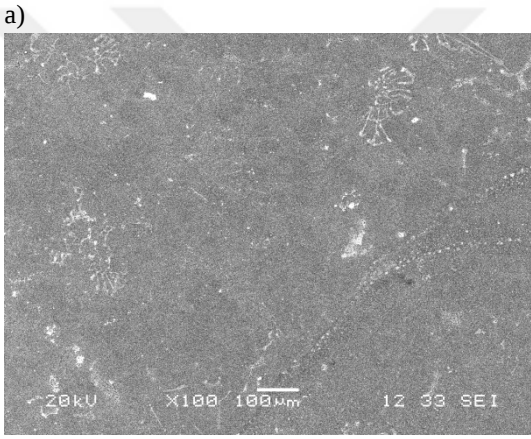
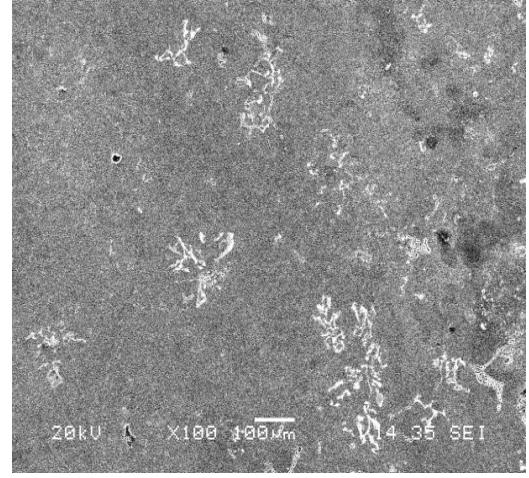
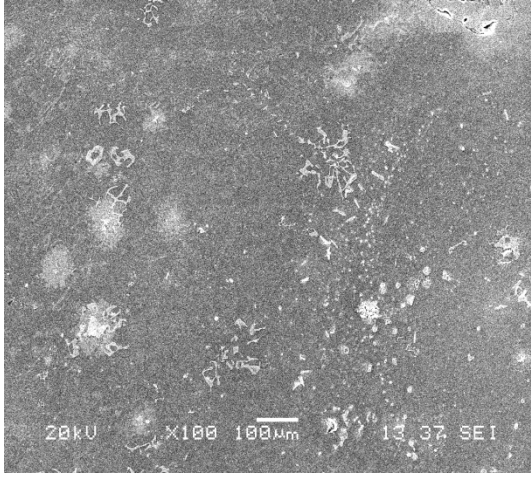
#### 6.1.1. Isıl işlemsiz mikro yapı sonuçları

Deneysel çalışmada kokil döküm ve enjeksiyonlu döküm yöntemiyle üretilen alaşımlar sonrasında ısıtıl işlem uygulanmıştır. Elde edilen alaşım gruplarının mikro yapı özellikleri incelenmiştir.

Şekil 6.1.'de çalışmada kullanılan AlSi10MnMg alaşımının Bor (B) ilaveli ve ilavesiz döküm hallerinin optik mikro yapıları gösterilmektedir. Şekil 6.1. (a)'dan alaşımın mikro yapısının  $\alpha$ -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de  $\alpha$ -Al'la birlikte Si kristalleri,  $Mg_2Si$ , AlFeSi ve  $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$  intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Bununla birlikte Şekil 6.1. (b-d)'de AlSi10MnMg alaşımına üç değişik oranda B ilavesi ile yapılan dökümler sonrası elde edilen alaşımların mikro yapı görüntüleri verilmektedir. Bor ilavesinin 0.14 olduğu (B2 Alaşım) orana kadar (Şekil 6.1. (c)) ötektik yapının döküm hali yapısındaki ötektik yapısına göre ince dağılım gösterdiği tespit edilmiştir.  $\alpha$ -Al ve ötektik yapının B3 Alaşımı 0.22 B içeren (Şekil 6.1. (d)) B oranının artırılması sonucu kaba-iri yapıya dönüştüğü görülmektedir. Şekil 6.2.'de alaşım gruplarının SEM görüntüleri verilmektedir. Şekil 6.3.'de mevcut elementlerin dağılımını gösteren alan tarama analiz sonuçları gösterilmektedir. Alan tarama sonuçlarında görüldüğü gibi Al matriks içerisinde Mg ve Si elementi döküm halinde homojen olarak dağılmış olarak bulunduğu görülmektedir. Mg elementi dışında yapı içerisinde Mn ve Fe element dağılımının olduğu fark edilmektedir.



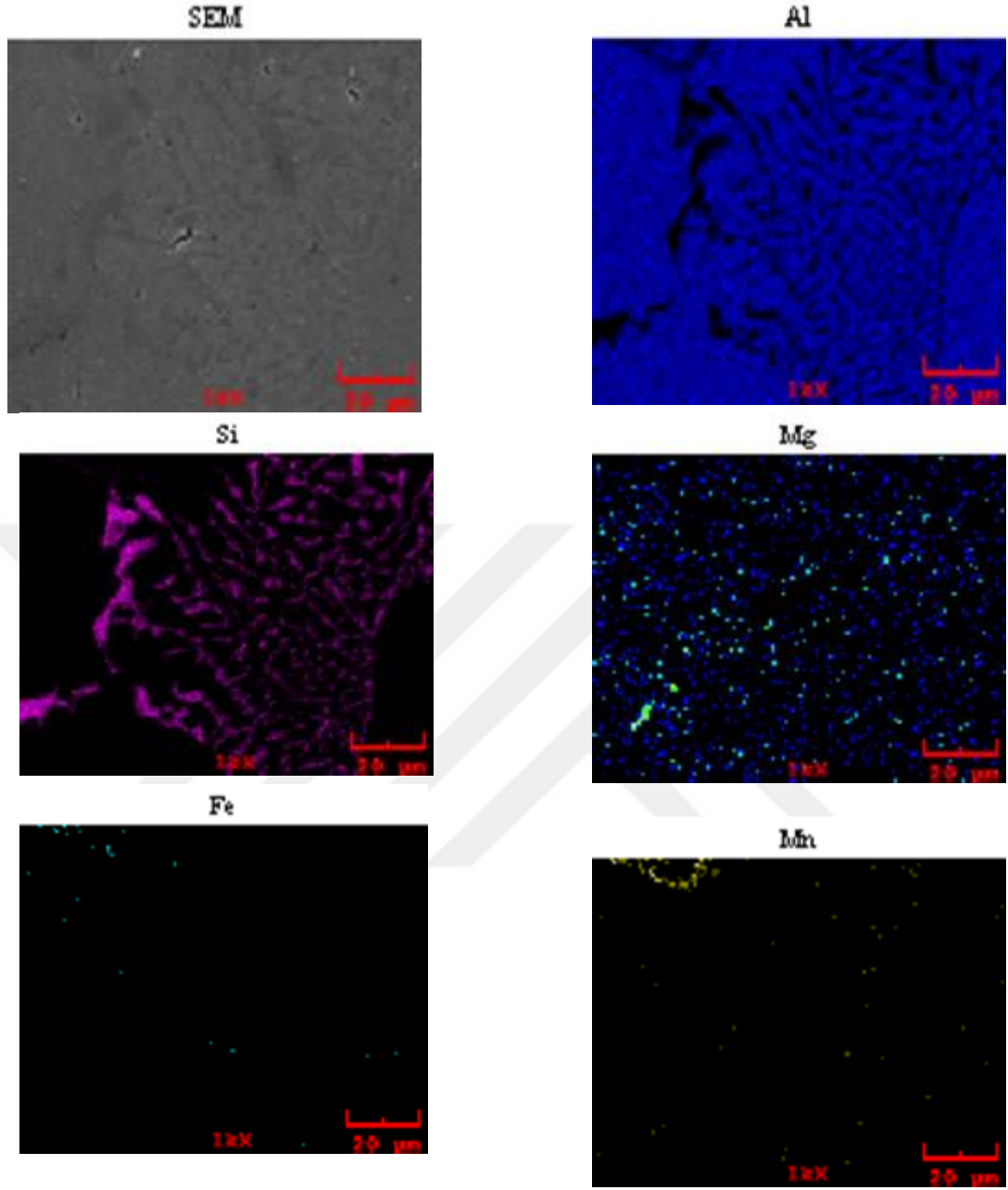
Şekil 6.1. Isıl işlem uygulanmış alaşımların mikroyapı görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3



c)

d)

Şekil 6.2. Isıl işlemsiz alaşımların SEM görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1c) alaşım B2 d)alaşım B3



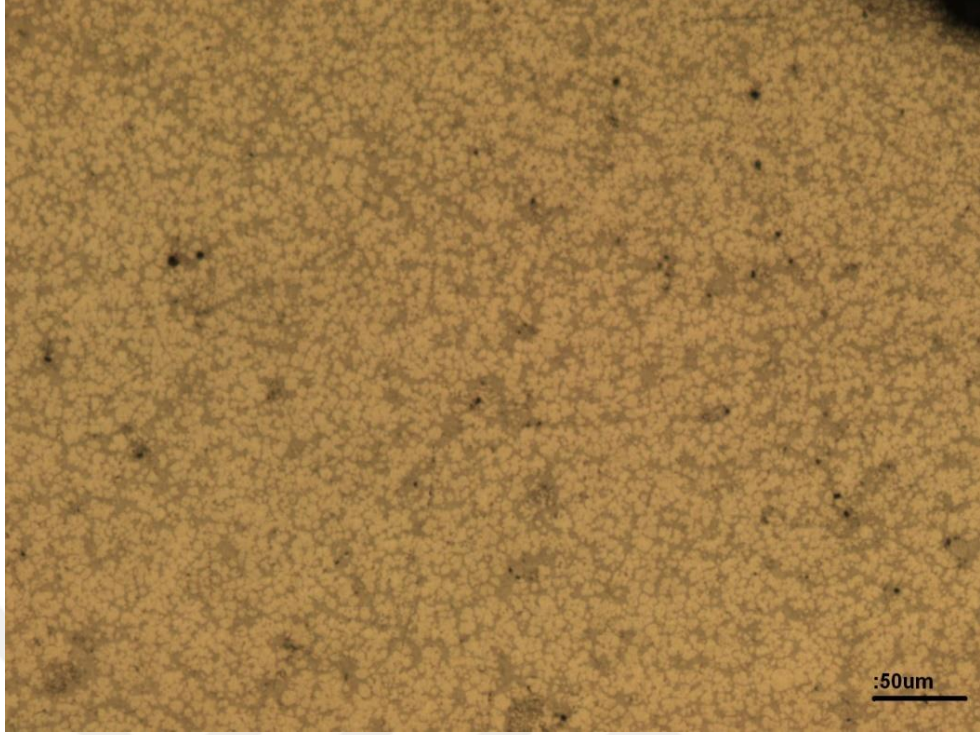
Şekil 6.3. Isıl işlem uygulanmamış alaşım A map görüntüsü

Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.'te AlSi10MnMg alaşımının enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilen alaşımların optik mikro yapı görüntüleri verilmektedir. Enjeksiyon döküm yöntemiyle elde edilen C1 ve C2 alaşım mikro yapıları (Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.)  $\alpha$ -Al dentritlerinden ve ötektik bölgeden oluşmaktadır. Ötektik bölgenin de  $\alpha$ -Al'la birlikte primer Si kristalleri,  $Mg_2Si$ ,  $AlFeSi$  ve  $Al_{15}(Fe,Mn)_3Si$  intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'de elementlerin alaşım içerisinde dağılımını gösteren alan taraması bulunmaktadır.

