

**T.C.**  
**KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**HIZLI KATILAŞTIRILMIŞ Al-7075 ALAŞIMININ MİKROYAPI  
VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Nı KATKISININ ETKİLERİ**

**ADEM KUPÇAK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MUHAMMET FATİH KILIÇASLAN**

**EYLÜL - 2020**

**KASTAMONU**

## TEZ ONAYI

**ADEM KUPÇAK** tarafından hazırlanan “**HIZLI KATILAŞTIRILMIŞ AI-7075 ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Nö KATKISININ ETKİLERİ**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **21.09.2020** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Malzeme Bilimi ve Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

|                   |                                                             |       |
|-------------------|-------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Danışman</b>   | Doç.Dr. Muhammet Fatih KILIÇASLAN<br>Kastamonu Üniversitesi | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | Dr.Öğr. Üyesi Can Doğan VURDU<br>Kastamonu Üniversitesi     | ..... |
| <b>Jüri Üyesi</b> | Prof.Dr. Ercan KARAKÖSE<br>Kayseri Üniversitesi             | ..... |

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

|                  |                       |       |
|------------------|-----------------------|-------|
| Enstitüsü Müdürü | Prof. Dr. İzzet ŞENER | ..... |
|------------------|-----------------------|-------|

## TAAHHÜTNAME

*Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.*

Adem KUPÇAK



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS TEZİ

#### HIZLI KATILAŞTIRILMIŞ Al-7075 ALAŞIMININ MİKROYAPI VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNE Nb KATKISININ ETKİLERİ

ADEM KUPÇAK

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MALZEME BİLİMİ VE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI  
DANIŞMAN:DOÇ.DR. MUHAMMED FATİH KILIÇASLAN

Bu çalışmada hızlı katılaştırılmış Al- 7075 alaşımına ağırlıkça %1 ve 2 Nb katkısı yapılmış daha sonra yapılan katkıların alaşımın mikroyapı ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. İngot alaşımlar indüksiyon ergitme yöntemi ile hazırlanmış olup homojen bir karışım elde etmek amacıyla ergitme işlemi her bir numune için en az 3 kez tekrarlanmıştır. Hızlı katılaştırma işlemleri atmosfer ortamında, 25 m/s disk devir hızında ve 20 cm çaplı prinç bir diske sahip eriyik eğirme (melt spinner) cihazı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Hızlı katılaştırma esnasında püskürtme gazı olarak argon gazı kullanılmış ve püskürtme basıncı 500 mbar olarak uygulanmıştır. Numunelerin mikroyapıları X-ışını difraktometresi (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) yardımıyla incelenmiştir. Mekanik özelliklerin tespiti ise çekme deneyleri ve mikrosertlik ölçümleri ile yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; Yapılan Nb katkıları genel olarak hem  $\alpha$ - Al fazlarının hem de ikincil fazların boyutlarının küçülmesine neden olmuştur. Benzer şekilde Nb katkısı ile birlikte hem mikrosertlik hem de elastiklik modülü değerlerinin arttığı gözlemlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELEER:**Al-7075 alaşımları, Hızlı katılaşıma, Eriyik eğirme

Eylül 2020, Sayfa,53

Bilim Dalı:91

## **ABSTRACT**

### **MSC THESIS**

#### **EFFECTS OF Nb ADDITION ON THE MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF RAPIDLY SOLIDIFIED AL-7075 ALLOY**

**ADEM KUPÇAK**

**KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE**

**DEPARTMENT OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING**

**SUPERVISOR:DOÇ.DR. MUHAMMED FATİH KILIÇASLAN**

In this study, 1 and 2% Nb additives by weight were made to the rapidly solidified Al-7075 alloy and the effects of later additives on the microstructure and mechanical properties of the alloy were investigated. Ingot alloys were prepared by induction melting method and the melting process was repeated at least 3 times for each sample in order to obtain a homogeneous mixture. Rapid solidification processes were carried out in atmospheric environment by means of a melt spinner device with a disk rotation speed of 25 m / s and a brass disk with 20 cm diameter. During the rapid solidification, argon gas was used as the spraying gas and the spray pressure was applied as 500mbar. The microstructures of the samples were examined with the help of X-ray diffractometer (XRD) and scanning electron microscope (SEM). Mechanical properties were determined by tensile tests and microhardness measurements. The results obtained showed that; The Nb additions generally caused the size of both  $\alpha$ -Al phases and secondary phases to decrease. Similarly, it was observed that both microhardness and elastic modulus values increased with Nb contribution.

**KEYWORDS:**Al-7075 Alloys, Fast solidification, Melt spinning,

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını yürüten ve tezin hazırlanma aşamasında bilgi birikimini, tecrübesini ve yardımlarını esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Muhammet Fatih KILIÇARSLAN'a teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca beni destekleyen eşime, çocuklarıma ve aileme teşekkürler.

ADEM KUPÇAK

Kastamonu, 2020



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| TEZ ONAYI .....                                                        | ii  |
| TAAHHÜTNAME .....                                                      | iii |
| ÖZET.....                                                              | iv  |
| ABSTRACT .....                                                         | v   |
| TEŞEKKÜR .....                                                         | vi  |
| İÇİNDEKİLER .....                                                      | vii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                                                  | ix  |
| TABLOLAR DİZİNİ .....                                                  | x   |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                   | xi  |
| 1. GİRİŞ.....                                                          | 1   |
| 1.1 Sertleştirme Yöntemleri .....                                      | 2   |
| 1.1.1 Tavlama .....                                                    | 2   |
| 1.1.2 Mekanik Alaşımlama .....                                         | 4   |
| 1.1.3 Hızlı Katılaşma .....                                            | 6   |
| 1.1.3.1 Eriyik eğirme tekniği.....                                     | 7   |
| 1.1.3.2 Gaz atomizasyonu .....                                         | 8   |
| 2. ALÜMİNYUM.....                                                      | 10  |
| 2.1 Alüminyum Alaşımları.....                                          | 13  |
| 2.2 Alaşım Elementleri ve Etkisi.....                                  | 15  |
| 2.2.1 Demirin Alüminyum Üzerine Etkisi .....                           | 16  |
| 2.2.2 Çinkonun Alüminyum Üzerine Etkisi .....                          | 16  |
| 2.2.3 Borun Alüminyum Üzerine Etkisi .....                             | 17  |
| 2.2.4 Geçiş Metallerinin Alüminyum Üzerine Etkisi .....                | 17  |
| 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....                                            | 18  |
| 3.1 Önceki Çalışmalara Genel Bakış.....                                | 18  |
| 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....                                           | 24  |
| 4.1 Deneysel Malzeme .....                                             | 24  |
| 4.2 Deneysel Numunenin Hazırlanması .....                              | 24  |
| 4.3 Eriyik Eğirme Yöntemiyle Alaşım Şeritlerinin Hazırlanması.....     | 25  |
| 4.4 Numunelerin Kalıplanması.....                                      | 28  |
| 4.5 Mikroyapı İncelemeleri .....                                       | 28  |
| 4.5.1 Optik mikroskopi (OM) .....                                      | 29  |
| 4.5.2 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri .....              | 29  |
| 4.5.3 X- Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi .....                        | 30  |
| 4.6 Mekanik Deneyler .....                                             | 31  |
| 4.6.1 Vickers Sertlik Ölçümleri .....                                  | 32  |
| 4.6.2 Çekme Deneyi.....                                                | 32  |
| 5. BULGULAR .....                                                      | 34  |
| 5.1 Katkı Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi ..... | 34  |
| 5.1.1 Mikro Yapı İncelemeleri.....                                     | 34  |
| 5.1.1.1 X- ışını kırılması ( XRD ) .....                               | 40  |
| 5.1.2 Sertlik Ölçümleri.....                                           | 41  |
| 5.1.3 Çekme Deneyleri .....                                            | 42  |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                             | 44  |

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>KAYNAKLAR.....</b> | <b>46</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>  | <b>53</b> |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 Tavlama işleminin şematik gösterimi .....                                                                          | 3  |
| Şekil 1.2 Tipik homojenleştirme işlemi şeması .....                                                                          | 4  |
| Şekil 1.3 Mekanik alaşımlama tekniğinin şematik diyagramı .....                                                              | 5  |
| Şekil 1.4 Eriyik eğirme yönteminin şematik diyagramı.....                                                                    | 8  |
| Şekil 1.5 Sprey oluşturma işleminin şematik diyagramı.....                                                                   | 9  |
| Şekil 4.1 Dijital ağırlık denge cihazı (VE).....                                                                             | 25 |
| Şekil 4.2 Kesme makinası (METACUT).....                                                                                      | 26 |
| Şekil 4.3 Eriyik eğirme makinası .....                                                                                       | 27 |
| Şekil 4.4 Eriyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaştırılmış şerit numuneler .....                                              | 27 |
| Şekil 4.5 Metalografik parlatma makinesi .....                                                                               | 28 |
| Şekil 4.6 Optik mikroskopi ( Leica).....                                                                                     | 29 |
| Şekil 4.7 Taramalı elektron mikroskobu (SEM ).....                                                                           | 30 |
| Şekil 4.8 XRD Cihazı ( Merlab Bruker D-8 Advance ).....                                                                      | 31 |
| Şekil 4.9 Mikro Vickers sertlik test cihazı (HMV-G21D).....                                                                  | 32 |
| Şekil 4.10 Üniversal Çekme Test Cihazı (Shimadzu Autograph AGS-X) .....                                                      | 33 |
| Şekil 5.1 Hızlı katılaştırılmış şeritlerin kesitlerinden alınan optik<br>mikrograflar; (a) AA00, (b)AA1Nb ve (c) AA2Nb ..... | 34 |
| Şekil 5.2 Şerit AA00 alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların kimyasal<br>bileşimleri.....                                | 36 |
| Şekil 5.3 Şerit AA1Nb alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların<br>kimyasal bileşimleri .....                              | 37 |
| Şekil 5.4 Şerit AA2Nb alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların<br>kimyasal bileşimleri .....                              | 38 |
| Şekil 5.5 Hızlı katılaştırılmış Al-7075 alaşımları SEM mikrografları<br>(a) AA00, (b) AA1Nb, (c)AA2Nb .....                  | 39 |
| Şekil 5.6 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri XRD kırınım desenleri.....                                                         | 40 |
| Şekil 5.7 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri çekme testi sonuç<br>grafikleri .....                                              | 42 |

## TABLÖLAR DİZİNİ

|                                                                                                            | <b><u>Sayfa</u></b> |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| Tablo 2.1 Bulunma sıklıkları ve kimyasal sembolleri verilen yeryüzünde en çok bulunan on bir element ..... | 10                  |
| Tablo 2.2 Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması .....                         | 11                  |
| Tablo 2.3 Katı alüminyum metalinin 20 °C’de yoğunluğu için gösterilen değerler .....                       | 13                  |
| Tablo 2.4 Alaşım elementlerinin katılaşma ve oda sıcaklığında çözünürlükleri.....                          | 16                  |
| Tablo 4.1 7075 Alüminyumun kimyasal bileşenleri ( % ağırlık ).....                                         | 24                  |
| Tablo 4.2 Deneysel numuneler için alaşım oranları.....                                                     | 25                  |
| Tablo 5.1 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri sertlik değerleri .....                                          | 41                  |
| Tablo 5.2 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri elastisite modülü .....                                          | 43                  |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

|                |                            |
|----------------|----------------------------|
| Å              | : Angstrom                 |
| A <sub>0</sub> | : İlk kesit alan           |
| Al             | : Alüminyum                |
| B              | : Bor                      |
| Cu             | : Bakır                    |
| E              | : Elastisite               |
| ε              | : Birim uzama              |
| Fe             | : Demir                    |
| GPa            | : Gigapaskal               |
| kN             | : Kilonevton               |
| L <sub>0</sub> | : İlk boy                  |
| ΔL             | : Boy değişim miktarı      |
| Mn             | : Mangan                   |
| MPa            | : Megapaskal               |
| Nb             | : Niyobyum                 |
| nm             | : Nanometre                |
| P              | : Uygulanan yük            |
| Si             | : Silisyum                 |
| Ti             | : Titanyum                 |
| Zn             | : Çinko                    |
| μm             | : Mikrometre               |
| σ              | : Birim alanda etkiyen yük |