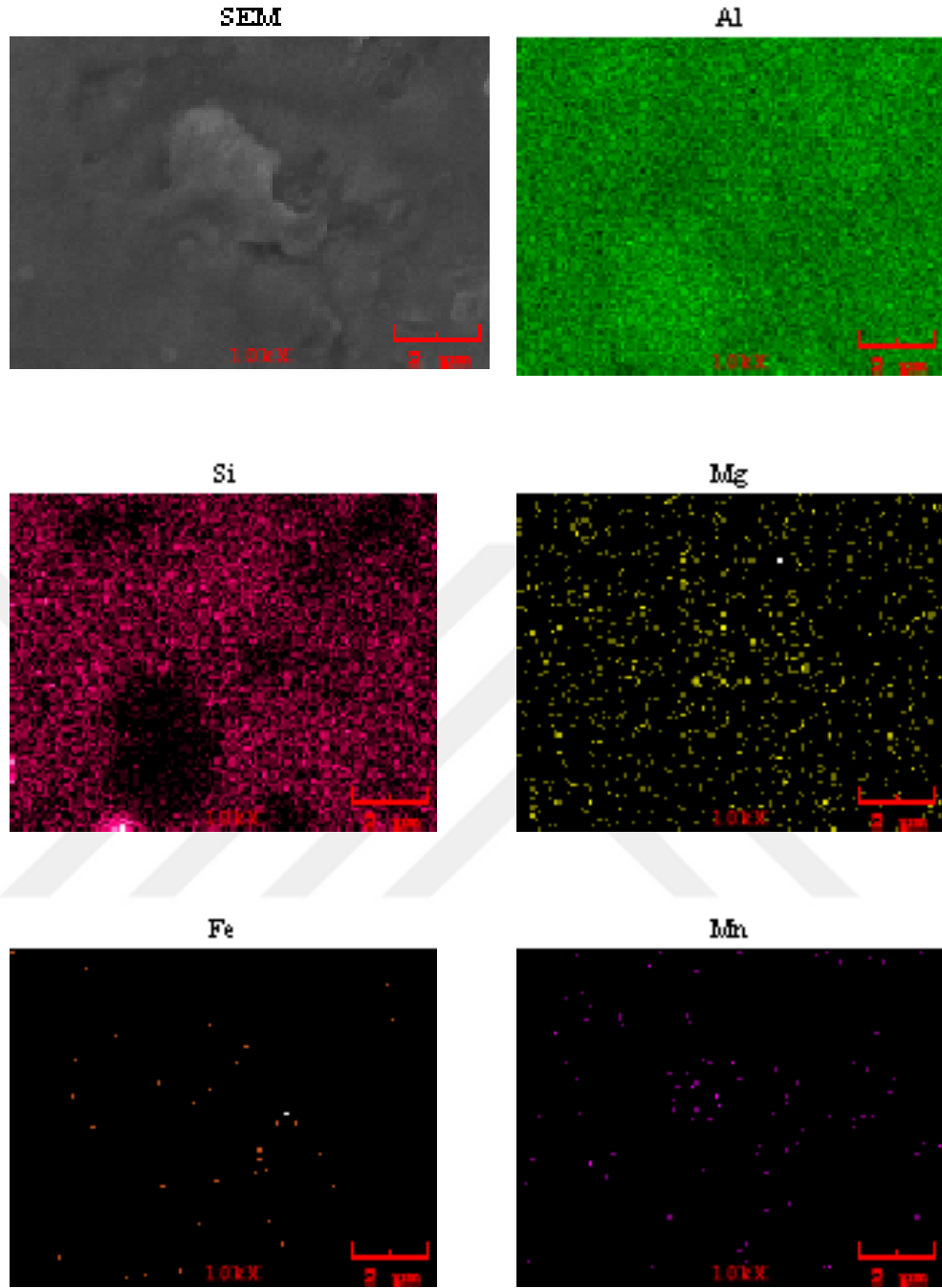
Şekil 6.5.'te ısıt işlemsiz C2 alaşımı (0,43 Mg) optik mikro yapı görüntüsü bulunmaktadır. Optik mikro yapı görüntüsüne baktığımız zaman ilave edilen magnezyum (Mg ) ilavesinin artışına bağlı olarak C1 alaşımı (0,2 Mg)'e göre (Şekil 6.4.) tane boyutunun küçüldüğü ve dentrit kolları arası mesafenin arttığı görülmektedir. Aynı zamanda AlSi10MnMg alaşımı içerisine ilave edilen Mg mikro yapı içerisinde görülen  $AlFeSi$  ve  $Al_5(Fe,Mn)_3Si$  gibi sert ve alaşım özelliklerini olumsuz etkileyen intermetaliklerin parçalandığı görülmektedir. Bu mikro yapısal değişimlerin yanında optik mikro yapı içerisinde döküm yönteminden kaynaklı olarak enjeksiyon döküm yönteminde kabul edilebilir ölçüde, siyah noktalar şeklinde görülen döküm boşlukları fak edilmektedir. Şekil 6.6. ve Şekil 6.7.'ye baktığımızda magnezyum ve silisyumun alaşım içerisinde homojen olarak dağıldığı fark edilmektedir. Mg elementinin dışında yapı içerisinde Mn ve Fe elementinin var olduğu görülmektedir.



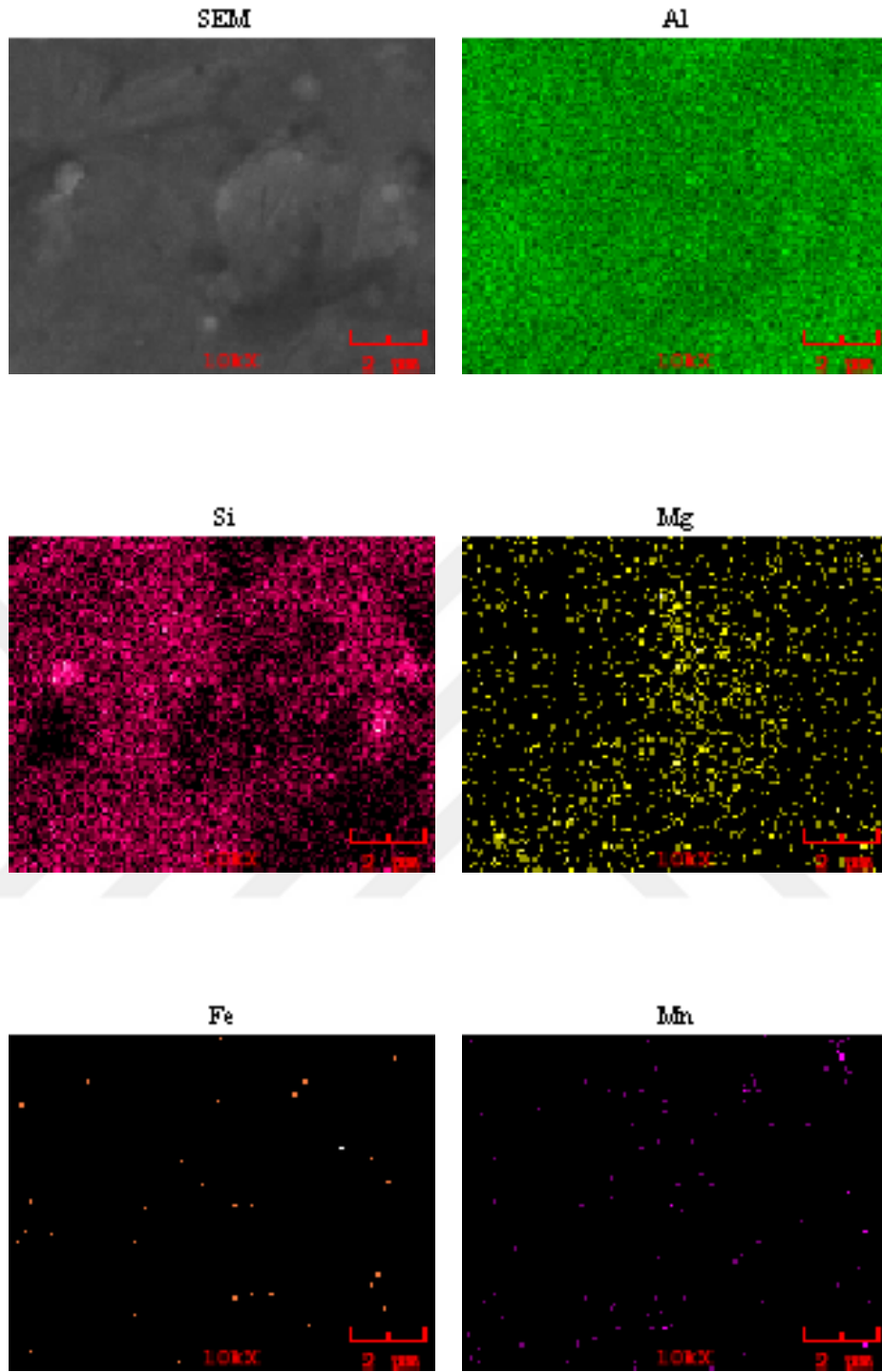
Şekil 6.4. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıt işlemsiz C1 alaşımı



Şekil 6.5. Enjeksiyon döküm yöntemiyle üretilmiş ısıl işlemsiz C2 alaşımı



Şekil 6.6. Isıl işlemsiz C1 alaşımı map görüntüsü

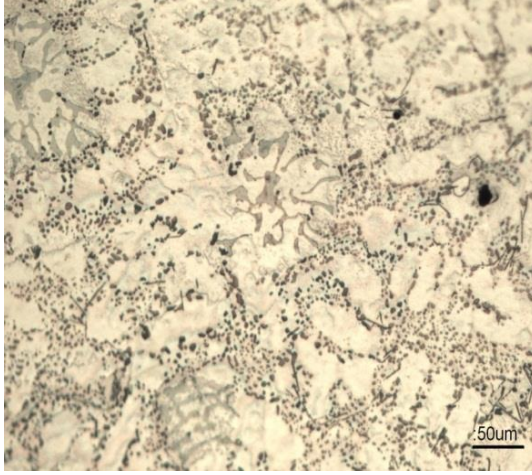


Şekil 6.7. Isıl işlemsiz C2 alaşımı map görüntüsü

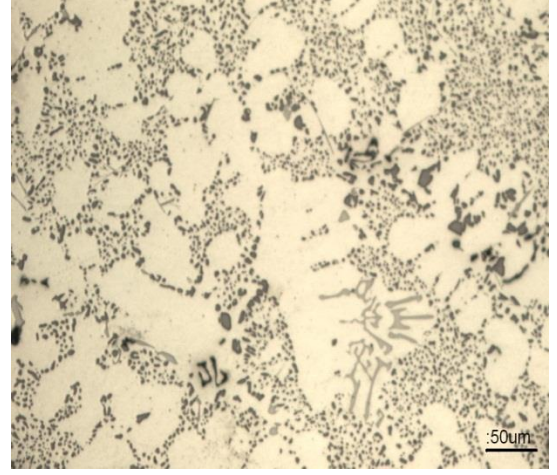
### 6.1.2. Isıl işlemli alaşımların mikro yapı sonuçları

Bor ilavesi ve kokil döküm yöntemiyle üretilen alaşımlara T6 ısıtıl işlemi uygulanmıştır. Uygulanan ısıtıl işlemde yapay yaşlandırma 160°'de 1 saat, 3 saat, 5 saat ve 8 saat yaşlandırma sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen alaşım gruplarında 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda mekanik özelliklerin (sertlik, mukavemet, deformasyon kabiliyeti vb.) değerlerinin yüksek olduğu görülmüştür. Beş saat yapay yaşlandırma altındaki sürelerde mikro yapının etkilenmediği ve sekiz saat yapay yaşlandırma sonucunda mikro yapı içerisinde kabalaşma gözlemlendiğinden beş saat ve sekiz saat yapay yaşlandırma görüntüleri verilmiştir.

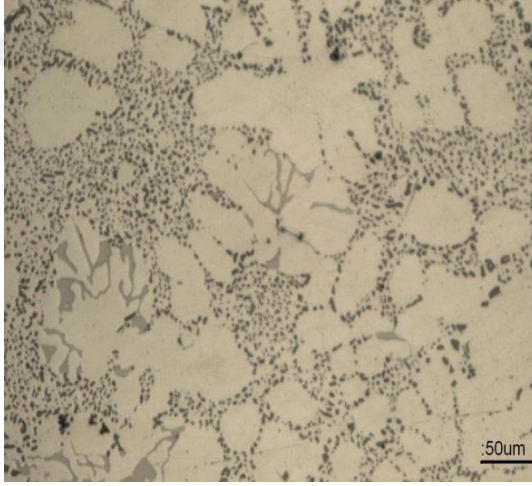
Şekil 6.8.'de B ilaveli ve ilavesiz alaşımların T6 ısıtıl işlemi 5 saat yapay yaşlandırma sonrası optik mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Şekil 6.8. (a)'da B ilavesiz alaşımın mikro yapısının  $\alpha$ -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de  $\alpha$ -Al'la birlikte Si kristalleri,  $Mg_2Si$ ,  $AlFeSi$  ve  $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$  intermetaliklerini içerdiği görülmektedir. Isıl işlem uygulanmayan B ilavesiz yapının (Şekil 6.8. (a)) fiber yapıdan oluştuğu gözlemlenirken 5 saat yapay yaşlandırma neticesinde (Şekil 6.8. (a)) dendrit yapıların küçülmesi ve intermetaliklerde şekil değişimi görülmüştür. Ayrıca, B ilavesi ve ısıtıl işlem sonrası, ötektik bölgenin özellikle 0.14 B içeren B2 alaşımda daha ince ve düzgün morfolojide oluştuğu anlaşılmaktadır. Alaşımlara uygulanan ısıtıl işlem şartlarının alaşımın ötektik bölgenin ve intermetaliklerin yapısına etki ettiği görülmektedir. Mikro yapı içerisinde  $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$  ve  $AlFeSi$ ,  $Mg_2Si$  intermetaliklerinin ısıtıl işlem sonucunda mikro yapı içerisinde çözünmeden kaldığı belirtilmektedir.[25]. Şekil 6.9'da bileşiklerin SEM görüntüsüne baktığımızda bileşiklerin alaşım içerisinde çözünmeden yapı içerisinde çözünmeden kaldığı görülmektedir. Şekil 6.10'da Alaşım A'nın alan tarama analiz sonuçlarına baktığımızda elementlerin alaşım içerisinde Mg ve Si alaşım içerisinde homojen dağıldığı ve bazı bölgelerde Mn ve Fe elementinin bulunduğu görülmektedir.



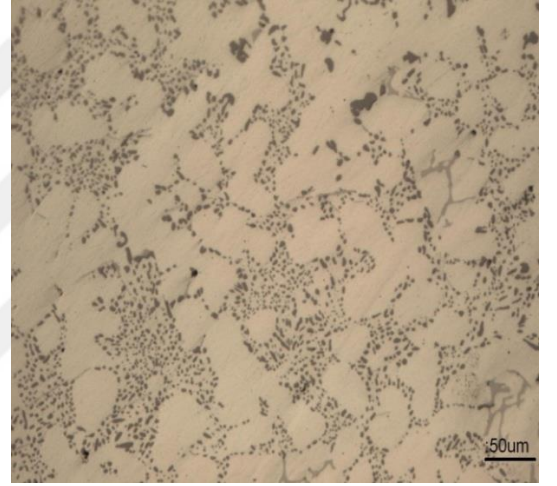
a)



b)

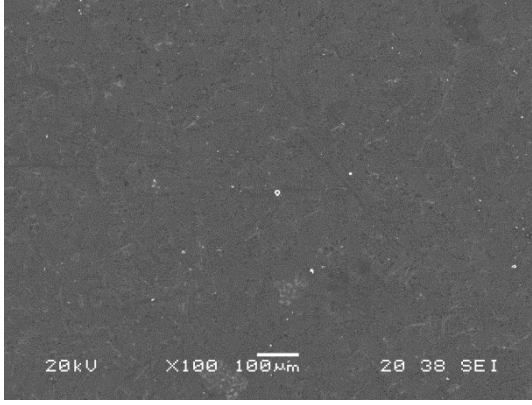


c)

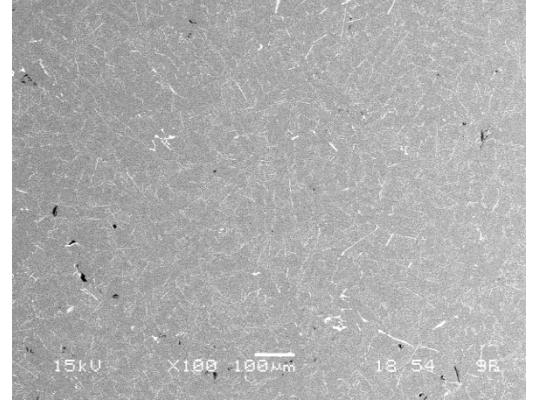


d)

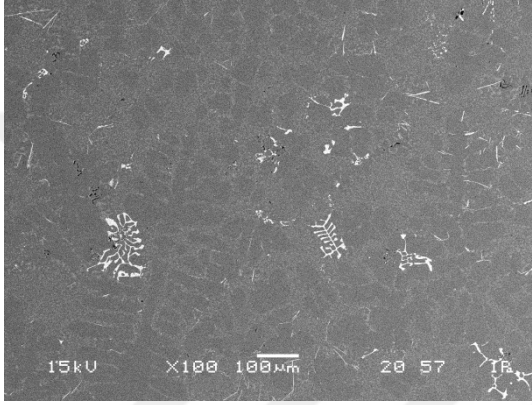
Şekil 6.8. T6 ısıt işlemleri uygulanıp 5 saat yapay yaşlandırma işlemi yapılmış numunelerin mikroyapı görüntüleri  
a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3



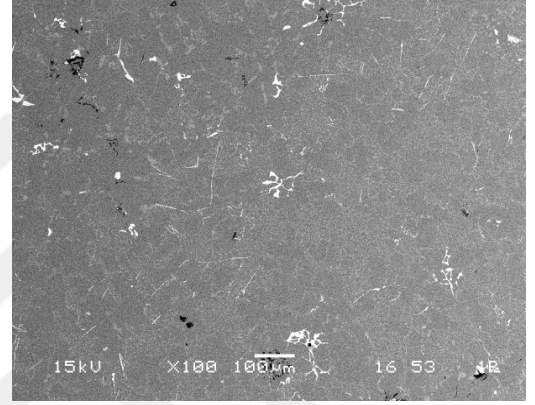
a)



b)

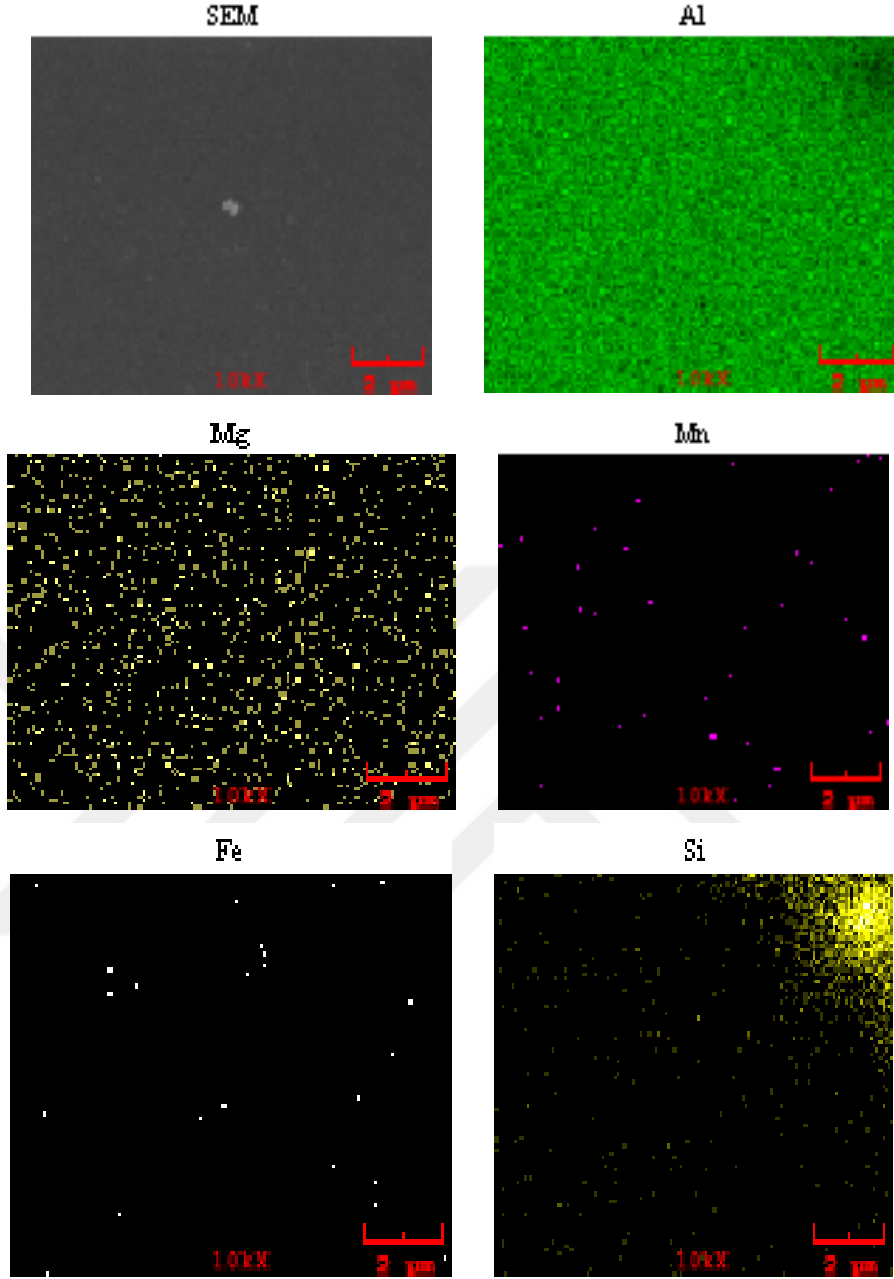


c)



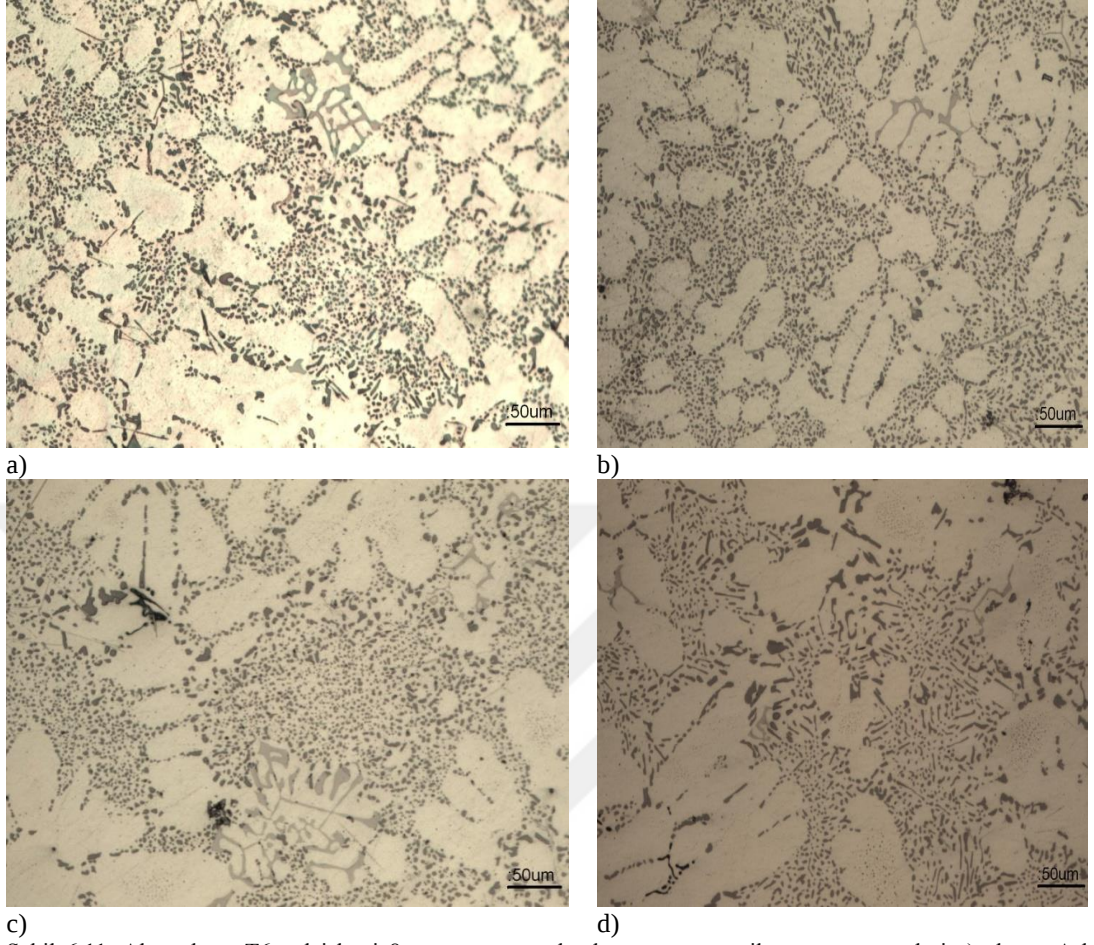
d)