### Kısaltmalar

|                |                                  |
|----------------|----------------------------------|
| BHN            | : Brinell Sertlik Numarası       |
| Hv             | : Vickers Sertlik Numarası       |
| R <sub>m</sub> | : Çekme Dayanımı                 |
| R <sub>p</sub> | : Akma Dayanımı                  |
| SEM            | : Taramalı Elektron Mikroskobu   |
| XRD            | : X Işınları Difraksiyon Analizi |

## 1. GİRİŞ

Teknolojide hep mükemmele ve daha iyiye ulaşma isteği, araştırmacıları çeşitli malzemeler üretmek ve çeşitliliği artırma yönünde sürekli olarak çalışmalar yapmak zorunda bırakmıştır. Bu aşamada maliyetin düşük olması, kolay üretilmesi ve malzeme özelliklerinin istenen şartlara uygun olması da önemlidir. Yapılan çalışmalar neticesinde malzeme yapısında bulunan bileşenler, üretim teknikleri malzemenin özelliklerini ve içyapısını etkilediği sonucu ortaya çıkmıştır. Bu nedenle daha iyi ve talep edilen özelliklere sahip malzeme üretebilmek için farklı farklı üretim yöntemleri geliştirilmiş, çeşitli elementlerin farklı oranlarda kullanılması konularında çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Karataş, 2019). Alüminyum ve alaşımları malzeme bilimi adına birçok önemli özelliği bünyesinde bulunduran mühendislik malzemelerinden biridir. Bunlardan bazıları ısı ve elektrik iletkenliğinin iyi olması, hafifliği, korozyon dayanımı, en önemli avantajlarından biri de işlenebilirliğinin çok kolay olmasıdır. Ayrıca sertliklerinin ve aşınma dirençlerinin düşük olmasına nazaran endüstride özellikle tribolojik uygulama sahalarında, demir ve çelikten sonra kullanılan malzemelerin başında gelir (Yakut, 2015).

Bütün imalat endüstrisinde olduğu üzere, havacılık sektöründe de devamlı gelişmeler yaşanmakta, araştırma – geliştirme faaliyetleri devamlı artırılmakta ve sürekli olarak bu doğrultuda hafifletme çalışması yapılmaktadır. Üretilen bu hava araçları yorulmaya ve korozyona dayanıklı, daha güvenli olması, en önemlisi fazla menzile daha az yakıtla ulaşması yapılan çalışma hedeflerinden bazılarıdır. Hafiflik sağlama yöntemleri, malzeme mukavemetinde düşüşe neden olmamalıdır (Kılıç, vd. 2018). Alüminyum alaşımlı yüksek mukavemetli malzemeler kritik kütleyi potansiyel olarak azaltabilmektedir. Araç bileşenlerinde direkler ve yan darbe kırımlarında kullanılan çelik yerlerine mukavemeti düşük AA7075 alaşımları daha ilgi çekicidir (Thomas A, vd. 2019).

Alaşımların hızlı katılaştırılması için pek çok yöntem vardır. Bu yöntemlerin hepsinde de temel hedef, çok kısa süre aralığında eriyiğin soğutulmasıdır. Hızlı katılaştırma yöntemleri genel olarak eğirme (spinning), yüzey eritme (surface melting)

ve damlacık (droplet) başlıklarında incelenebilir. Sprey depozisyonu, eriyik eğirme, gaz atomizasyonu gibi hızlı katılaştırma teknikleri ve bunların türevlerinin tümünde, alaşımların katılaşması esnasında aşırı soğuma hızları ve yüksek katılaşma yüzey hızları üretilir. Örneğin literatürde eriyik eğirme (melt spinning) işleminde  $10^7$  K/s gibi yüksek soğuma hızı, gaz atomizasyonu (gas atomization) işleminde ise  $10^5$  K/s soğuma hızına ulaşılabildiği rapor edilmektedir (Kılıçaslan, 2012). Geleneksel olarak alaşımlar üzerinde hızlı katılaştırma yöntemi, işlem gören alaşımın mekanik özelliklerinin belirgin bir şekilde iyileşmesini göstermektedir (Algerou, 2017).

Eriyik eğirme tekniği (melt spinning) hızlı katılaştırma tekniği arasında, yüksek soğuma hızı ve performans/iyi fiyat oranı sayesinde diğer tekniklerden üstündür. Örneğin sprej depozisyon ve gaz atomizasyonu teknikleri süreçleri parçalıdır. Ancak eriyik eğirme yöntemi devamlı bir yöntem olması ve bu teknikte 7 m'ye varan uzunluklarda sürekli şeritler üretmeyi mümkün kılmaktadır (Kılıçaslan, 2012).

## **1.1 Sertleştirme Yöntemleri**

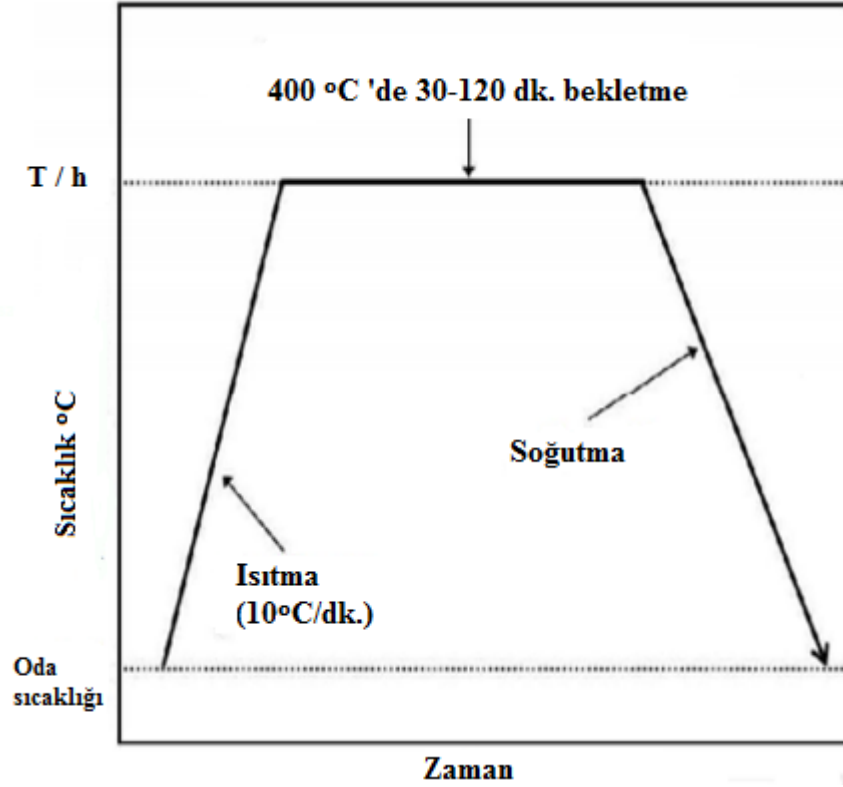
Alüminyum alaşımlarında, çökelme sertleşmesi ile mekanik davranışları iyileştirme işlemleri ısıtma işlemi yöntemi ile yapılır. Alüminyumun yapısında çökeltilerin neden olduğu, ısıtma işlemi sonrasında alaşımın kademeli bir şekilde soğutulması sırasında çökelme sertleşmesi meydana gelir. Bundan dolayı ikinci fazdaki parçalar, yer değiştirebilme hareketini engellemeleri sonucu alaşımın mukavemetini etkiler. Bir alüminyum alaşımının bileşimi, işlem yapılması için elverişli ısıtma işlem sıcaklığını belirler. Alüminyum alaşımları ısıtıldığında, yapı içerisindeki ikincil fazlar çözülme sıcaklığına ulaşması, bunun neticesinde matris içerisinde alaşım elementlerinin çözülmesi ile meydana gelen katı çözüldür. Hızlı soğutmanın (veya söndürmenin) ardından, çözüldürden alaşım elementleri çökeltilir. Oda sıcaklığında gerçekleşen (doğal yaşlandırma) bu aşama yaşlandırma olarak bilinir ve işlem hızını artırmak için alaşım yüksek sıcaklıklarda yapay olarak yaşlandırılır (Overman, 2016).

### **1.1.1 Tavlama**

Tavlama, çökelme sertleştirilmesi yöntemi ile oluşturulan alaşımlarda, oluşturulan alaşımların (1) gerilimlerini azaltma, (2) işlenebilirliğini ve yumuşaklığını artırmak,

(3) belli bir mikro yapı elde etmek için yapılır. Alaşımlar tavlama sırasında, çözünme sıcaklığının üzerindeki bir sıcaklığa kadar ısıtılır ve şekil 1.1’de gösterildiği gibi oda sıcaklığında soğumaya bırakılır. Ayrıca tavlama süresi yapıda herhangi bir dönüşüm reaksiyonuna neden olacak kadar uzun süreli olmamalıdır ( Kim, 2014).

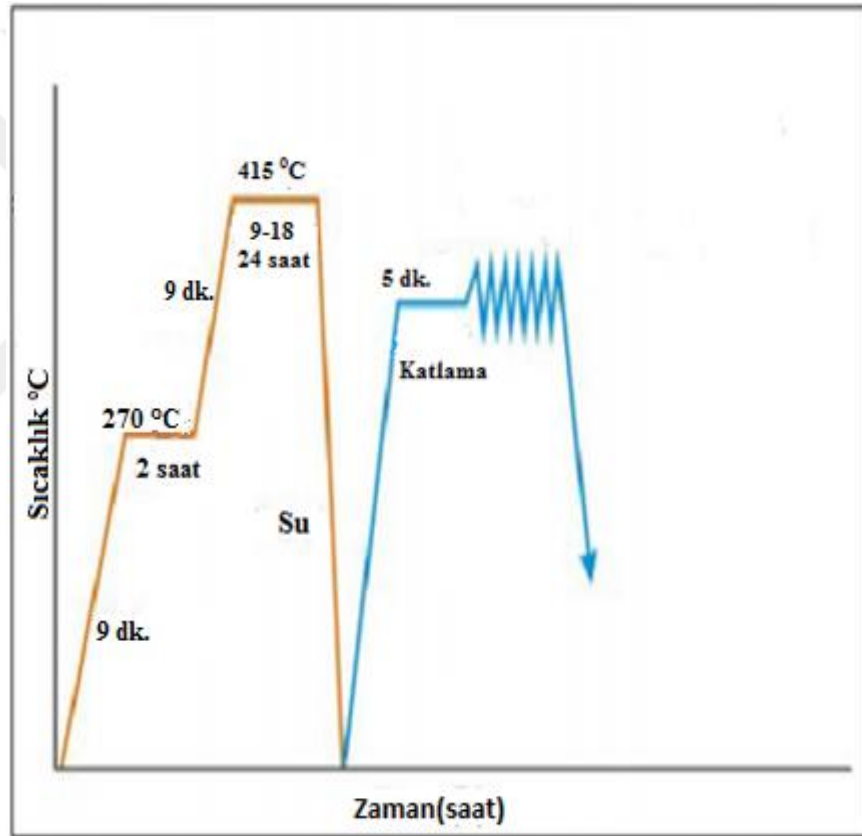
Alaşım elementleri soğutma işleminde, çözültiden çöker ve kaymaya engel olmayan, kaba fazlar oluşturur, sonucunda mukavemeti düşük alaşım meydana gelir. Alüminyum alaşımlarında mukavemet artırma yöntemlerinden biri de pekleştirme. Pekleştirme, daha mukavemetli alaşımlar oluşmasına neden olan yer değiştirme konsantrasyonunu artırır (Callister, 2007).