Şekil 6.9. T6 ısıt işlemleri 5 saat yapay yaşlandırılmış alaşımların SEM görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3



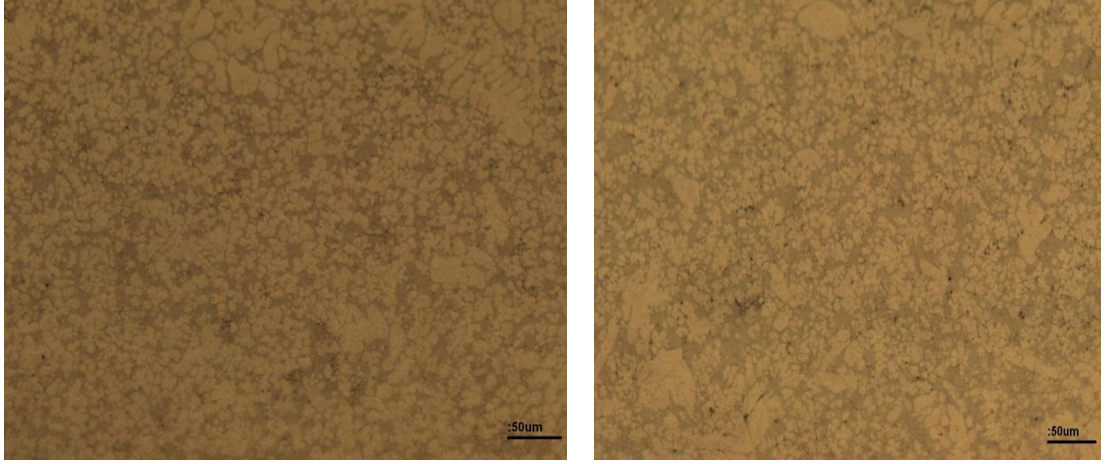
Şekil 6.10. Alaşım A T6 ısıt işlemleri 5saat yapay yaşlandırma sonucu map görüntüsü

Şekil 6.11.'de B ilaveli ve B ilavesiz alaşımların T6 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Mikro yapıda değişmeden kalan  $\text{AlFeSi}$ ,  $\text{Al}_{15}(\text{Fe}, \text{Mn})_3\text{Si}$  ve  $\text{Mg}_2\text{Si}$  intermetaliklerin yapı içerisinde değişmeden kaldığı görülmektedir. 5 saatlik ısıt işleme göre kıyaslama yapıldığında 8 saat yapay yaşlandırma sonucunda (Şekil 6.8.) intermetaliklerin boyutunun arttığı ve dentritlerin ve Si kristallerinin kabalaştığı anlaşılmaktadır.



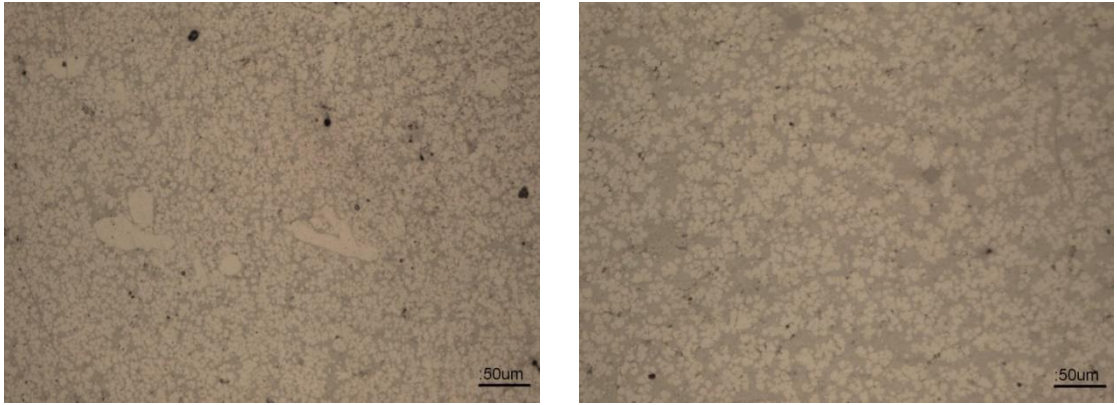
Şekil 6.11. Alaşımların T6 ısıtış işlemi 8 saat yapay yaşılandırma sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşıml A b) alaşıml B1 c) alaşıml B2 d) alaşıml B3

Şekil 6.12.'de C1 ve C2 alaşımlarının T5 ısıtış işlemi 1 saat yapay yaşılandırma sonucu elde edilen optik mikro yapı görüntüleri görölmektedir. Mikro yapının her iki alaşımda  $\alpha$ -Al dendritlerinden ve ötektik bölgeden oluştuğı anlaşılmaktadır. Ötektik bölgenin de  $\alpha$ -Al'la birlikte Si kristalleri,  $Mg_2Si$ ,  $AlFeSi$  ve  $Al_{15}(Fe, Mn)_3Si$  intermetaliklerini içerdığı görölmektedir. Mikro yapı sonuçlarına baktığımızda C1 ve C2 alaşımlarının döküm mikro yapısı esas alınarak kıyaslama yapıldığında sahip oldukları dendritler ve ötektik yapının kabalaştığı tespit edilmektedir. Bu mikro yapısal değişimin yanında optik mikro yapı içerisinde döküm yönteminden enjeksiyon döküm yönteminden kaynaklanan kabul edilebilir ölçüde, siyah noktalar şeklinde görölen döküm boşlukları fak edilmektedir.



a) Şekil 6.12. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 1 saat yapay yaşlandırma sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

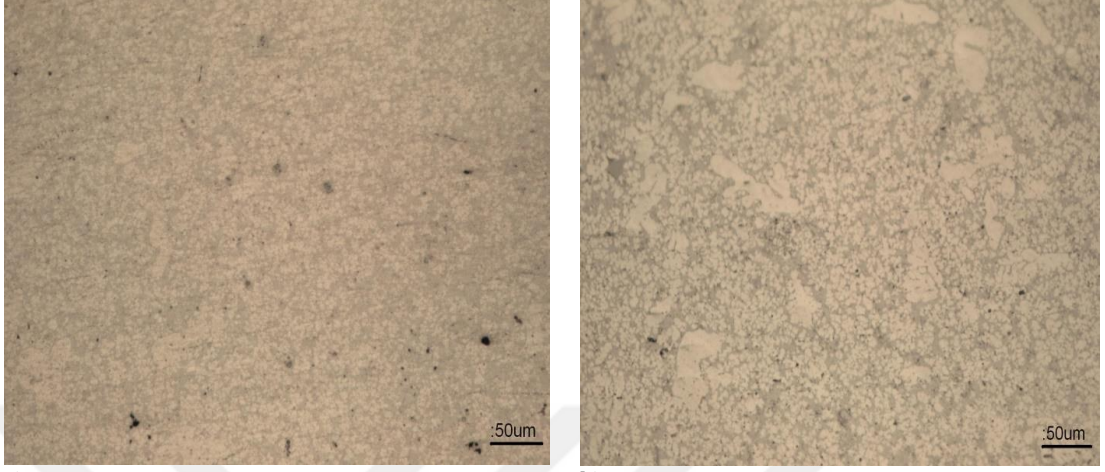
Şekil 6.13.'de alaşımların T5 ısıt işlemleri 3 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilmiş mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Mikro yapının  $\alpha$ -Al dendritlerinden ve ötektik yapıdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Ötektik yapı Si kristalleri, AlFeMnSi intermetalikleri ve  $Mg_2Si$  bileşiğinden oluşmaktadır. T5 ısıt işlemleri sonrası her iki alaşımda 1 saat yaşlandırmaya göre 3 saat yapay yaşlandırma işleminin yapılmasında mikro yapı görüntüsünde önemli sayılabilecek değişim gözlemlenmemiştir.



a) Şekil 6.13. T5 ısıt işlemleri uygulanıp 3 saat yapay yaşlandırma işlemi uygulanmış numunelerin mikroyapı görüntüleri b)

Şekil 6.14.'de T5 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu optik mikro yapı görüntüleri görülmektedir. Optik mikro yapıya baktığımızda ısıt işlem sonucu intermetaliklerin ve primer silisyum tanelerinin küresele yakın bir görüntüye sahip

olduğu, dentrit kollar arası mesafenin arttığı anlaşılmaktadır. Siyah noktalar şeklinde dökümden kaynaklanan kabul edilebilir nitelikte boşluklar fark edilmektedir.



a) Şekil 6.14. Alaşımların T5 ısıt işlemi 8 saat yaşlandırma işlemi sonrası mikroyapı görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

Şekil 6.12. Şekil 6.13. ve Şekil 6.14.'e baktığımızda T5 ısıt işleminde yaşlandırma süresinin artışına bağlı olarak dentritler arası mesafenin azaldığı, intermetalik bileşik boyutlarında artış olduğu görülmektedir. Bunun yanında magnezyum miktarının 0,4 Mg (C2 alaşım) yaşlandırma işleminde 1 saat ve 3 saat yaşlandırma sonucunda pek bir fark olmadığı 8 saat yaşlandırma sonucunda kabalaşma olduğu fark edilmektedir.

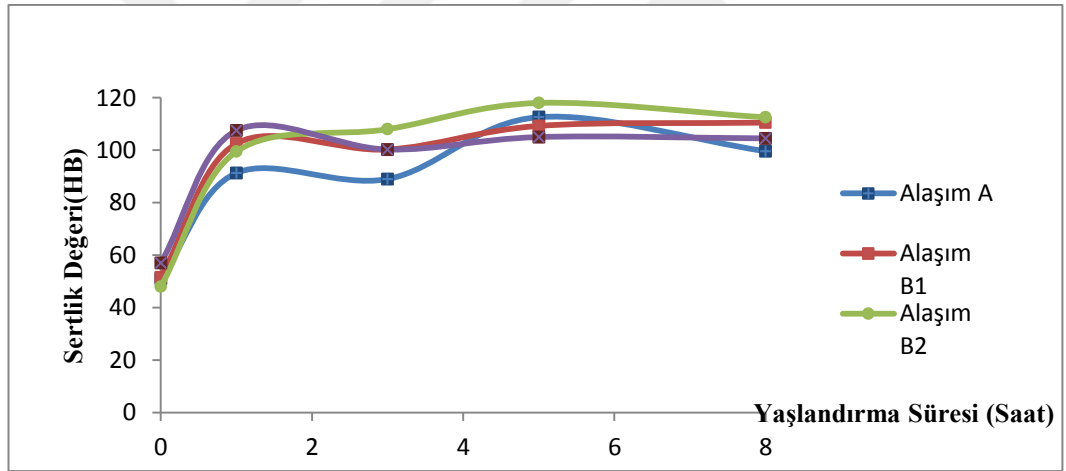
## 6.2. Sertlik Deneyi

Şekil 6.15.'de T6 ısıt işlemine uğratılan alaşımların yaşlandırma süresine bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimi göstermektedir. T6 ısıt işlem sertliğinin tüm alaşımlarda aynı olduğu, B ilavesi ile sertlik arasında etkili olmadığı görülmektedir. Isıl işlemsiz sertlik değerlerine baktığımızda Alaşım B3 (0,22 B)'de 57 HB olduğu bulunmuştur. 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda Alaşım B1 (0,07 B), Alaşım B2 (0,14 B), Alaşım B3(0,22 B) alaşımlarının sertliği Alaşım A(B ilavesiz)'e göre artış göstermiştir. 3 saat yaşlandırma sonunda Alaşım A ve Alaşım B1'in sertlikleri değişmeden kalırken, B2 alaşımının sertliğindeki artış olurken Alaşım B3 sertliğinde azalma tespit edilmiştir. 0, 15 B içeren alaşımda en yüksek değerin elde edildiği tespit edilmiştir. Tablo 6.1'de görüldüğü gibi en yüksek Mg içeriğine sahip (%0,6

Mg) alaşımlarının B2 alaşımı olduğu görülmektedir. Hem Mg içeriğinin yüksek olması nedeniyle  $Mg_2Si$  bileşik alaşım içerisinde fazla olması hem de B ilavesi ile mikro yapının modifiye olması (Şekil 6.1. (c)), 0,14B içeren alaşımların sertliğinde 5 saat sonucunda en yüksek değerlerin etkili olduğu düşünülmektedir

Tablo 6.1. T6 ısıtılmış numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri

| Yaşlandırma Süresi (Saat/Sertlik) | Alaşım A | Alaşım B1 | Alaşım B2 | Alaşım B3 |
|-----------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 0                                 | 51       | 51,5      | 48        | 57        |
| 1                                 | 91,3     | 102,5     | 99,5      | 107,5     |
| 3                                 | 89       | 100,25    | 108       | 100,25    |
| 5                                 | 112,6    | 109,25    | 118       | 105       |
| 8                                 | 99,6     | 110,5     | 112,5     | 104,5     |



Şekil 6.15. T6 ısıtılmış alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süre grafiği

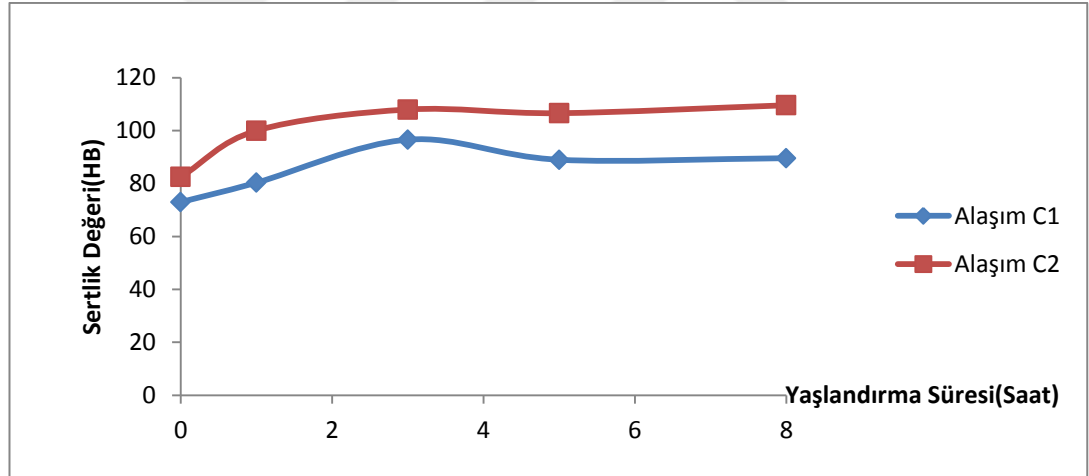
Şekil 6.16.'da farklı Mg bileşimine sahip alaşımların T5 ısıtılmış işlemi uygulanmış alaşım gruplarının zamana bağlı olarak sertlik değerlerindeki değişimi görülmektedir. Değişik oranlarda Mg içeren alaşımlara uygulanan T5 ısıtılmış işlemi sonucunda, hem ısıtılmış işlem öncesi hem T5 ısıtılmış işlem sonrası yüksek Mg içeriğine sahip C2 alaşımı (0,4 Mg) sertlik değerlerinin daha yüksek elde edilmiştir. En yüksek sertlik değerinin C2 alaşımında 8 saat yaşlandırma sonucunda 110 olduğu bulunmuştur.

T6 ısıtılmış işlemi uygulanan alaşımlarda en yüksek sertlik değerinin Alaşım B2 (%0,6 Mg) 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda 118 HB olduğu görülürken T5 ısıtılmış işlemi

uygulanan C2 alaşımında ( %0,4 Mg) 8 saat yaşlandırma sonucunda 109,6 HB olduğu görülmüştür. Hem Mg miktarının fazla olması hem de yapı içerisine B ilavesi ile modifikasyonun oluşması nedeniyle T6 ısı işlem sonucu elde edilen sertlik değerlerin T5 ısı işlem sonucu elde edilen sertlik değerlerinden fazla olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.2. T5 ısı işlemli numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-sertlik değerleri

| Yaşlandırma Süresi/Sertlik<br>(Saaat/HB) | Alaşım C1 | Alaşım C2 |
|------------------------------------------|-----------|-----------|
| 0                                        | 73        | 82,5      |
| 1                                        | 80,33     | 100       |
| 3                                        | 96,6      | 108       |
| 5                                        | 89        | 106,6     |
| 8                                        | 89,6      | 109,6     |



şekil 6.16. T5 ısı işlemli alaşım gruplarının sertlik-yaşlandırma süresi grafiği

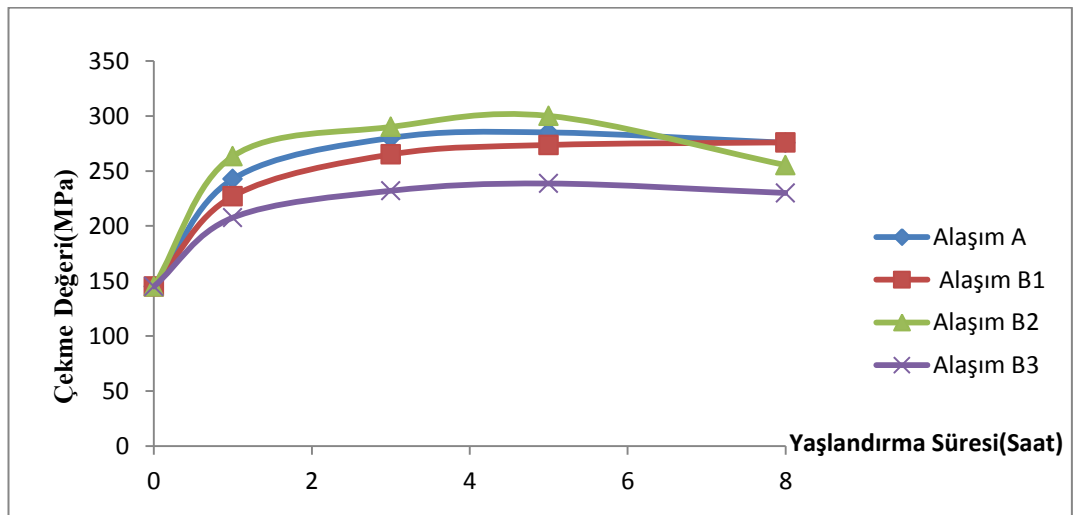
### 6.3. Çekme Deneyi

şekil 6.17.'de alaşımların yaşlanma süresine bağlı olarak çekme dayanımlarındaki değişimi göstermektedir. Isıl işlemsiz alaşımların çekme değerlerine baktığımızda B ilavesinin çekme mukavemeti değerlerinde önemli bir değişime neden olmadığı çekme mukavemet değerinin 145 MPa olduğu fark edilmektedir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla alaşımların çekme mukavemeti değerlerinde artış olduğu

görülmüştür. Genel olarak B ilavesinin ve ısıtıl işlemin Al10SiMnMg alaşımının çekme mukavemetinde çok yüksek artışlar sağlamadığı görülmektedir. B ilavesiz alaşım ile Alaşım A (Bor ilavesiz) ve Alaşım B2 (0,14B) arasında 5 saat yapay yaşlandırma sonucunda 5 birimlik bir artışın olduğu görülmüştür. Artan B miktarı ile alaşımlarının çekme mukavemetleri azalmaktadır. Alaşımın mikro yapı modifikasyonunda meydana gelen kısmi değişimlerin alaşımın çekme mukavemetine önemli derecede etkisinin olmadığı sonucuna varılmıştır.

Tablo 6.3. T6 ısıtıl işlemlili numunelerin yaşlandırma süresi(saat)-çekme değeri

| Yaşlandırma Süresi(Saat)/Çekme Değeri(MPa) | Alaşım A | Alaşım B1 | Alaşım B2 | Alaşım B3 |
|--------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 0                                          | 145      | 145       | 145       | 145       |
| 1                                          | 242,6    | 227       | 263,3     | 207,6     |
| 3                                          | 280      | 265       | 290       | 232       |
| 5                                          | 285      | 273,6     | 300       | 238,6     |
| 8                                          | 275,6    | 276       | 255,3     | 230       |

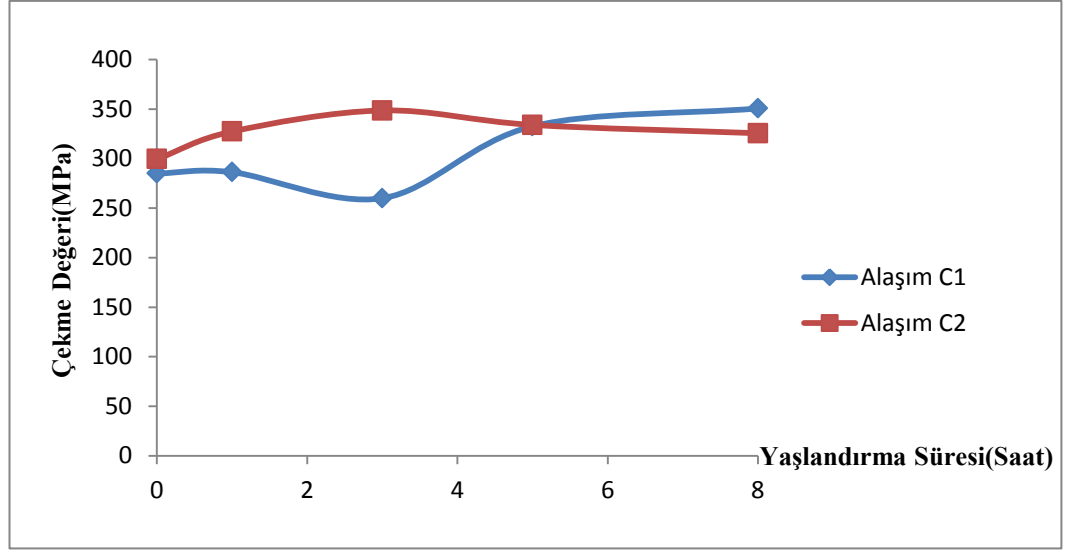


Şekil 6.17. T6 ısıtıl işlem görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği

Şekil 6.18.'de T5 ısıt işlemleri uygulanmış alaşım gruplarının çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği görülmektedir. Grafiğe bakıldığı zaman ısıt işlem uygulanmamış alaşım gruplarının çekme değerlerinde gözle görülebilir belirli bir farkın olmadığı fark edilmektedir. Çekme değerlerinin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda C1 alaşımının 286 MPa, C2 alaşımının 327 MPa değerine ulaşmaktadır. Yaşlandırma süresinin 3 saat olması ile C1 alaşımının 213 MPa değerine düştüğü C2 alaşımının 348 MPa değerine ulaştığı Tablo 6.4.'te görülmektedir. Yaşlandırma süresinin artmasıyla çekme değerlerinin sabit kaldığı grafikten anlaşılmaktadır. Bileşik grupları içerisinde Mg içeriği fazla olan bileşiğin çekme değerlerinde daha yüksek sonuçların elde edildiği görülmektedir. C2 alaşımının daha mukavemetli bir yapıya sahip olduğu, en yüksek mukavemet değerinin yaklaşık 50 birimlik bir artışla 3 saat yapay yaşlandırma sonucunda en yüksek mukavemet değerlerine ulaştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 6.4. T5 ısıt işlemleri numunelerin yaşlandırma süresi-çekme değerleri

| Yaşlandırma<br>Süresi(Saat)/Çekme<br>Değeri(MPa) | Alaşım C1 | Alaşım C2 |
|--------------------------------------------------|-----------|-----------|
| 0                                                | 285       | 299,5     |
| 1                                                | 286,3     | 327,3     |
| 3                                                | 260       | 348,6     |
| 5                                                | 332,6     | 334       |
| 8                                                | 350,6     | 325,6     |