Şekil 1.1 Tavlama işleminin şematik gösterimi

Sertleştirme kalıplarının diğerleri; damgalama, boru bükme ve dövme içerir. Malzemede sertlik ön planda olduğunda, tane yapısı ve ikinci faz parçaları üzerlerinde mikroyapı özelliğinin önemi zirve yapar. İkinci faz parçaları: (i) döküm işlemi anında oluşan kaba çözünmez parçacıklar ya da dökme işlemi sırasında ve sonrasında oluşan doğal yollardan çözünemeyen fazların kaba tanecikleri (ii) ara homojenleştirme süresi

boyunca oluşan küçük parçacıklar, (iii) ve olgunlaştırma çökeltileri işlemi sırasındaki oluşan parçacıklardır. Dövülmüş olan mikro yapı katılaşma sırasında kalaydan dolayı büyük ölçüde ayrılır, burada çözünmüş element konsantrasyonu ve ikincil fazlar mikro yapı boyunca eşit olmayacak bir şekilde dağılır. Bir sonraki aşamada alaşım ilk olarak homojenleştirme ile işlenir. Yükseltilmiş ısıtma kademesi, çözünür fazları çözebilmek ve denge fazlarını çöktürme yöntemi ile karotun azaltılması (veya sürüklenmesi ) içindir. Şekil 1.2' de gösterilen homojenleştirme, çökelti çözünmesinde tek işlem olmasa da metalürjik işlemlerde önemlidir. Homojenleştirme sıcaklığı, fazların termodinamik olarak analizlerinden tahmin edilebilir (Ebrahimi, 2010).



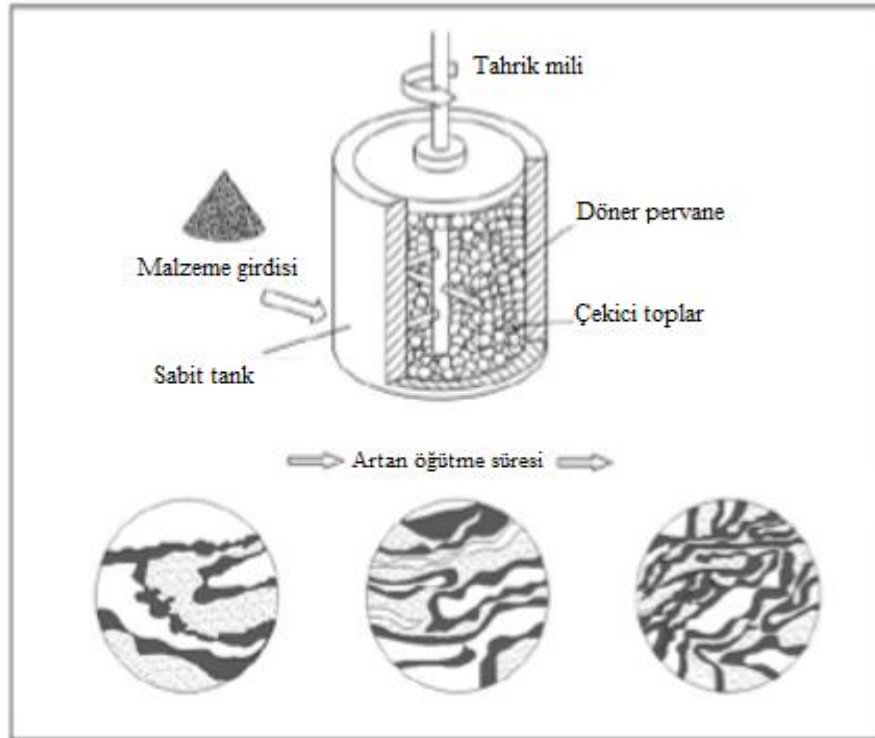
Şekil 1.2 Tipik homojenleştirme işlemi şeması

### 1.1.2 Mekanik Alaşımlama

Mekanik alaşımlama yöntemi (MA), geleneksel ergitme yöntemiyle karıştırılması zor ve karmaşık olan elementlerin alaşımlandırılmasını sağlayan bir yöntemdir. Genellikle bu yöntemde, bir araya getirilen bileşenlerle kontrollü bir mikro yapı meydana getirilmektedir. Katı çözelti iki metalden oluşursa, bu mekanik alaşımlama tekniği kullanarak elde edileceği anlamına gelir ki, bu da yüksek sıcaklıklarda çalışmanın

gerek olmadığını gösterir. Bu süreçte; yüksek enerjili bilyalı veya soğuk kaynak değirmeni, karıştırılmış element parçaları öğütme ortamının (genellikle paslanmaz çelik veya tungsten karbür bilya) içine koyulur ve istenilen uzunluk elde etmek için yüksek hızlarda çalkalanır (Cherdyntsev, 2007). Her bir bileşenin veya metalin toz parçaları ezilir ve krepe benzer şekilde düz bir şekle gelir. Farklı metallerden oluşan bu düz tanecikler katmanın yapısını oluşturur (Zhao, 2015).

Şekil 1.3’ de gösterilen bu yöntem ile tozların topaklanması elde edilene kadar işlem tekrarlanır. Bir süre öğütülen bu tozlar, bileşenlerinden oluşan çok çok ince olan bir katman yapı oluşturur ve bu katmanın kalınlığı da çok küçüktür. Bu toz parçalarının uğradığı plastik deformasyonun ağır olması sebebi ile toz parçalarına, tane sınırları, boşluklar ve yerinden çıkma gibi kristal yapı kusurları girer. Bu süreçte de bu toz parçalarının sıcaklığında da az olsa yükseliş vardır. Difüzyon, lamellerin kombine etkileri (dolayısı ile düşük difüzyon mesafelerinin), artan difüzivite (yüksek konsantrasyonlarda kristal kusurların varlığına bağlı olarak) ve tozların sıcaklığındaki hafif bir artışla kolaylaştırılır, bu da oda sıcaklığı veya oda sıcaklığına daha yakın sıcaklıklarda alaşımların üretilmesine izin verir (Khadka, 2014; Zhao, 2015; Hadeef, 2016).



Şekil 1.3 Mekanik alaşımlama tekniğinin şematik diyagramı

### 1.1.3 Hızlı Katılaşma

Hızlı katılaşma (RS) konularında son yıllarda birçok araştırma ve çalışmalar yapılmıştır. Yüksek soğutma hızlarında elde edilen düşük soğutma ölçeği, malzemenin mikro yapısının ve mekanik özelliklerinin iyileşmesini sağlar. Bu teknikte geçiş ve alaşım metallerinin çözünürlükleri, olması gereken değerlerin üzerlerine çıkar. Alüminyum alaşım elementlerinin çözünürlükleri bu denge katı içerisinde sınırlıdır; bu nedenle alüminyum alaşımları katılaşma süreçlerinde bu yöntem çok etkili olmuştur (Rajabi, 2008). Eriyik metallerin hızlı katılaştırma tekniği 1960 yılında ilk kez Duwez adlı kişi tarafından bulunduğu bilinmektedir. Alüminyum bazlı olan amorf alaşımlara ise ilk defa 1981 yılında Al-Co-B ile Al-Fe-B üçlü alaşımları dâhil edilerek işlem yapılmıştır (Warlimont, 2001).

Hızlı katılaşma yöntemi daha çok yüksek alaşımlama üretimlerinde ve nanokristal özellikle de amorf yapıdaki yarı kararlı alaşımların üretiminde tercih edilen tekniktir. Bu teknikte, sıvı halde olan eriyik soğuk bir yüzeye düşmesi neticesinde eriyik hızlı bir şekilde ısını kaybetmesi ve normal koşullar altında soğutulan soğuma gibi kristalleşme olmadan katılaşmasıdır. Yani bazı metal ve ametallerin eriyikleri, bileşimlerine bağlı olarak diğer eriyik metallerle kristalleşmesini önleyerek çok hızlı bir şekilde soğutulabilir. Böyle malzemeler metalik olsalar bile, yapıları kesinlikle camsıdır (yani kristal değildir) bundan dolayı bu metalik camlar amorf yapılı olarak bilinirler (Budhani, 1982).

Hızlı katılaşma yapmak için metal ve alaşımları için birçok yöntem vardır. Bunlar;

- Damlacık yöntemi: Eriyik metalin bu yöntemle soğuk hava ya da saf bir gaz ile katılaştırma yöntemidir.
- Jet yöntemi: Eriyik metali dönen bir soğutma çarkında sıkıştırarak, sürekli şeritler elde edecek şekilde (Eriyik eğirme yöntemi) yapılan katılaştırma tekniğidir.

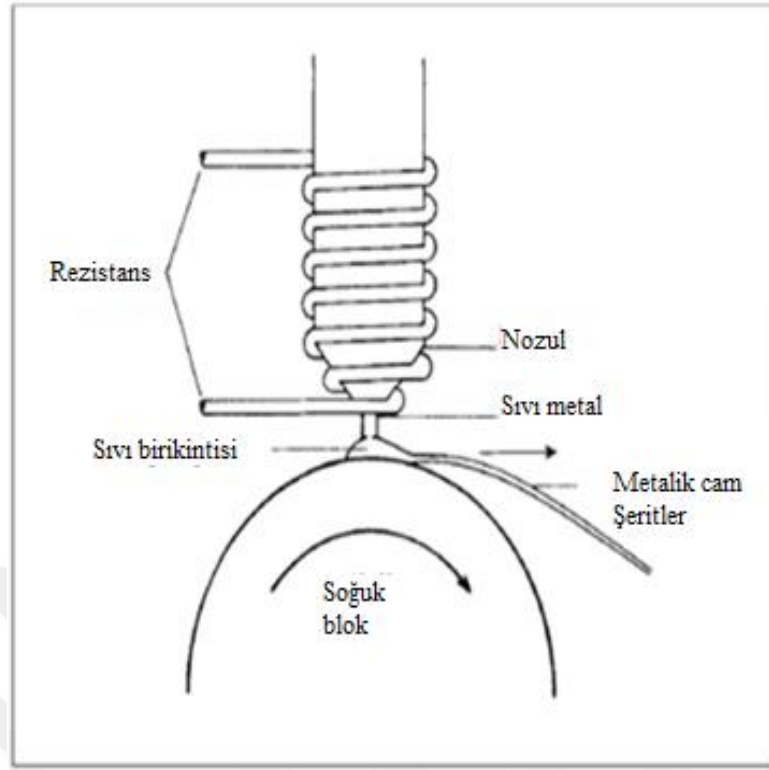
- Yüzey ergitme yöntemi: Lazer yüzey işlemi olarak da bilinen bu yöntem de dökme alaşımları yüzeyindeki hızlı erimenin, eriyik bir blok içerisine nakledilerek hızlı katılaşmanın elde edildiği yöntemdir. (Lin, 2015).

#### 1.1.3.1 Eriyik eğirme tekniği

Eriyik eğirme tekniği, günümüz şartlarında sürekli şerit malzemeler üretmek için hızlı katılaşma yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerdendir. Bu işlem eriyik durumdaki alaşımin yaklaşık olarak  $10^4$  ile  $10^8$  K/s arasındaki değişen sıcaklıkta hızlı katılaştırılmasıdır. Buradaki yüksek soğuma hızı sayesinde oluşan ani katılaşmanın etkisiyle oluşan mikro yapı; normal koşullar altında üretilen malzemedeki mikro yapıdan farklı ve mekanik özellikler açısından üstündür (Wang, 2004; Yang, 2011).

Bu yöntem su veya sıvı azot ( $L N_2$ ) ile soğutulan dönen bir tekerlek ve bu tekerleğe sıvı metalin akarak hızla soğutulmasıdır. şekil 1.4' de gösterildiği gibi dönen haldeki tekerleğe ince şerit halde eriyik püskürttürölür ve aniden soğutulur. Dolayısıyla proses, sıvı metalin mikron kalınlığındaki şeritler halinde hızlı katılaşması ile sonuçlanır. Metalik camların üretiminde yüksek soğuma oranlarına ihtiyaç olduğundan genellikle bu yöntem (RS) uygulanır. Bundan dolayı, birçok araştırma eriyik eğirme tekniğinden iki grup alüminyum alaşımlarının faydalandığını gösterir.