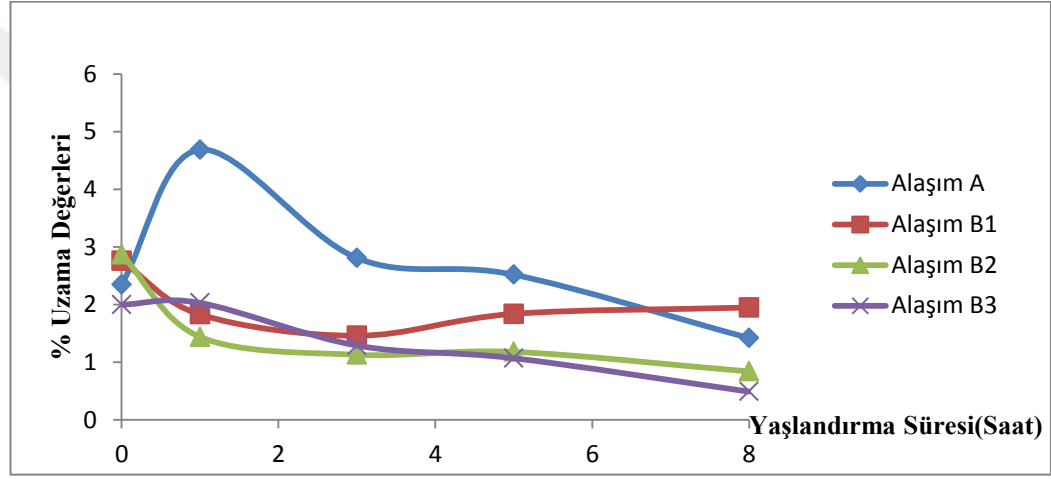


Şekil 6.18. T5 ısıt işlem görmüş alaşımların çekme değeri-yaşlandırma süresi grafiği

T6 ve T5 ısıt işlemlerin çekme sonuçlarına baktığımızda T5 ısıt işlem sonucunda elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlara bakılarak T5 ısıt işlem sonrası yapının daha mukavemetli olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.19.'da T6 ısıt işlemi görmüş numunelerin % uzama- yaşlandırma süresi grafikleri gösterilmektedir. Grafikten görüldüğü üzere ısıt işlem uygulanmamış tüm numunelerde uzama değerleri arasında önemli bir fark gözlemlenmemiştir. Bor ilavesiz (Alaşım A) % uzama değerinin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda yaklaşık %4,69 değerine sahip olduğu 3 saat yaşlandırma sonucunda %1,93 değerine ulaştığı görülmektedir. Alaşım gruplarına Alaşım A (Bor ilavesiz)'ya göre B ilavesinin artması ve yaşlandırma süresinin artışına bağlı olarak % uzama değerlerinde azalmanın olduğu görülmektedir. Alaşım gruplarında en yüksek uzama değerinin Alaşım A'nın 1 saat yaşlandırılması sonucunda % 4,69, en düşük uzama değerinin 0,22 Bor ilaveli (B3 alaşımı) 8 saat yapay yaşlandırma sonucunda %0,49 olduğu grafikten anlaşılmaktadır. % uzama değerlerindeki azalmanın mikro yapı değişimlerinde gözükken mikro yapıda meydana gelen kabalaşmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Mikro yapıda oluşan kabalaşma Bor ( B ) ilavesi ile mikro yapıda Alüminyum Bor ( AlB ) oluşturmaktadır. Oluşan AlB bileşiği yapı içerisinde çekirdekleyici görevi görerek mikro yapının kabalaşmasına neden olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6.5. T6 ısıtılmış numunelerin % uzama değeri-yaşlandırma süresi(saat) değerleri

| % Uzama Değeri/<br>Yaşlandırma Süresi(Saat) | Alaşım A | Alaşım B1 | Alaşım B2 | Alaşım B3 |
|---------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 0                                           | 2,35     | 2,76      | 2,87      | 2         |
| 1                                           | 4,69     | 1,83      | 1,44      | 2,03      |
| 3                                           | 2,81     | 1,46      | 1,13      | 1,29      |
| 5                                           | 2,52     | 1,84      | 1,18      | 1,07      |
| 8                                           | 1,42     | 1,95      | 0,84      | 0,49      |

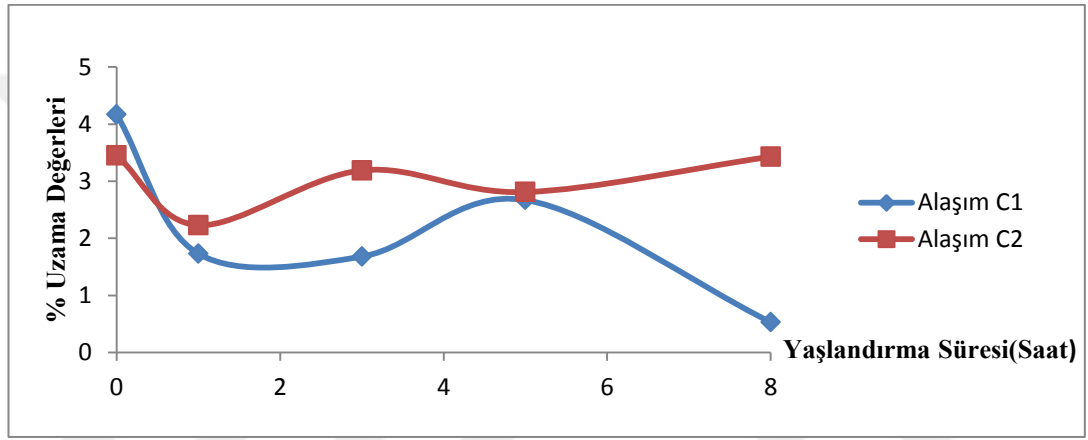


Şekil 6.19. T6 ısıtılmış alaşımların % uzama-yaşlandırma süresi grafiği

Şekil 6.20.'de T5 ısıtılmış numunelerin % uzama- yaşlandırma süresi grafiği görülmektedir. Grafikte görüldüğü üzere ısıtılmış numunelerin yüzde uzama değerleri arasında çok büyük bir fark olmadığı fark edilmektedir. Alaşım gruplarında 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda 0,2 Mg ilaveli (C 1 alaşımı) %1,73 iken 0,4 Mg ilaveli (C 2 alaşımı) %2,23 uzama değerine sahip olduğu görülmektedir. 3 saat yaşlandırma sonucunda bu değerlerin C1 alaşımında % 1,68 ve C2 alaşımında %3,19 değerine ulaştığı, 8 saat yaşlandırma sonucunda uzama değerleri arasındaki farkın yaklaşık olarak 3 birim olduğu fark edilmektedir. Alaşım gruplarında magnezyum ilavesinin artması sonucunda en yüksek uzama değerlerinin elde edildiği anlaşılmaktadır. En yüksek uzama değerlerinin C2 alaşımında elde edildiği fark edilmektedir. Mg ilavesi ile uzama değerlerindeki artışın Mg'un mikro yapıda tane inceltici olarak görev almasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 6.6. T5 ısıt işlemi uygulanmış numunelerin % uzama değeri-yaşlandırma süresi(saat)

| %Uzama<br>Değeri/Yaşlandırma Süresi<br>(Saat) | Alaşım C1 | Alaşım C2 |
|-----------------------------------------------|-----------|-----------|
| 0                                             | 4,17      | 3,45      |
| 1                                             | 1,73      | 2,23      |
| 3                                             | 1,68      | 3,19      |
| 5                                             | 2,67      | 2,81      |
| 8                                             | 0,53      | 3,43      |

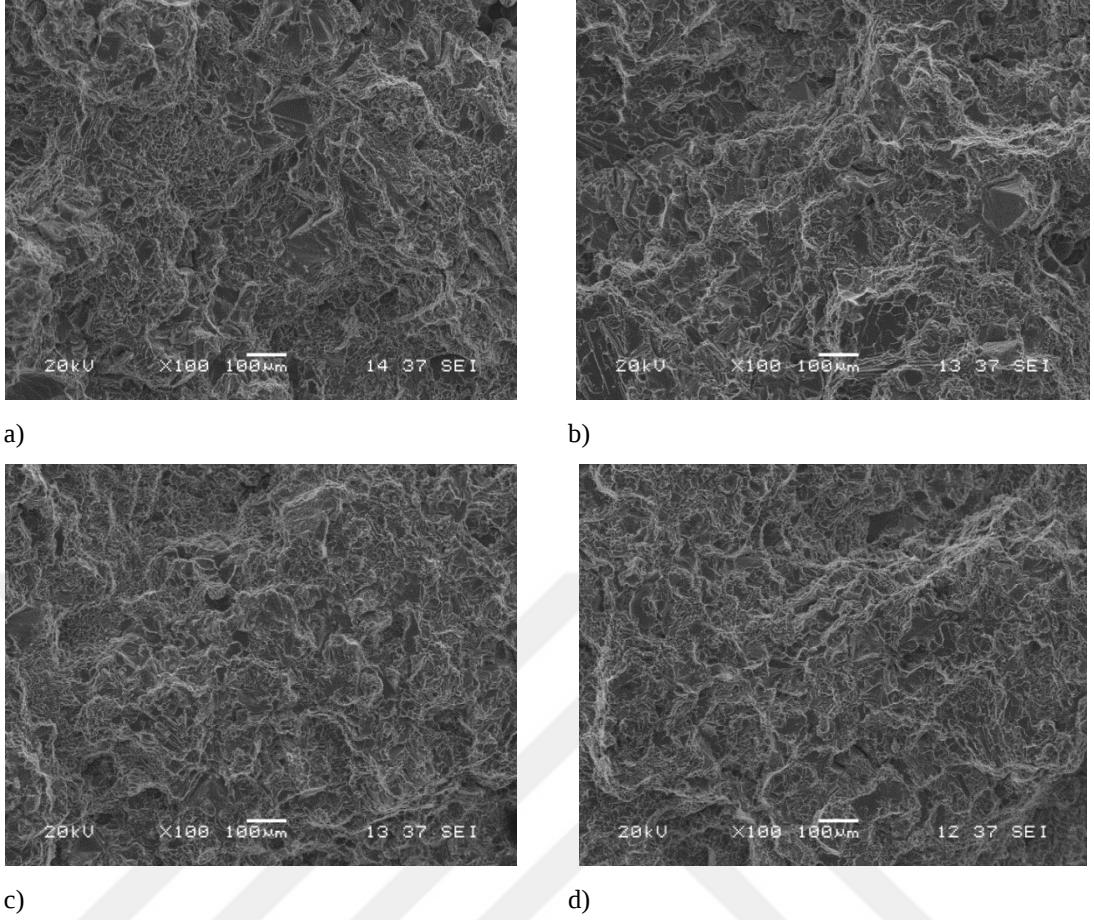


Şekil 6.20. T5 ısıt işlemi yapılmış numunelerin % uzama değeri- yaşlandırma süresi grafiği

## 6.4. Kırık Yüzey Görüntüsü

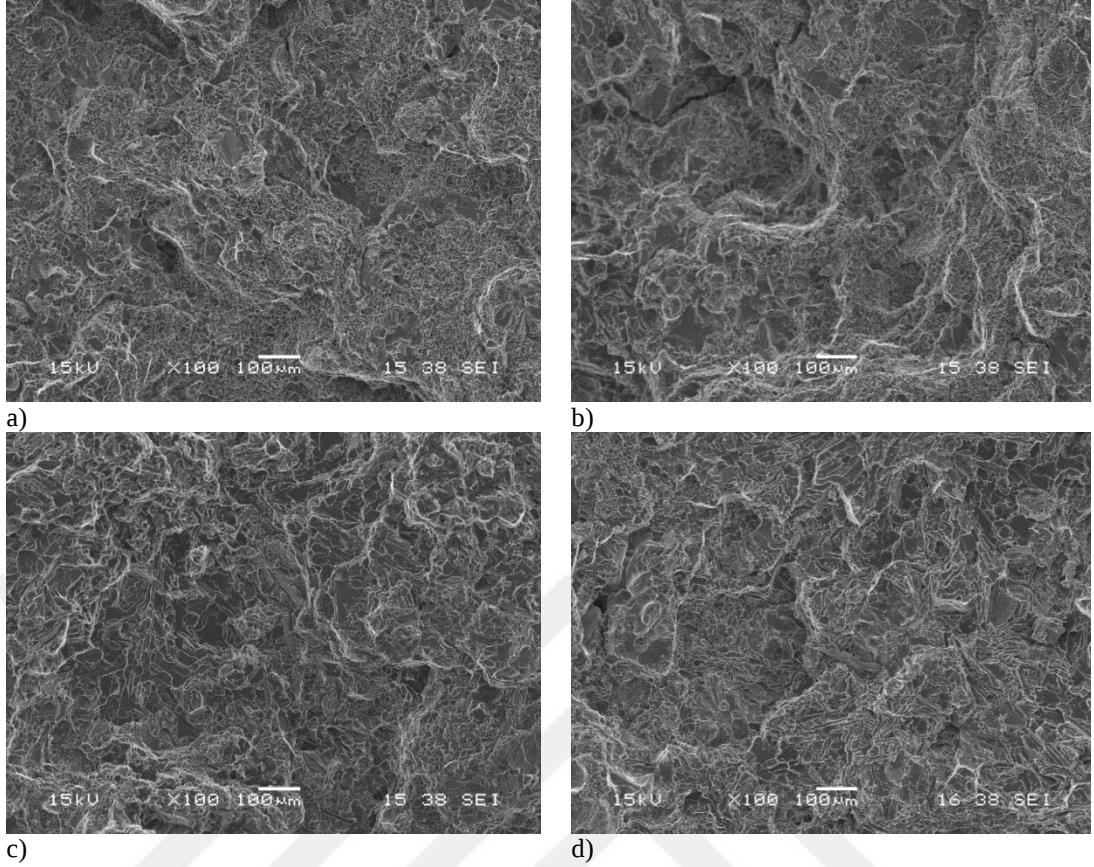
### 6.4.1. T6 ısıt işlemli numunelerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.21.'de bor ilaveli ısıt işlemsiz numunelerin çekme deney sonucunda elde edilen kırık yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Isıt işlemsiz numunelerin yarı gevrek sünek kırılmaya sahip olduğu görülmektedir. Numunelerde kopma davranışının biraz sünek davranış göstererek numunelerin koptuğu anlaşılmaktadır. Kopma işleminde numuneler arasında B1 alaşımının yüksek bir süneklik davranışı göstererek koptuğu anlaşılmaktadır. Dimpulslar arası bor ilavesiyle değişimin fazla olmadığı görülmemektedir.



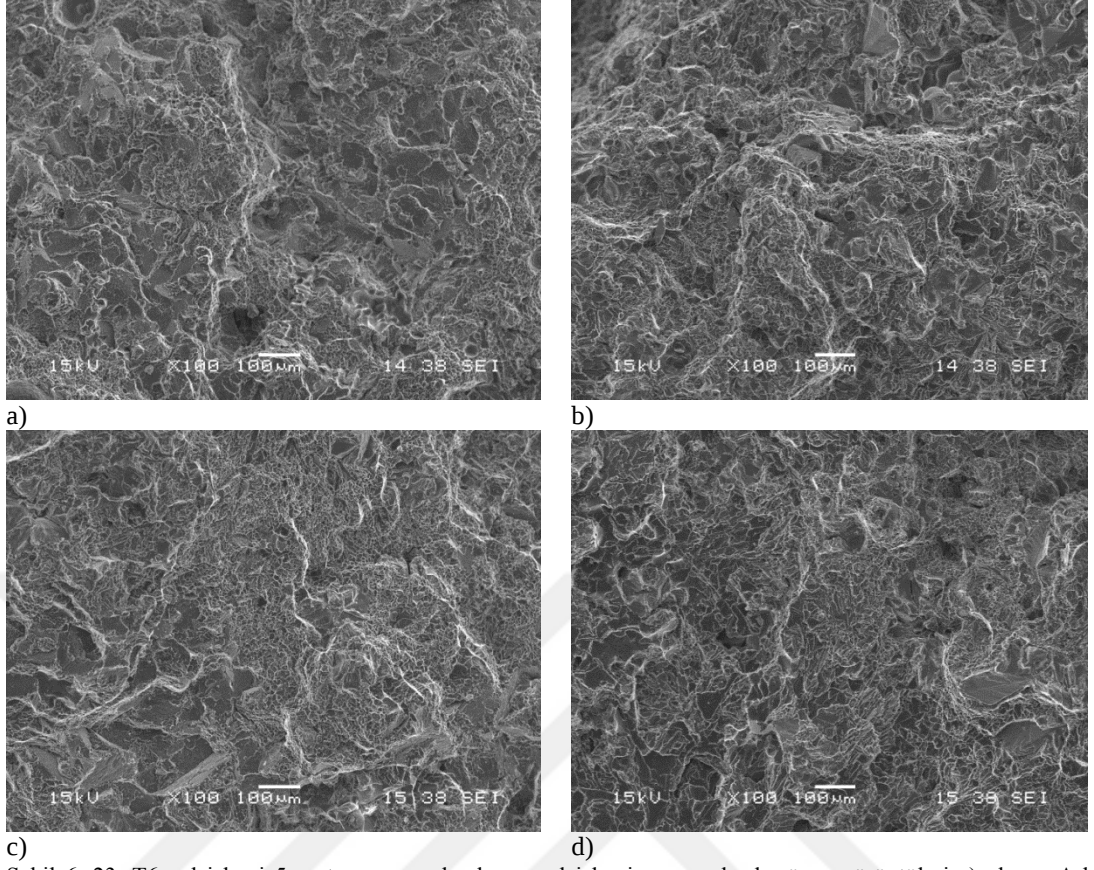
Şekil 6.21. Isıl işlemsiz numunelerin kopma yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

Şekil 6.22.'da alaşımların T6 ısıt işlemleriyle 1 saat yapay yaşlandırma sonucu çekme numunelerinin kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Bor ilavesi ile sünek kırılma gösteren numunelerin bor ilavesinin artmasıyla yarı sünek gevrek kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. 0,14 Bor ilavesinden sonra numunelerin sünek kırılmadan ziyade gevrek kırılmanın daha çok gerçekleştiği ve alaşımlardan parça kopmaları bariz bir şekilde görülmektedir.



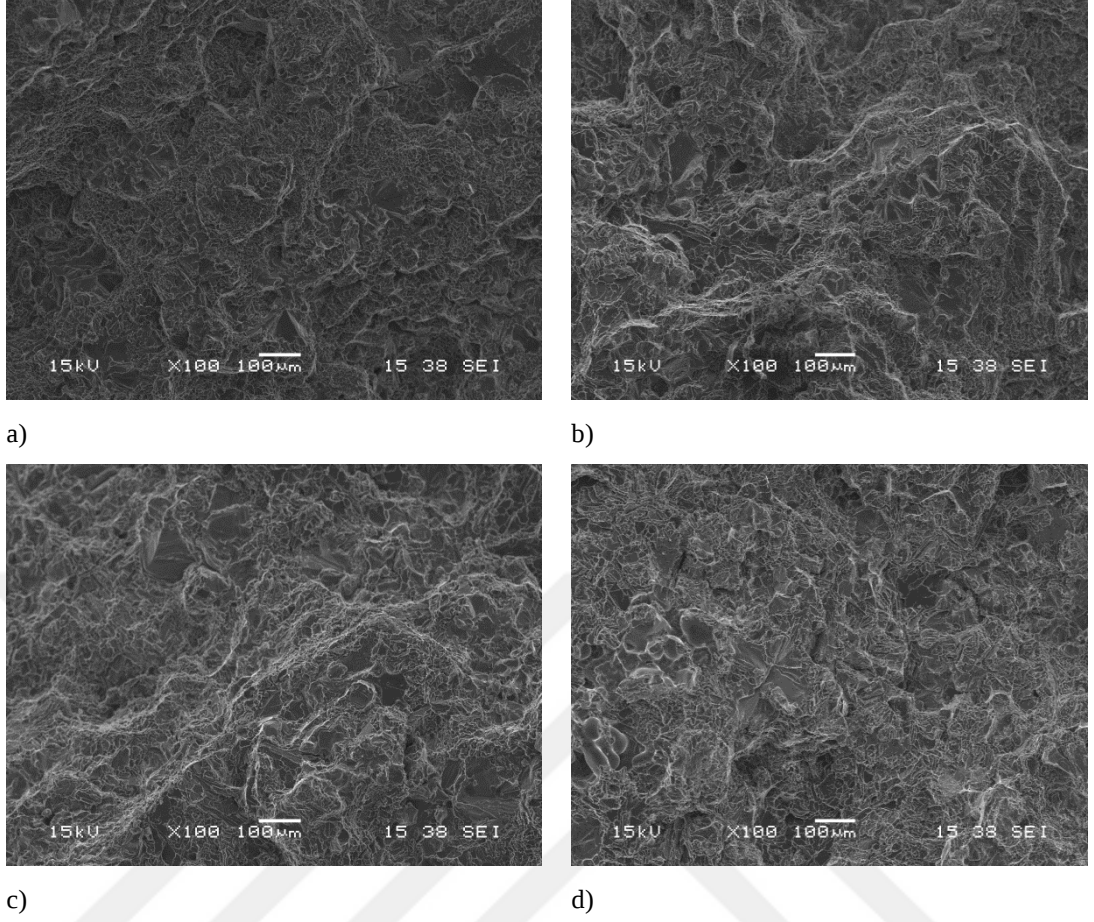
Şekil 6.22. Alaşımların T6 ısıtılmasıyla 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

Şekil 6.23.'de alaşımların T6 ısıtılması 5 saat yapay yaşlandır sonucunda çekme numunelerinin kırık yüzey görüntüleri gösterilmektedir. Alaşımların sünek gevrek kırılma gösterdiği Bor ilavesinin artışıyla gevrek kırılmanın arttığı anlaşılmaktadır. Bor ilavesi artışıyla çekme yükü altında numunelerde direkt kopmaların gerçekleştiği bariz bir şekilde görülmektedir.



Şekil 6. 23. T6 ısıt işlemi 5 saat yapay yaşlandırma ısıt işlemi sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B2 d) alaşım B3

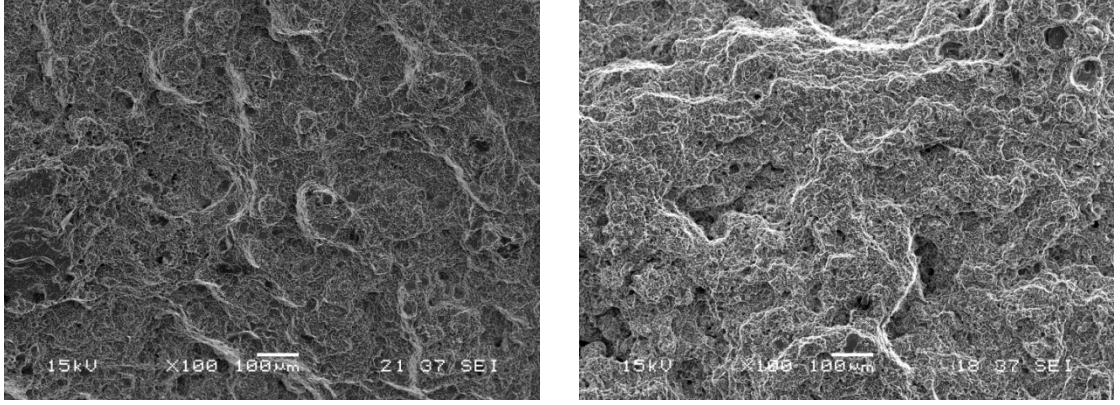
Şekil 6.24.'de Isıl işlemli numunelerin T6 ısıt işlemi 8 saat yapay yaşlandırma çekme deney numunelerinin kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımlara baktığımızda numunelerin sünek gevrek kırılma gösterdiği anlaşılmaktadır. B ilavesinin artışıyla gevrek kırılma değerlerinin arttığı anlaşılmaktadır.



Şekil 6.24. Alaşımların T6 ısıt işlemi 8 saat yapay yaşlandırma sonucu alaşımların kırık yüzey görüntüleri a) alaşım A b) alaşım B1 c) alaşım B3

#### 6.4.2. T5 ısıt işlemli numunelerin kırık yüzey görüntüleri

Şekil 6.25.'de T5 ısıt işlemi görmüş numunelerin 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımların 1 saat yapay yaşlandırma sonucunda sünek gevrek kırılma gösterdiği ve kopma davranışı gösterirken biraz sünek kırılma göstererek kırıldıkları anlaşılmaktadır. Kopma davranışında magnezyum miktarının artması sonucunda (C2 alaşımı) alaşımda sünekliliğinin artmasına neden olduğu görülmektedir.