- i. Alüminyum bazlı Al-LM-EM ( LM: Fe, Ni, Co ve Cu gibi geçiş metali; EM: Nb, Ti, Mo, V, Cr, W gibi erken geçiş metali; Al-R ( R: nadir toprak metali; La, Yb, Pr, Ho, Ce, Dy, Tb ve Er), Al-M-R (M: Geçiş metalleri) alaşımları.
- ii. Al-Mn-Fe, Al-Si-Fe-Cr, Al-Fe-Cr, Al-Fe-Cr-Ti veya Al-Si-Fe-Ni alaşımları, gibi alüminyumun matrisinde önemli, düşük denge çözünürlüğü özelliğine sahip elementleri içeren kristalimsi Al alaşımları (Altaıb, 2019).



Şekil 1.4 Eriyik eğirme yönteminin şematik diyagramı

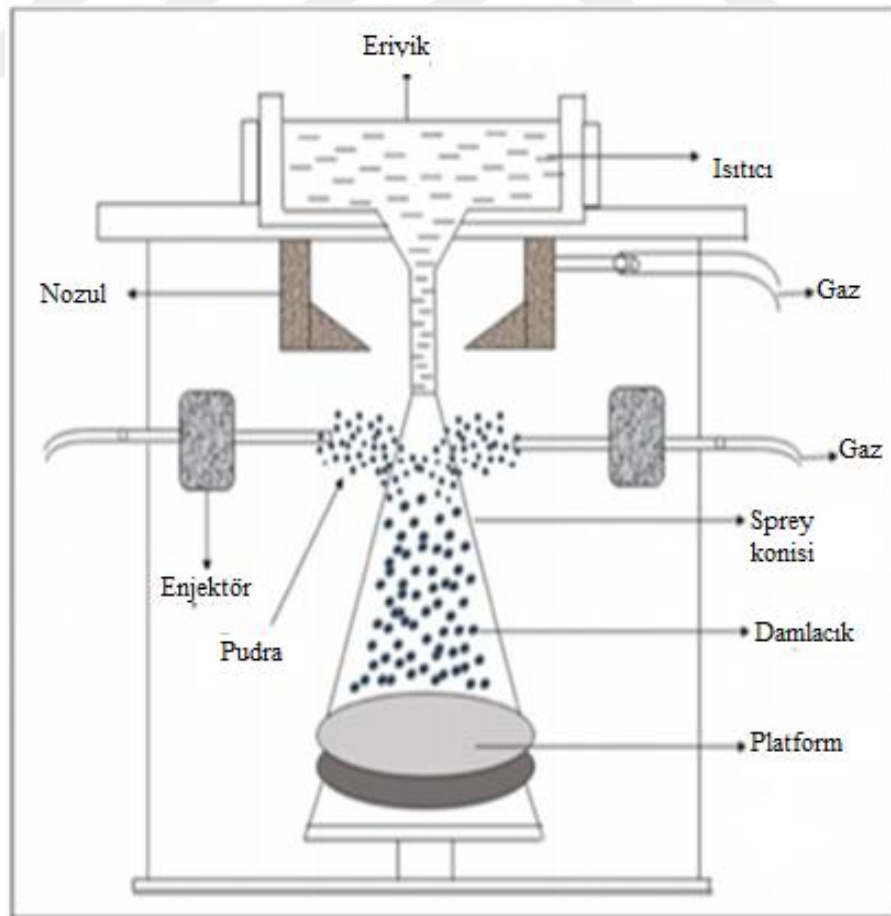
Eriyik eğirme tekniğinde soğuma hızını dolayısı ile de üretimdeki malzemenin de mikroyapısını etkileyen birden çok parametre vardır. İlk akla gelen bunlardan diskin devir hızıdır. Diskte devir hızı arttıkça soğuma hızı artmakta, bunun neticesinde ince mikroyapı elde edilmektedir. Yine üretilen şeritlerde, bakır diske temas eden yüzeyde oluşan mikro yapı ile hava yüzeyinde oluşan mikroyapı arasında farklılık görülebilmektedir. Çünkü diske temas eden yüzey de soğuma hızının daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Birçok durumda, yüksek soğuma hızı sebebi ile eriyik eğirme tekniği ile üretilen şerit malzemelerin disk yüzeylerinde özelliksiz bölge diye adlandırılan özel bir mikroyapı oluşumu görülebilir. Bu yöntemde döner disk ile nozulun yaptığı açı, eriyik metalin sıcaklığı, disk üzerine metal eriyiği enjekte etmek için kullanılan gaz basıncı gibi sonuca etki eden birçok parametre sayılabilir (Kılıçaslan, 2012).

### 1.1.3.2 Gaz atomizasyonu

Hızlı katılaşma yöntemlerinden biri olan sprey tortusu yönteminde malzemedeki yapıyı kontrol altında tutarak yeni mekanik özelliklere ve morfolojiye sahip malzeme

üretmek için kullanılır. Şekil 1.5’de bu yöntem şematik olarak gösterilmektedir. Bu işlemde küçük bir delikten erimiş alaşım malzemeleri geçmeye zorlanır. Erimiş olan alaşım yüksek hızdaki bir gaz tarafından ayrıştırılarak parçacıkların çapı en çok 200  $\mu\text{m}$  olacak şekilde bir konteyner yüzeyinde katılaştırılır. Erimiş olan metal, salınan gazdan dolayı yüksek bir kinetik enerji açığa çıkarır, bu da atomizasyona sebep olur ve oluşan bu damlalar bileşen parçacıklar etrafında toplanır. Oluşan bu damlacıkların dağılımında, gazın eriyik metale (G/M) olan oranı, eriyik haldeki metalin ısısı, çalışma parametreleri ve atomizasyon süresince tozların büyüklüğü belirleyici olmaktadır (Kalay, 2007).

Bu şekilde erimiş metalin hızlı bir şekilde soğutulması yapıda heterojen çekirdeklenme sağlanır ve yarı stabil halde katılaşma meydana gelir. Bakır, nikel, çelik ve alüminyum alaşımları gibi üstün özellikli alaşımlar sprej yöntemi ile oluşturulduktan sonra bu parçalar, istenilen malzemeyi elde etmek için dövme ve ekstrüzyon işlemleri ile birleştirilir (Cheng, 2017).



Şekil 1.5 Sprej oluşturma işleminin şematik diyagramı

## 2. ALÜMİNYUM

Periyodik sistemin üçüncü grubunda yer alan alüminyumun atom numarası 13'tür. Atom ağırlığı 26,97 atom çapı 1,43 Å ve iyon çapı 0,86 Å, dur. Elektron dizilişine bakıldığında alüminyumda diğer metaller gibi bileşik oluşturabilirler. Alüminyumun elektron dizilişine bakıldığında 1 s yörüngesinde iki elektronla doymuş K ve 2 s yörüngesinde iki elektronla doymuş L seviyesi ve atomun dış kısmında üç elektron bulunan M seviyesi ile bilinir. Alüminyum üç değerli olarak bilinmesinin sebebi elektronlardan ikisi 3s ile biri 3p yörüngesinde olmasındandır (Deschams, vd. 2001).

Tablo 2.1 Bulunma sıklıkları ve kimyasal sembolleri verilen yeryüzünde en çok bulunan on bir element (Burgucu, 2011)

| Element   | Kimyasal sembol | Doğada bulunabilirlik(%) |
|-----------|-----------------|--------------------------|
| Oksijen   | O               | 47,3                     |
| Silis     | Si              | 27,7                     |
| Bor       | B               | 19,1 (B10 izotop)        |
| Alüminyum | Al              | 7,9                      |
| Demir     | Fe              | 4,5                      |
| Kalsiyum  | Ca              | 3,5                      |
| Sodyum    | Na              | 2,5                      |
| Potasyum  | K               | 2,5                      |
| Magnezyum | Mg              | 2,2                      |
| Titanyum  | Ti              | 0,5                      |
| Niyobyum  | Nb              | 0,00017                  |

Tablo 2.2’ de Alüminyumun diğer metallerle karşılaştırılması ve karşılaştırılan bu metallerden bazı üstün özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.2 Alüminyumun bazı özelliklerinin diğer metallerle karşılaştırılması (Deschams, vd. 2001)

| ÖZELLİK                                                      | Al   | Cu   | Fe   | Zn   | Mg   |
|--------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| Özgül Ağırlık                                                | 2,70 | 8,94 | 7,87 | 4,1  | 1,74 |
| Elektrik Direnci<br>(Ohm.mm <sup>2</sup> /2).10 <sup>2</sup> | 2,66 | 1,68 | 9,8  | 6,00 | 4,46 |
| Isı İletkenliği(cal/cm <sup>2</sup> /cm °C)                  | 0,52 | 0,92 | 0,19 | 0,27 | 0,37 |
| Isıl genleşme Kat.(mm/mm<br>°C).10 <sup>-6</sup>             | 24   | 167  | 11,9 | 33   | 25,7 |
| Ergime Sıcaklığı °C                                          | 660  | 1083 | 1535 | 420  | 651  |
| Yanma Isısı(kcal/kg)                                         | 6970 | -    | 1600 | 1270 | 6000 |
| Uzama (%)                                                    | 43   | 50   | 48   | -    | -    |
| Sertlik (BHN)                                                | 19   | 25   | 70   | -    | -    |

Mühendislik alanında alüminyumun bu kadar çok kullanılmasını sağlayan en önemli özellikler;

- Demir ile kıyaslandığında, sertliği daha düşük ve neredeyse üç katı kadar hafif olmasıdır.
- Başka metaller ile alaşımlandırıldığında az miktarda yoğunluğun artmasına nazaran mekanik dayanımında iyileşmeler olduğu görülmektedir.

- iii. Berilyum ve Magnezyum kadar hafiftir fakat mekanik özellikleri çok üstün bir metaldir (Al yoğunluğu  $2,7 \text{ g/cm}^3$ ) (Tablo 2.3) (Deschams, vd. 2001).
- iv. İletkenlik bakımından ise bakırın % 60'ı kadar olsa da yoğunluğunun düşük olması sebebi ile birim kütleye düşen iletkenliğine bakıldığında bakırdan daha yüksek olduğu görülecektir. Örneğin 20 mm çapındaki bir alüminyum telin elektrik akımına göstermiş olduğu direnç, 12 mm çapındaki bir bakır telin elektrik akımına göstermiş olduğu direnç aynı olmasına karşılık, yoğunluğundan dolayı bakır alüminyumdan daha ağır olacaktır. Bu bakımdan enerji nakil hatlarında bu çok önemlidir. Alüminyumda alaşım olarak kullanılan altın, berilyum, nikel, silisyum, çinko ile demirin iletkenlik üzerinde etkisi çok önemsiz denecek kadar az iken gümüş, bakır ve magnezyumun etkisi yüksektir.
- v. Alüminyum bazı ısı kazanlarının parçalarında en çok kullanılmasının sebebi ise ısı iletkenliğinin yüksek olmasındandır. Bu oran saflık oranının artması ile daha da artar. Yani alüminyum oranı % 99,489 olan bir malzeme  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  de  $0,5 \text{ cal/cm s } ^\circ\text{C}$  iken bu oran % 99,70 alüminyum olan bir malzemede ise  $0,531 \text{ cal/cm s } ^\circ\text{C}$  dir.
- vi. En çok tercih sebeplerinden diğeri ise alüminyumun korozyona karşı göstermiş olduğu dirençtir. İnşaat, kimya ve besin sanayisinden ev araç gereçlerine kadar bu kadar geniş çaplı kullanım alanı olmasının sebebi bu özelliğindendir. Korozyona karşı bu kadar dirençli olmasının sebebi ise, çok sıkı ancak ince bir şekilde oksit tabakası ile kaplanmış olmasındandır. Laboratuvar incelemelerinde bu tabakanın çok sıkı ve gözenek olmadığı gözlemlenmiştir. Yani bu tabaka metalin oksitlenmesini engeller ve malzemeye çok direnç sağlar. Bu koruyucu oksit tabakanın kalınlığı yaklaşık olarak  $0,2 \mu$  kadardır.
- vii. Alüminyumun mekanik özellikleri arasında bir diğer özellik esnekliğidir. Bu değer çelik bir malzemenin üç katı kadardır. Yani çeliğin yerine alüminyum tercih edildiğinde bu esneklik faktörü göz önüne alınmalıdır.

- viii. Yaklaşık olarak 19-20 BHN sertlik değerine sahip olan alüminyumun, alaşımlandırılması ile bu değer 120 BHN sertlik değerlerine kadar çıkabilmektedir. 9 MPa çekme dayanımına sahip olan alüminyumun, alaşımlarında bu değer 65 MPa, hatta daha da üstlerine çıkabilir (Burgucu, 2011).

Tablo 2.3 Katı alüminyum metalinin 20 °C’de yoğunluğu için gösterilen değerler (Deschams, vd.,2001)

|                               |       |       |       |
|-------------------------------|-------|-------|-------|
| <b>Al (%)</b>                 | 99,25 | 99,40 | 99,75 |
| <b>D ( g/cm<sup>3</sup> )</b> | 2,727 | 2,706 | 2,703 |

Alüminyum alaşımları yukarıda belirtilen birçok özellikten dolayı üretimde, sanayide kullanım ve uygulama alanları bulmaktadır.

## 2.1 Alüminyum Alaşımları

Alüminyum alaşımları esas olarak dövme ve döküm alaşımları olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır. Bazı sistemlerde döküm ve dövme alaşımları için tanımlamaları farklı yapılır fakat işleri kolaylaştırmak için alaşımlar kendi içinde gruplara ayrılır (Chauhan, 2017). Daha az maliyetle nihai ürüne erişebilmek için seri üretime uygunluk açısından dökülebilir alüminyum alaşımları daha çok tercih edilmektedir. Döküm yöntemleri olarak; kompozit kalıp, kalıcı kalıp, kuru kum, alçı kalıp, yaş kum, basınçlı kalıba döküm gibi döküm yöntemleri üretimleri yapılabilmektedir. Döküm yöntemi bilindiği gibi nihai ürüne çok yakın parçaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Fakat döküm parçalarını pekleşme sertleştirilmesi ile sertlik kazandırmak mümkün değildir. Sertlik kazandırma işlemi çökelme sertleştirilmesi ile mümkündür (Davis, 2001; Katsas, 2011).

Dövülebilir alüminyum alaşımları, alaşım elementlerinin davranışları ile ilgili birçok şeyi gösterebilmesi bakımından döküm alaşımlarından farklılık gösterir. Bu grupta yer alan alüminyum alaşımları dövülme işleminden sonra oldukça ince tane yapılarına sahip olabilirler. Buda malzemenin hem çekme, hem sertlik hem de yorulma

dayanımını oldukça iyileştirmektedir. Dövme alüminyum alaşımları pekleşme ve ardından uygulanan çeşitli ısıt işlemlerle ( ısıt işlemleri gören ve pekleştirme ile sertleştirilebilen alaşımlar için geçerli ) olağan üstü bir mekanik özellik kazanmaktadır. Dövülebilir alüminyum alaşımları ısıt işlemleri görmüş ve ısıt işlemleri görmemiş olmak üzere iki ana grupta toplanmaktadır. Bunların ticari olarak satışı yapılrken ısıt işlemleri görüp görmediğı de göz önüne alınmaktadır ve buna göre sınıflandırılması (kodlanması) yapılmaktadır. Genel olarak ısıt işlemleri görmeyen dövülebilir alüminyum alaşımları şöyledir:

- 1XXX, dizisi alaşımsız alüminyum (% 99)
- 3XXX, dizisi manganezli alüminyum alaşımını
- 4XXX, dizisi silisyumlu alüminyum alaşımını
- 5XXX, dizisi magnezyumlu alüminyum alaşımını belirtir.

Yukarıda bahsedilen ve ısıt işlemleri uygulanamayan alüminyum alaşım serileri soğuk haddeme veya soğuk çekme gibi sertleştirme işlemleri yapılarak dayanımı arttırılmaktadır. Öte yandan ısıt işlemleri uygulanabilen alüminyum dövme alaşımları ise:

- 2XXX, dizisi bakırlı alüminyum alaşımını,
- 6XXX, dizisi magnezyum ve silisyumlu alüminyum alaşımını,
- 7XXX, dizisi çinkolu alüminyum alaşımını,
- 8XXX, dizisi diğer elementler ( kalay, lityum ve demir ) alüminyum alaşımını belirtir.

Isıt işlemleri uygulanabilen dövme alüminyum alaşımları, çözünbilirlikleri yüksek alaşım elementleri içerdiği için bunlara çözeltiye alma ve ardından yaşlandırma işlemi uygulanabilmektedir. Bundan dolayı bu alaşımlar, çözeltiye alma ve yaşlandırma işleminden sonra oluşan fazlarla güçlendirilebilmektedir (Gilbert, 2000; Davis, 2001). Öte yandan silisyum ve demir gibi yabancı elementler alüminyum alaşımlarında yer alabilir. Çözünürlüğün sınırlı olması sebebi ile ana malzememiz ve ilave edilen elementlerin bir araya gelmesiyle oluşan alaşım fazların morfolojisi, ısıt işlemlerden etkilenmez. Alüminyum alaşımlarında genellikle, ilave safsızlıklar ve alaşım elementlerinin oranları doğru kontrol edilmesi gerekmektedir. Aksi takdirde sertlik,

mukavemet, korozyon direnci ve şekillendirilebilirlik gibi özellikler olumsuz yönde etkilenebilir. Bunların yanında mekanik özelliklerden bazıları iyileştirilirken çoğu zaman diğer özellikleri olumsuz yönde etkilenebilmektedir. Örnek vermek gerekirse bu alaşımların esneme ve gerilme dayanımları artırılabilir ancak bu durumda uzama direncinin azalması malzemede kırılma sertliği ile sonuçlanabilir. Bu durumda alaşımların bu özelliklerini iyileştirebilmek için çeşitli ısıt işlemler uygulanmaktadır (Eltaib, 2019).

## **2.2 Alaşım Elementleri ve Etkisi**

Alüminyum, silisyum, çinko, bakır, mangan ve magnezyum gibi alaşım elementlerinden bir veya birkaçını alaşımlarında bulundurabilirler. Bunların haricinde, krom, demir ve titanyum gibi bu elementler de alaşımlarında çok az oranda bulunabilir. Bunlardan başka bazı özel alaşımlarda kalay, nikel, vanadyum, kobalt veya kurşun bulunabilir. Alaşımlara ilave olarak eklenen Zn, Cu, Mg, Mn, Pb, Fe ve Bi, gibi alaşım elementleri malzemenin mekanik özelliklerini iyileştirici yönde etki etmektedir. Isıl işlem uygulamaları alüminyumun alaşımlarının mekanik özelliklerine direkt olarak yansıdığından malzemenin aşınma direncini artırıcı yönde etki etmektedir (Haider, vd, 2013).

Faz diyagramları incelendiğinde ve buradan da anlaşılacağı üzere alüminyumun Si, Cu, Mg, Mn ve Zn elementleri ile oluşturduğu ikili faz diyagramları arasındaki benzerlik görülmektedir. Bu alaşım elementlerinin hepsinin yüksek sıcaklık katı çözünürlüğü yüksek, oda sıcaklıklarına inildiğinde ise katı çözünürlüğü düşüktür. Bazı alaşım elementlerinin alüminyum içerisinde yüksek sıcaklıklarda ve oda sıcaklığındaki çözünürlük değerleri Tablo 2.4’de verilmiştir. Alaşım elementlerinin oda sıcaklığı ile yüksek sıcaklık değerleri arasında bu kadar çok fark bulunması, bu elementlerle yapılan alaşımlarda, çökelme sertleşmesi yapılabilirliği sağlamaktadır (Burgucu, 2011).

Tablo 2.4 Alaşım elementlerinin katılaşma ve oda sıcaklığında çözünürlükleri (Burgucu, 2011)

| Alaşım elementi | Katılaşma sıcaklığında çözünürlük (%) | Oda sıcaklığında çözünürlük (%) |
|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------|
| <b>Cu</b>       | 5,65 (548 °C)                         | 0,02                            |
| <b>Mg</b>       | 14,9 (450 °C)                         | 2,5                             |
| <b>Mn</b>       | 1,8 (659 °C)                          | 0,3                             |
| <b>Zn</b>       | 82 (382°C)                            | 2,0                             |

### 2.2.1 Demirin Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum cevherinde demir daima bulunur. Demirin, alüminyum alaşımlarından bazılarının dayanımını ve sertliğini artıracı yönde etkisi olurken, döküm alaşımlarda sıcak çatlama oranını düşürecek yönde etkisi olur. Bazen de demir, ürünlerde boyut çekilmeleri azaltmak için alaşımlara ilave edilir. Başka bir özelliği de demirin yapıda tane küçültücü etkiye sahip olmasıdır. Yüksek silisyumlu alüminyum alaşımlarında, demir miktarının fazla olması, alaşımlarda gevrek ve kaba kristalli bir yapıya neden olur (Çolak, 2019).

### 2.2.2 Çinkonun Alüminyum Üzerine Etkisi

Alüminyum alaşımlarında, mangan dökülebilirlik özelliğinin artması yönde etki ederken, çinko ise malzemenin dökülebilirlik özelliklerini azaltıcı yönde etki eder. Yine benzer şekilde çinko içeren alaşımlar, sıcak çatlama ve soğuma çekmesi meydana getirirken, silisyumun ise sıcak çatlama eğiliminin düşmesini sağlar. Çinko, alüminyum alaşımlarında % 3 'den az oranda katkısı, hissedilebilir bir etkisi

görülmemekle beraber, bu oran % 10 Zn' den yüksek olması durumunda, malzemede gerilim yenimi çatlaması gösterir ancak; beraberinde başka alaşım elementleri olduğu zaman malzeme dayanımının artışı yönünde etkisi olmaktadır (Ak, 2012).

### **2.2.3 Borun Alüminyum Üzerine Etkisi**

Genel olarak alüminyum da bor % 0,01 oranlarında kullanılır. Titanyumla beraber kullanıldığında çok iyi tane küçültücü etkiye sahiptir. Ancak bor kullanılmadığında titanyumun tane küçültücü etkisi, alaşımın tekrardan ergitme sırasında azalır. Titanyuma benzer şekilde borunda malzemede sünekliği ve çekme mukavemetini artırıcı özelliği vardır. Ayrıca katıldığı alaşımlar da bor malzemenin manyetik geçirgenliğini, sertliğini, aşınma ve kopmaya karşı dayanımını artırıcı özelliğe sahiptir (sincast, 2020).

### **2.2.4 Geçiş Metallerinin Alüminyum Üzerine Etkisi**

Alüminyumdaki geçiş metalleri bilindiği üzere, titan, krom, vb.dir. Katı eriyikte ise var olan geçiş metallerinden magnezyum ve çinko katı eriyiğinin dayanım oranını düşürür (Ak, 2012).

### 3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

#### 3.1 Önceki Çalışmalara Genel Bakış

Saf alüminyumun kritik uygulama alanlarında kullanılmasını fark etmek ve üretimi için yeterince dayanıklı alüminyum tayin edebilmek için alüminyuma alaşım bileşeni olarak farklı elementleri eklemek önemlidir. Peki, alüminyuma, alaşım elementi olarak eklenen bu elementler nelerdir? Benzer şekilde, istenilen özelliklerdeki malzemenin performansını oluşturmak için bu alaşımı hangi yöntem kullanarak üretmeliyiz? Dahası, elde edilen bu alaşımlar nerelerde kullanılmıştır? Literatürde bununla ilgili çok az çalışmalar yapılmıştır.

7075 alüminyum alaşımının bileşimi kabaca% 5,6– 6,1 çinko ,% 2,1– 2,5 magnezyum, % 1,2–1,6 bakır ve % 0,5' ten az silikon, demir, manganez, titanyum, krom ve diğer metalleri içerir. Sanayide kullanım şekil ve özellikleri olarak, 7075-0; 7075-T6; 7075-T651 gibi çeşitleri bulunmaktadır. Bu türler ısıtıl işlem görmüş veya görmemiş, hem ısıtıl işlem görmüş hem dövülmüş gibi formları ifade etmektedir. İlk 7075 serisi alüminyumu, bir Japon şirketi olan Sumitomo Metal tarafından 1935'te gizlice geliştirildi, ancak 1943'te Alcoa tarafından tanıtıldı ve 1945'te havacılıkta kullanım için standardize edildi. 7075 alüminyum sonunda İmparatorluk Japon Donanması'nda uçak gövdesi üretimi için kullanıldı. 7075 alüminyum alaşımının dünyanın ilk seri üretim kullanımı Mitsubishi A6M Zero avcı uçağı içindi. Uçak, eski alüminyum alaşımlarına kıyasla 7075' in daha yüksek mukavemeti ile kolaylaştırılan mükemmel manevra kabiliyetiyle biliniyordu (ASM Handbook, 1990).