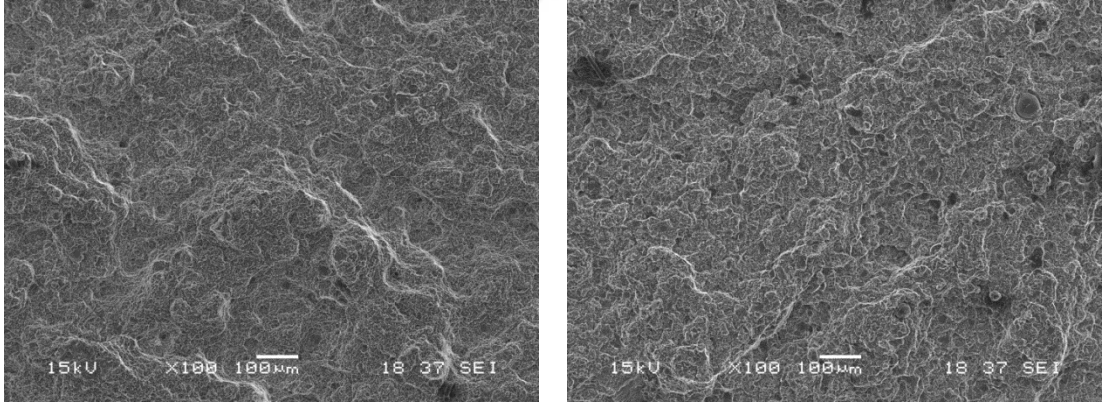


a)

b)

Şekil 6.25. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 1 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1b) alaşım C2

Şekil 6.26.'da alaşımların T5 ısıt işlemleri 5saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Kırık yüzeylere baktığımızda sünek gevrek kırılma gösterdikleri anlaşılmaktadır. Alaşımlar koparken sünek davranış göstererek koptukları görülmektedir. Süneklilik değerlerinin Şekil 5.11'de de görüldüğü gibi mikro yapı sonucunda da pek bir fark olmadığı anlaşılmaktadır.



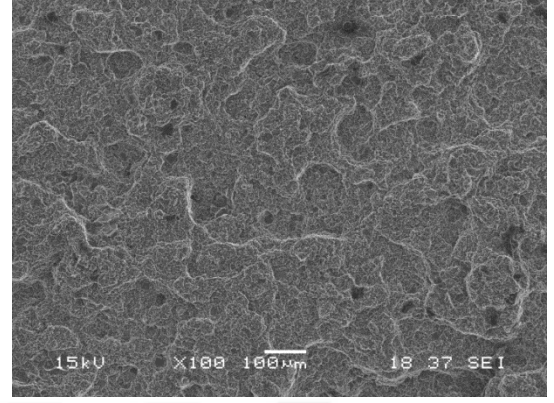
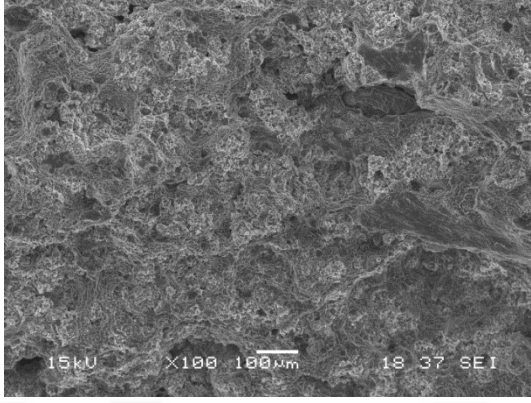
a)

b)

Şekil 6.26. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 5 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

Şekil 6.27.'de alaşımların T5 ısıt işlemleri sonrası 8 saat yapay yaşlandırma sonucu elde edilen kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Alaşımların sünek gevrek kırılma gösterdikleri anlaşılmaktadır. 0,4 Mg (C2 alaşımı) içeren alaşımda sünek kırılmanın fazla olduğu anlaşılmaktadır. Alaşımlarda gösterilen bu farkın mikro yapı analiz

sonuçlarına bakarak tane yapısındaki değişimden daha belirgin bir şekilde anlaşılabilir.



a)

b)

Şekil 6.27. Alaşımların T5 ısıt işlemleri 8 saat yapay yaşlandırma sonucu kırık yüzey görüntüleri a) alaşım C1 b) alaşım C2

## **BÖLÜM 7. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **7.1. Genel Sonuçlar**

Bu tez çalışmasında AlSi10MnMg alaşımının bor ilaveli kokil döküm yöntemi ve bor ilavesiz enjeksiyonlu döküm işlemi üzerine ısıtılmanın etkisi incelenmiştir. Otomotiv sektöründe iç sütünlarda, ön çerçeve, yan panellerde, motosiklet gövdesi, motosiklet şanzumanı, motor taşıyıcılarda kullanılan parçaların ısıtılma işlemi ve döküm işlemiminin mekanik özellikler üzerine etkisini incelemek için T6 ve T5 ısıtılma işlemi uygulanmıştır. Parçalara ısıtılma işlemi uygulanmadan önce ve ısıtılma işlemi uygulandıktan sonra optik mikroyapı incelemesine, SEM analizi, sertlik testine ve çekme deneyine tabi tutulmuştur.

Yapılan analizler sonucu ısıtılma işlemisiz AlSi10MnMg alaşımında bor ilavesiyle mikro yapıda kabalaşma olduğu görülmüştür. İncelenen diğer alaşım grubunda Mg miktarının artışına bağlı olarak mikro yapı boyutunda azalma olduğu görülmektedir. Alaşım gruplarına uygulanan ısıtılma işlemleri sonrasında T5 ısıtılma işlemi sonucu elde edilenler numunelerin çekme dayanımlarının daha yüksek değerlerde olduğu anlaşılmıştır. T5 ısıtılma işlemi ile mukavemet değeri yüksek, deformasyon kabiliyeti düşük alaşımların elde edildiği görülmüştür. Çekme deney sonrası kırık yüzey görüntülerine baktığımızda genel olarak kırılma olarak sünek gevrek kırılma olduğu fark edilmiştir.

### **7.2. Öneriler**

1. Kokil döküm yöntem yönteminde AlSi10MnMg B ilavesinin yanında Stronsiyum (Sr) element ilavesi sonrasında T6 ısıtılma işlemi yapılarak elde edilen mekanik özelliklerle karşılaştırma yapılabilir.

2. Fabrika şartlarında  $190^{\circ}$  yapılan yapay yaşlandırma sıcaklığı deneysel çalışmada uygulanabilir.

3. Bu deneysel şartlarda uygulanan yapay yaşlandırma işlemi daha yakın saatlerde uygulanarak mikro yapıdaki ve mekanik özelliklerdeki değişim iyi bir şekilde incelenebilir.



## KAYNAKLAR

- [1] Roger Rumley, Fundamentals of Aluminum Metalurgy, Woodhead Publishing, Oxford, 2011.
- [2] Mustafa Keser, AlSi12 Alaşımının Dökümünde Modifikasyon İşleminin İşlenebilirliğe Etkisi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İmalat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2015.
- [3] Matías N. Amadoa\*, Fernando Daroquib, Revision Of The Solvus Limit Of Al-Mg<sub>2</sub>Si Pseudo Binary Phase Diagram, Procedia Materials Science, 1079 – 1088.
- [4] Prof. Dr. Ahmet Aran, Döküm Teknolojisi İmal Usülleri, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2007.
- [5] Gerhard Huber, Mile B. Dijurdevic, Srecko Manasijevic (2019), Determination some thermo-physical and metallurgical properties of aluminum alloys using their known chemical composition, International Journal of Heat and Mass Transfer, 139, 548-553.
- [6] R.Martinez, I. Guillot, D. Massinon (2019), New heat treatment to improve the mechanical properties of low copper aluminum primary foundry alloy, Materials Science & Engineering A, 755, 158-165.
- [7] Prof. Aram Ersümer, Alüminyum Alaşımlarının Isıl ve Mekanik İşlemleri, Birsen Kitabevi, İstanbul, 1980.
- [8] George F., Vander Voort, Juan Asensio-Lozano (2009), The Al-Si Phase Diagram, Microsc Microana, 15, 60-61.
- [9] William D. Callister, David G. Rethwisch, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Nobelyayıncılık, Ankara, 2013.
- [10] J.Gilbert Kaufman, Introduction Aluminum And Alloys and Temper, ASM International, United State, 2000.

- [11] John Gilbert Kaufman, Elwin L. Rooy, Aluminum Alloy Casting, ASM International, United State, 2004.
- [12] M. Gupta, S. Ling (1999), Microstructure and mechanical properties of hypo/hyper-eutectic Al–Si alloys synthesized using a near-net shape forming technique, Journal of Alloys and Compounds, 287, 284–294.
- [13] Y.Zenada, S. Alkahtani ( 2013 ), Influence of the microstructure on the machinability of heat-treated Al–10.8% Si cast alloys: Role of copper-rich intermetallics, Journal of Materials Processing Technology, 213, 167-179.
- [14] Shankar, S. , Riddle, Y. W. , Makhlof, Makhlof M. (2004). Eutectic Solidification of Aluminum-Silicon Alloys. Metallurgical and Materials Transactions A-Physical Metallurgy and Materials Science, 35A(9), 3038-3043.
- [15] M. Gupta, E.J. Lavernia (1995), Effect of processing on the microstructural variation and heat-treatment response of a hypereutectic Al-Si alloy, Journal of Materials Processing Technology, 54, 261-270.
- [16] F.C. Campbell, Ed., Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, ASM International, 2008.
- [17] Eda Dağdelen, Ali Ulus (2015 ), Aluminum Sheet Production: Heat Treatment of Aluminium and Temper Designations of Aluminium Alloys, 18th International Metallurgy & Materials Congress, 682-684.
- [18] Juan Asensio-Lozano, George Vander Voort, The Al-Si Phase Diagram, Buehler, Volume 5, Issue 1.
- [19] Barrie S. Shabel, Douglas A. Granger, and William G. Truckner, Alcoa, ASM Handbook, Lubrication, and Wear Technology, Volume 18, , p 785-794.
- [20] American Foundrymens Society , Aluminum Casting Technology, Amer Foundrymens Society, USA, 1993.
- [21] Lucio F. Mondolfo, Metallography of Aluminum Alloys, Champhan Hall, London, 1943.
- [22] [https://rheinfelden-alloys.eu/wp-content/uploads/2016/01/05-HB-DG\\_Ci\\_Sf\\_Cm\\_Td\\_Ma\\_RHEINFELDEN-ALLOYS\\_2015\\_EN.pdf](https://rheinfelden-alloys.eu/wp-content/uploads/2016/01/05-HB-DG_Ci_Sf_Cm_Td_Ma_RHEINFELDEN-ALLOYS_2015_EN.pdf) Erişim Tarihi: 26.03.2019.

- [23] R. S. Rana, Rajesh Purohit, S Das ( 2012 ), Reviews on the Influences of Alloying elements on the Microstructure and Mechanical Properties of Aluminum Alloys and Aluminum Alloy Composites, International Journal of Scientific and Research Publications,2250-3153.
- [24] Burhan Oğuz, Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Oerlikon yayını, 1990.
- [25] OHN E. HATCH, Aluminum, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1984.
- [26] Dr. Arda Çetin, Alüminyum Döküm Alaşımları El Kitabı, Dökümhane ProjesikapsamındaHazırlanmıştır,2017.



## ÖZGEÇMİŞ

Ayşenur ÖZDEMİR, 03.02.1995 yılında Sakarya/Serdivan’da doğdu. İlk ve orta öğretimini Mithatpaşa Şehit Ahmet Akyol’da tamamladı. 2013 yılında Mithatpaşa Şükrü Ayna Anadolu Lisesi’nden mezun oldu ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünü kazanarak üniversite öğrenimine başladı. 2017 yılında bu bölümü bitirerek mühendis ünvanı aldı ve aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Halen bu bölümde yüksek lisans öğrenimine devam etmektedir.