Figuerola ve vd. (2005) Si ve B'nin Fe bazlı metalik şerit alaşımların mekanik özelliklere etkisi üzerine çalışmalar yapmışlardır. Silisyum ve bor elementlerini eriyik eğirme tekniği ile farklı oranlarda alaşımlar üreterek Fe bazlı şeritlerin üzerinde SEM, Vickers micro sertlik ve XRD mekanik etkileri analizleri incelenmiştir. Yapılan bu deneylerde değişken B ve Si içeriğinin FeBSi şeritlerin mekanik özelliklerine etkisi belirlenmiştir. Micro sertliği ( Vickers ), kırılma dayanımı Bor içeriği oranının artması

ile artmış , % 8 Si alaşımlı serisi vickers mikro sertliği ve kuvveti % 10 Si içeren seriye kıyaslandığında üstün olduğu belirlenmiştir.

7075 alüminyum alaşımı (Al- 7075), birincil alaşım elementi olarak çinko içeren bir alüminyum alaşımdır. Mükemmel mekanik özelliklere sahiptir ve iyi süneklik, yüksek mukavemet, tokluk ve yorgunluğa karşı iyi direnç sergiler. Mikro-kümelenme nedeniyle diğer birçok alüminyum alaşımlarına göre kırılma eğilimi karşı daha hassastır, ancak 2000 serisi alüminyum alaşımına göre önemli ölçüde daha iyi korozyon direncine sahiptir. Yüksek gerilimli yapısal uygulamalar için en yaygın kullanılan alüminyum alaşımlarından biridir ve uçak yapısal parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Juan, 2008).

7075 gibi 7000 serisi alaşımlar, denizcilik, otomotiv ve havacılık dâhil olmak üzere yüksek özgül mukavemetleri nedeniyle genellikle nakliye uygulamalarında kullanılır. Aynı özellikler, kaya tırmanışı ekipmanlarında, bisiklet bileşenlerinde, inline-skating-çerçevelerinde ve delta kanatlı uçak gövdelerinde yaygın olarak 7075 alüminyum alaşımından yapılmasını sağlamıştır. Hobi sınıfı RC modelleri şasi plakaları için genellikle 7075 ve 6061 kullanır. 7075, ABD ordusu için M16 tüfeklerin yanı sıra sivil pazar için AR-15 tarzı tüfeklerin imalatında kullanılmaktadır. Özellikle yüksek kaliteli M16 tüfek alt ve üst alıcıları ve ayrıca uzatma boruları tipik olarak 7075-T6 alaşımından yapılır. Desert Tactical Arms, SIG Sauer ve Fransız silah şirketi PGM, 7075 alüminyumunu hassas tüfeklerinin yapımında kullanıyor. Ayrıca, STX kılıcı ve kamp bıçağı ve çatal setleri gibi lakros çubukları için şaftlarda yaygın olarak kullanılır. 7075, yüksek mukavemeti, düşük yoğunluğu, termal özellikleri ve yüksek derecede cilalanabilme özelliği nedeniyle kalıp takım imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. 7075 alaşımı ayrıca Uzay Mekiği SRB nozullarında ve tanklar arası bölümde harici tank SRB girişi olarak da kullanıldı (Yoshio, 2010).

Kang ve vd. (2012) tarafından yapılan bir çalışmaya göre; yüksek enerjili bilyeli öğütme yöntemi ile elde edilen saf Al ve Al-20Si tozlarının mekanik ve mikroyapı özelliklerini öğütme zamanı ile değişimi incelenmiştir. Numuneler üzerinde XRD, SEM, Vickers mikro sertlik ve ( EDS ) enerji dağılım Spektrometresi analizleri uygulanmıştır. SEM gözlemlerinde, öğütme işlemi ilk safhasında parçacık boyutu

arttığını ve öğütme işlemi ilerleyen sonrası safhalarda parçacık boyutu çarpıcı şekilde azaldığını tespit etmişlerdir. EDS ve XRD analizlerine göre ise; Alüminyum içerisinde silisyum parçacıklarının çözünmediği fakat çok ince taneli ve homojen bir şekilde dağıldığı rapor edilmiştir. Hem Al-20Si hem de saf Al tozlarının öğütme zamanıyla sertlik değerinin birlikte arttığı bu çalışmada belirlenmiştir.

Ceschini ve vd. (2012) tarafından yapılan çalışmaya göre; geleneksel döküm olan Al-10Si-2Cu alaşımı yorulma ve çekme davranışı üzerinde değişen miktarlarda Mn ve Fe katkılarının etkisi incelenmiştir. Artan Mn ve Fe miktarı çekme dayanımı artışına neden olduğu bu çalışmada rapor edilirken, Fe içerikli intermetalik bileşik sebebi ile uzama miktarının azaldığı bildirilmiştir.

Kılıçaslan ve vd. (2013) tarafından yapılan çalışmaya göre; Al-25Si-5Fe için mikro sertliğin ve mikro yapının (%5 ve %1,3 yüzde ağırlık) Co eklenmesi ile yapısı araştırılmıştır. Sonuçta mikro yapı karakterizasyonu göstermiştir ki, hızlı şekilde katılaştıran Al-Si-Fe alaşımında ince olan Si parçacıkları Co ilavesiyle homojen bir şekilde dağılmıştır. Hiperötektik olan Al-Si-Fe alaşımında aynı zamanda küresel Si parçacıkları oluşturulması için Si-Co oranı tercihen, 6 ile 8,3 aralığındadır. Co ilavesi ile mikro sertliği alaşımın önemli bir ölçüde iyileşmiştir. Bu ilave ile 211 Hv 'den 370 Hv artışa sebep olmaktadır.

Wu ve vd. (2014) tarafından yapılan bir çalışmada; demir esaslı amorf olan şeritler, çok iyi yumuşak manyetik özellik sergiler ve tasarruf için enerji şebekelerinde transformatörlerde anahtar bileşen olarak kullanılırlar. Optik bir mikroskopla çalışmadaki üretilen şerit kalitesi değerlendirilmiş ve döküm basıncı ve tekerlek yüzey pürüzlülüğü karşılaştırmalı bir şekilde incelenmiştir. VSM ile şerit malzemenin özellikleri ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada, tavlama işlemindeki histerezis kaybı ve gevreklikteki iyileşmeler ve tavlama sıcaklıkları ele alınmış ve üzerinde çalışılmıştır.

Alüminyumun saf haldeki çekme dayanımı 49 MPa iken alaşımlandırıldığında bu malzemenin çekme dayanımı yaklaşık olarak 700 MPa'a kadar çıkabilmektedir (Çakır, 2015). Saf halde bulunan alüminyumun çekme dayanımı çok düşük olmasına rağmen, alaşım elementleri olan silisyum, bakır, çinko ve magnezyum gibi elementler ile

alaşımlandırıldığında malzemenin mekanik özelliklerinde iyileştirmeler olabilir (Kumar, 2016; Oghenekowho, 2016).

Liang ve vd. (2015) taraflarından yapılan bir çalışmada, eriyik eğirme tekniği sanayide nanokristal ve Fe esaslı olan amorf şeritlerin üretiminde yaygın şekilde kullanılmıştır. Ağırlıkça (%) Fe-6,5Si içeren yüksek silikon çeliğinin maliyeti düşük ve iyi bir manyetik özelliğe sahiptir. Ergime noktasının yüksek olması, sebebi ile şeritlerin imalatı zordur ancak laboratuvar şartlarında üretim yapılabilir. Araştırılan bu makalede de Fe- Si şeritlerin imalatı yapılarak mekanik ve mikroyapı özellikleri araştırılmıştır. Hızlı katılaştırma neticesinde, şerit alaşımlar çok ince tanecikli ve düşük dereceli bir düzende gerilme sünekliği olmuş ve bir dereceye kadar da bükölme sergilemiştir.

Galina ve vd. (2016) tarafından yapılan bir çalışma da ise, amorf alaşımların yapı ve özellikleri geliştirilmesi tartışılmıştır. Amorf yapı değişikliği kristalleşme öncesi analiz edilmiştir. Çalışmada; kristalleşme altında sıcaklıkların, Fe-B amorf alaşımlarının tavlanması sonucunda, amorf fazın stabilitesini, mikro sertliğini ve kristalleşme sonrasında kristal boyutun on kat değiştiği bulunmuştur. Isıl işlem farklı sıcaklıklarda uygulanması yalnızca faz bileşimi değişimine değil ayrıca ısıtmanın ardından küçük kristallerle yapı oluşmasına yol açtığı görölmüştür. Çok küçük kristal oluşumu yine çalışmada gözlemlenmiş olup heterojen bir amorf yapı kristalleşme söz konusudur. Buda amorf olan faz içinde ayrılmaya ve ayrışmaya dayanarak olası yapı tasarımı gösterir. Sonuç olarak bu çalışmada; Fe- B- P alaşımların amorf yüzeyli kristal ve kristal yüzeyli amorf numune üretilmesi mümkün olduğu belirlenmiştir.

Ma ve vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; Al- 20Si- 5Fe- 3Cu- 1Mg alaşımı üretiminde selektif lazerli ergitmeyi kullanışlardır. Isıl işlem gören alaşımların araştırması, Al-Si-Fe intermetalik ve birincil Si bileşimini rafine etmekle beraber ötektik Si'nin morfolojisini, dentrit ve partiküllerin çubuk benzeri şekilden değiştiğini gösterdi. Ayrıca sonuçlar M-Al<sub>4</sub>FeSi<sub>2</sub> fazının SLM alaşımlarında bulunduğu, δ-Al<sub>4</sub>FeSi<sub>2</sub> ve β-Al<sub>5</sub>FeSi fazlarının hem ısıl işlem hem de döküm sonrasında ortaya çıktığı gösterilmektedir.

Zhang ve vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada; hipoötektik 1,2Cu-0,7Mn- Al-10Si'nin gerilme özelliklerini ve deformasyon yaşlanmasını incelemiştir. Bu alaşım, küresel mikroyapı mekanizması ve HPDC ile kendi kendini güçlendirmeden destek alma ile hazırlanmıştır. Gözlemler, test edilen alaşımların oda sıcaklığında, 206 MPa'lık yaklaşık %0,2 daha yüksek kanıt stresi gösterirken 331 MPa gerilme dayanımı ve yaklaşık olarak %10'luk bir uzama gösterdiği kaydedilmiştir. Olgunlaştırma sürecinin aynı zamanda zorlama ve çekme gerilimini iyileştirdiğini ve sünekliliğini de azalttığı gözlemlenmiştir. 72 saatten fazla tutulan olgunlaştırma süreci önemli ölçüde gerilme kuvvetlerini artırmaz. Testin sıcaklığındaki artış, alaşımın sünekliliğinde artışa ve çekme dayanımında önemli ölçüde düşüşe yol açar.

Algerou (2017) alüminyumun özelliklerini değiştirmek ve geliştirmek için çalışmalarında %2' ye kadar skandiyumla alaşımlandırarak Al- Sc alaşımını bileşimini seçilen soğutma sıcaklığına ve Al-Sc oranına bağlı kalarak, metaller arası bağ kurmak için kullanmışlardır.

Eltaib (2019) yaptığı çalışmada; hızlı katılaştırma ve döküm yöntemi ile Al-Si-Fe-B ve Al-Si-Fe-Nb alaşımlarına Ni katkısının mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisini incelemiştir. Hızlı katılaştırılmış Al-Si-Fe-Nb alaşımına Ni ilavesi mikrosertlik değerlerini yükselterek 206,6 Hv'den 211,6 Hv'ye çıkarmıştır. Diğer yandan alaşımların kristalografik analizlerinde Al-Si-Fe-Nb-Ni, Al-Si-Fe-B ve Al-Si-Fe-Nb, alaşımlarının kısmen amorf yapıda, Al-Si-Fe-B-Ni alaşımının ise tamamen amorf olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Demirel ve vd. (2020) 7075-T6 alaşımının mikroyapı ve mekanik özelliklerine tavlama işleminin etkisi incelemiştir. Bu işlem için tavlama sıcaklığı (100°C, 200°C, 300°C ve 400°C) ve tavlama süresi (6, 30 ve 60 dk.) olarak parametreleri belirlemişlerdir. Alaşımın mekanik özelliklerinde oluşan değişimi tespit etmek için çekme ve sertlik ölçme testleri kullanmışlardır. Tavlama işleminin 7075-T6 malzemesinin mekanik özelliklerini azalttığını belirlemişlerdir. Oda sıcaklığı (20°C)'ndan 100°C- 60 dk. tavlama parametresinde mekanik özelliklerinde değişim gözlemlenmez iken, 200°C-6 dk. tavlama parametresinden sonra mekanik özelliklerinde azalma başladığı ve 200°C-60 dk.'dan sonra da bu azalmanın net bir

şekilde arttığı tespit edilmiştir. Malzemenin oda sıcaklığında sahip olduğu mekanik özelliklerin 400°C deki tavlama işlemi sonucunda %68,85 azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, 200°C tavlama sıcaklığı 60 dk. tavlama süresinden sonra malzemenin mikroyapısında çökelti oluşumundan ve tane boyutu artmaya başlamasından kaynaklandığını belirlemişlerdir.

Al-7075 alaşımları mekanik ve mikroyapı özellikleri üzerine Nb katkısı hakkında açık literatürde mevcut bilgi olamamakta olup sunulan bu çalışmada, eriyik eğirme (melt spinning) tekniği ile hızlı katılaştırılan Al-7075 alaşımlarına Nb katkısının mekanik ve mikroyapı özelliklerine etkisi üzerine araştırma çalışmaları yapılmaktadır.



## 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

### 4.1 Deneysel Malzeme

Bu deneysel çalışmada kullanılan malzeme Al-7075 olup, malzemenin kimyasal bileşenleri tablo 4.1’de verilmektedir. Deneysel numunelerde ağırlıkça yüzde beş oranında demir (Fe) (Tablo 4.2) kullanılmasının sebebi Nb-Al alaşımlarında erime sıcaklığı çok yüksek olduğu için direkt olarak katılması laboratuvar şartlarında pek mümkün olmadığından Fe-Nb olarak katılmıştır. Dolayısı ile numunelerimizin hepsinde demir olduğundan demirin etkileri dışarıda tutularak analiz yapılmaktadır.

Tablo 4.1 7075 Alüminyumun kimyasal bileşenleri ( % ağırlık )(Kaçar, 2011)

| Si     | Fe     | Cu      | Mn      | Mg      | Cr      | Zn      | Ti      |
|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0,0567 | 0,2763 | 1,4024  | 0,0108  | 2,3800  | 0,2009  | 6,0294  | 0,0778  |
| B      | Na     | Ca      | Ni      | Pb      | I       | Sn      | Co      |
| 0,0007 | 0,0018 | 0,0052  | 0,0027  | 0,0015  | 0,0002  | 0,00023 | 0,00035 |
| V      | Sb     | Sr      | Be      | Hg      | Zr      | Bi      | Al      |
| 0,0013 | 0,0007 | 0,00001 | 0,00072 | 0,00056 | 0,00078 | 0,0002  | 89,5    |

### 4.2 Deneysel Numunenin Hazırlanması

Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere Al-Nb alaşımları Tablo 4.2’de gösterilen, nominal bileşenler hazırlanmıştır. Bu alaşım elementlerin saflığı nispeten ( %99 Al; %99 Nb) yüksek deney numuneleri olup; numuneler isimlendirilmeleri kolaylık olması açısından katkısız Al-7075 alaşımı AA00 numunesi, ağırlık olarak %1 Nb katkılı Al-7075 alaşımı, AA1Nb numunesi ve % 2Nb katkılı Al-7075 alaşımı ise AA2Nb numunesi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 4.1 Dijital ağırlık denge cihazı (VE)

Şekil 4.1’de gösterilen dijital ağırlık denge cihazı (VE) kullanılarak, Tablo 4.2’ de belirtilen katkı oranlarında Al-7075 alaşımları (AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri) hazırlanmıştır.

Tablo 4.2 Deneyisel numuneler için alaşım oranları

| Alaşım                      | Al (%) | Nb (%) | Fe (%) |
|-----------------------------|--------|--------|--------|
| <b>Al-Fe<br/>(AA00)</b>     | 95     | -      | 5      |
| <b>Al-Fe-Nb<br/>(AA1Nb)</b> | 94     | 1      | 5      |
| <b>Al-Fe-Nb<br/>(AA2Nb)</b> | 93     | 2      | 5      |

#### 4.3 Eriyik Eğirme Yöntemiyle Alaşım Şeritlerinin Hazırlanması

Alaşımları parçalar haline getirebilmek için Şekil 4.2’de gösterilen kesim makinası (METACUT) ile kesilir. Buradaki amaç alüminyum alaşımlarından sürekli şerit malzemeler üretebilmek için küçük parçalar kullanmaktır.



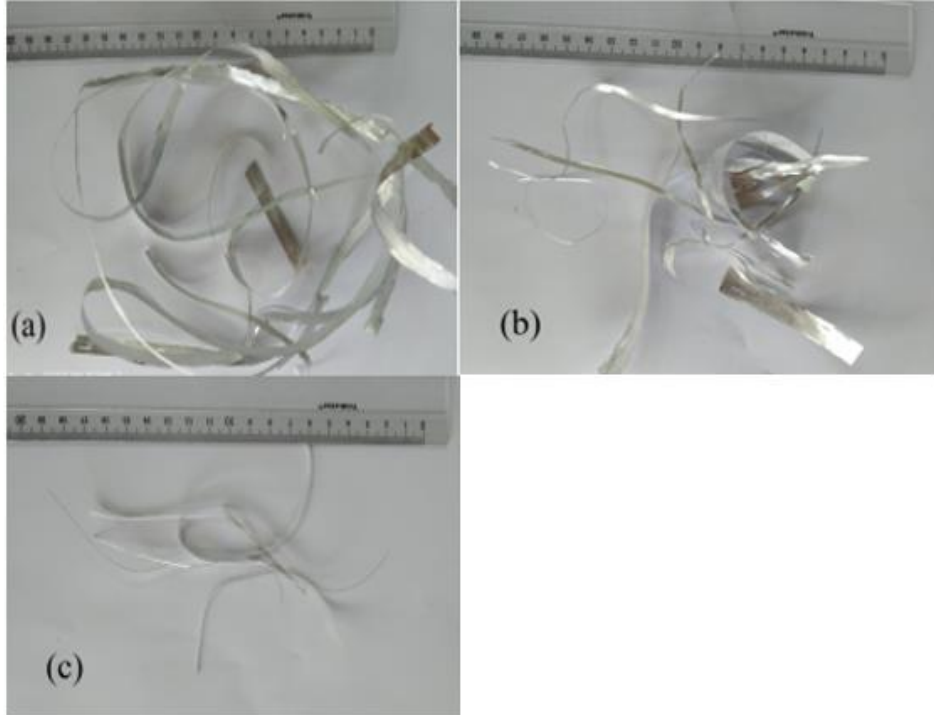
Şekil 4.2 Kesme makinası (METACUT)

Numuneler, Şekil 4.3’de gösterilen Kastamonu üniversitesi, malzeme bilimi ve mühendisliği laboratuvarında bulunan yerel eriyik eğirme makinası kullanılarak üretilmektedir. Hızlı katılaştırılmış numuneler elde edebilmek için sistem, eritme işlemleri için çoğunlukla grafit konteynerdan ve su verme işlemleri içinde bakır döner diskten oluşmaktadır. Tablo 4.2’de belirtilen oranlarda hazırlanan alaşımlar eritilerek, 2 mm’ lik olan nozülünden argon gazı vasıtası ile atmosfer basıncında dönen bu çark üstüne basınçlandırılır. Hareket eden ( çapı 250 mm ve çevresel hızı 20 m / s) cilalı ve pirinç olan bu çarkın silindirik olan yüzeyine çarptırılan erimiş haldeki metal, katılaşmış ve ayrılmış şerit şeklinde üretilir.



Şekil 4.3 Eriyik eğirme makinası

Şekil 4.4’de gösterildiği gibi eriyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaşımlı Al- 7075 alaşımlı (AA00, AA1Nb ve AA2Nb) şerit numuneler (genişliği 2-10 mm ve kalınlığı 20-50  $\mu\text{m}$  aralıklarında ) üretilmiştir.



Şekil 4.4 Eriyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaştırılmış şerit numuneler  
(a) AA00, (b) AA1Nb ve (c) AA2Nb

#### 4.4 Numunelerin Kalıplanması

Numunelerin dağlama ve cilalama işlemleri sırasında korunması ve taşınma sırasında kolaylık sağlaması açısından numunelerimiz epoksi reçine kullanılarak kalıplanmıştır. Kalıplanan numuneler, 180 ile 1200 arası grit numaralı Silisyum karbür aşındırıcı zımparalar ile Şekil 4.5’de verilen taşlama ve parlatma makinası ile şebeke suyu altında kabaca parlatma işlemi yapılmıştır.



Şekil 4.5 Metalografik parlatma makinesi

#### 4.5 Mikroyapı İncelemeleri

Bu yöntem ile metalografik olarak malzemelerin sahip olduğu özellikleri, görmüş olduğu işlemleri ve malzemelerin özelliklerini değıştirmek için, hangi yöntemlerin kullanılmasını gerektiğini belirlenmesi içindir. Örneğin malzemenin içyapısında ısıl işlem sonrası değışimleri tanımlamak, yeniden kristalleşme ve soğuk şekillendirme sonrası yapısal değışimi gözlemlmek, malzemede hata olarak bilinen gaz boşlukları, çekme ve lifleşme belirleyebilmektir. Sıcak şekillendirme işlemi sonrası malzemede oluşabilecek çatlak ve lifleşme gibi yapısal değışikliği görebilmek, tane boyutunu ve faz analizi gibi malzemelerin özellikleri hakkında deney ile bilgi edinebilmektir.

#### 4.5.1 Optik mikroskopi (OM)

Optik mikroskop (Şekil 4.6) kullanılması ile herhangi bir objenin büyütülmüş olarak görüntüsünü, kullanıcılarının çıplak gözle gözlemleyebilmelerini bir mercek aracılığı ile oluşturulabilir. Bu dijital mikroskopa koyulan örnekleri daha detaylı inceleme için eş zamanlı olarak görüntü bir bilgisayar ekranına ( olympic program bağlantılı) yansıtılabilir.

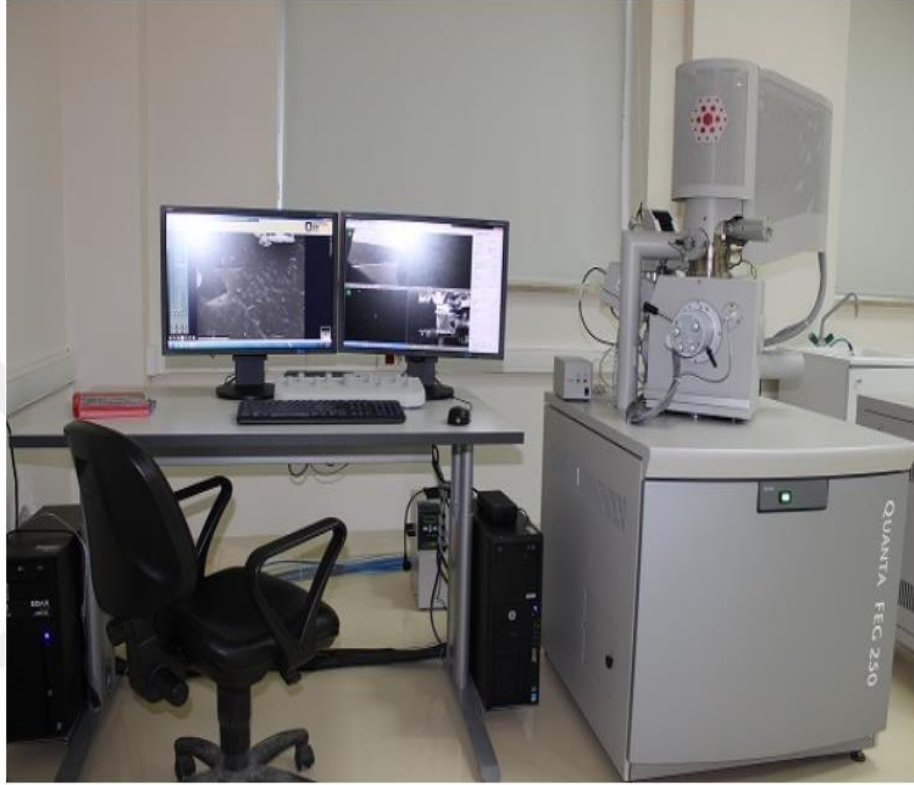


Şekil 4.6 Optik mikroskopi ( Leica)

#### 4.5.2 Tarama Elektron Mikroskobu (SEM) İncelemeleri

Belirtilen standartlarda hazırlanan numuneler, metalografik inceleme için, 180 ile 1200 grit numaralı aşındırıcı SiC zımparalar ile su altında zımparalama işlemi sonrası su ile yıkandıktan sonra, yüzeyleri alkol kullanılarak temizlenmiştir. Numunelerin mikroyapı incelemeleri için bakıldığında çiziksiz ve düz olması için, numuneler Keller reaktif maddesi ( alüminyum alaşımlarına özel 2 ml HF +3 ml HCl +5 ml HNO<sub>3</sub> +190 ml H<sub>2</sub>O,) kullanılarak temizlenmiş ve dağlanmış. Yüksek büyütmelerde yüksek çözünürlük elde edebilmek için Kastamonu üniversitesi merkezi laboratuvar bünyesinde bulunan (Şekil 4.7) taramalı elektron mikroskobu (SEM, FEI Marka; Quanta FEG 250 Model ) kullanılmıştır. Ergiyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaştırılan

numunelerin Nb katkısı sonrasında kristal ve morfolojik yapılarında oluşan farklılıkları anlamak ve çalıştığımız numunelerin üzerlerinde belirtilen noktalarda doğru bir şekilde kimyasal kompozisyon elde edebilmek için bu yöntem tercih edilmiştir.



Şekil 4.7 Taramalı elektron mikroskobu (SEM )

#### 4.5.3 X- Işını Difraksiyonu (XRD) Analizi

X-ışını difraksiyonu (XRD), moleküler ve kristalin atomik yapısını incelemek için geliştirilmiş bir yöntemdir. Çalışma sistemi, çeşitli yönlerde X- ışının demetinde olan ışınların kristale karşı kırınımına dayanır. X- ışını kırınım ölçümünde, bir iletke üzerine konulan kristal, yavaşça dönerken X- ışınlarıyla bombardımana tutulması sonucu kırılan ışınlar olarak, yansımalar olarak bilinen düzenli aralıklarla düzenlenmiş bir kırınım deseni yapar. Elde edilen kırınım desenleri yapılan kalitatif analizle, fazlar sistem kütüphanesindeki verilerle karşılaştırılarak belirlenir.

Bu çalışmada da incelenen alaşımların kristallliğini ölçmek ve mikroyapısında sunulan fazları tanımak, ayrıca şekilsiz ve kristalli materyali ayırt edebilmek için Şekil 4.8’de

verilen ( Model; D-8 Advance, Marka; Bruker, ) cihaz ile XRD analizi yapılmıştır. Cu K $\alpha$  radyasyonu ( $\lambda = 1,5406\text{\AA}$ )  $2\theta$ -adım ve  $0,15^\circ$  de  $3^\circ$  ile  $90^\circ$  aralıklarındadır.



Şekil 4.8 XRD Cihazı ( Merlab Bruker D-8 Advance )

#### 4.6 Mekanik Deneyler

Yapılan bu çalışmada yoğunluğu düşük olan elementlerle sürekli şerit alaşımlar üretmektir. Hafif alaşımlara ilginin esas nedeni; göstermiş olduğu üstün mekanik özelliklerinden ve uygulama alanlarının geniş olmasındandır. Bu sebeplerden dolayı üretilen alaşımların mekanik özelliklerinin de bilinmesi çok önemlidir. Malzemelerin mekanik özellikleri çekme mukavemeti, akma mukavemeti, darbe dayanımı, elastisite modülü, kırılma tokluğu, sürünme dayanımı, aşınma dayanımı, tokluk ve sertlik vb. testlerle belirlenmektedir. Sunulan çalışmada malzeme mekanik özellikleri belirlemek için, çekme dayanımı testi, sertlik ve elastisite modülü ölçme yöntemleri tercih edilmiştir. Bunların seçilme sebebi; yöntemin kolay olması, güvenilir bir sonuç elde edilmesi ve alaşımların diğer mekanik özellikleri hakkında da bilgi vermesidir.

#### 4.6.1 Vickers Sertlik Ölçümleri

Numunelerin Vickers sertlik testi, Kastamonu Üniversitesi merkezi laboratuvarında (Şekil 4.9 ) bulunan HMV- G21D marka ve E, 230 V model mikro sertlik test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Test yükü olarak 200 g ve 15 saniye tutma sürende sabitleyerek, 40-60  $\mu\text{m}$  izleme aralığındadır. Her numuneden en az üç ölçüm yapılarak bunların ortalama değerleri hesaplanmış olup, alınan ortalama değerler numunelerin sertlik değeri olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.9 Mikro Vickers sertlik test cihazı (HMV-G21D)

#### 4.6.2 Çekme Deneyi

Numunelerin çekme deneyleri Şekil 4.10'da gösterilen Kastamonu Üniversitesi merkezi laboratuvarında bulunan SHİMADZU marka; AUTOGRAPH AGS-X model kapasitesi 100 kN olan universal test cihazı ile her bir numuneden en az üçer adet olmak üzere dokuz adet hızlı katılaştırılmış numune çekme testleri 0,5 kN/dk. Yük altında yapılmaktadır. Çekme deneyi sonucunda numunelerin çekme mukavemetleri değerlerinin ortalamaları alınarak o numuneye ait çekme mukavemeti olarak kabul edilmektedir.



Şekil 4.10 Üniversal Çekme Test Cihazı ( Merlab Shimadzu Autograph AGS-X)

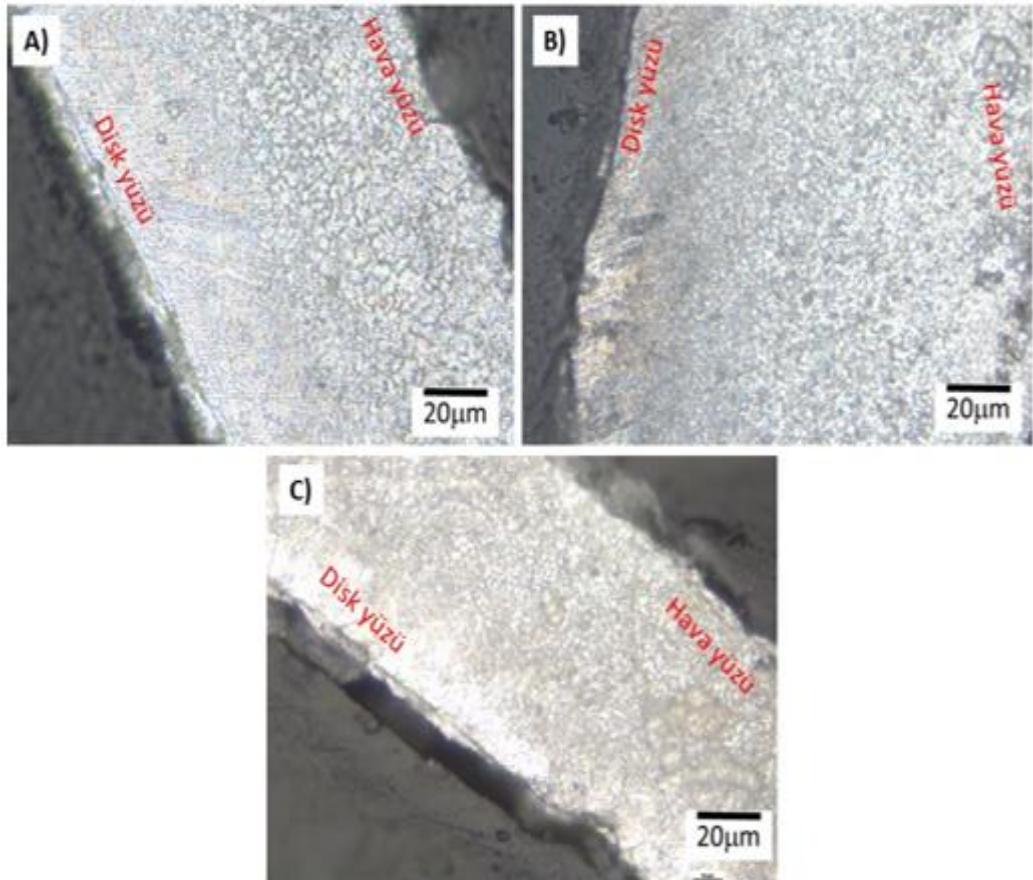
## 5. BULGULAR

Eriyik eğirme (melt spinning ) yöntemi ile hızlı katılaştırılan AA00, AA1Nb ve AA2Nb numunelerinin mikro yapı ve mekanik özelliklerine Nb katkısı incelemesi işlem basamakları sırasıyla sunulmuştur.

### 5.1 Katkı Elementlerinin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi

#### 5.1.1 Mikro Yapı İncelemeleri

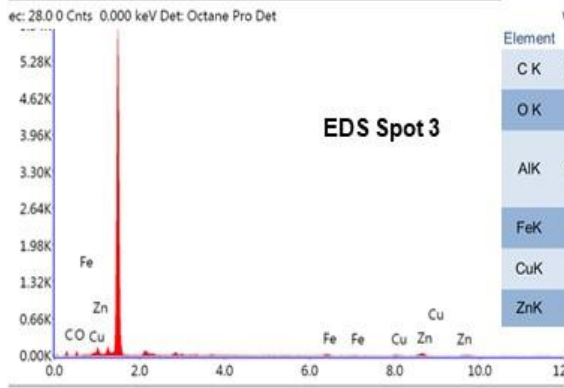
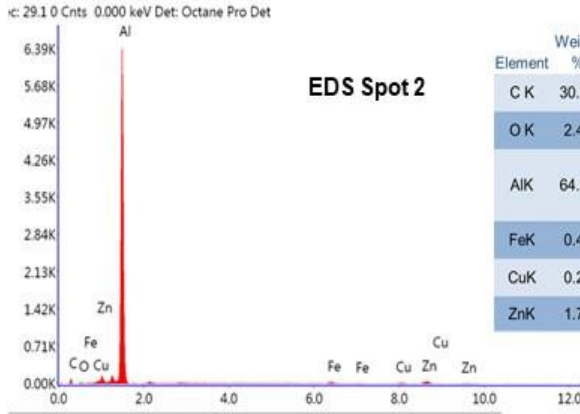
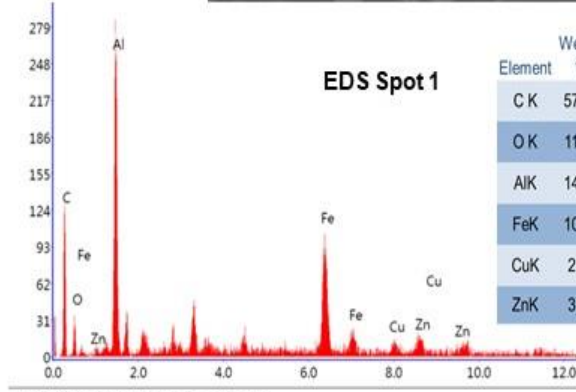
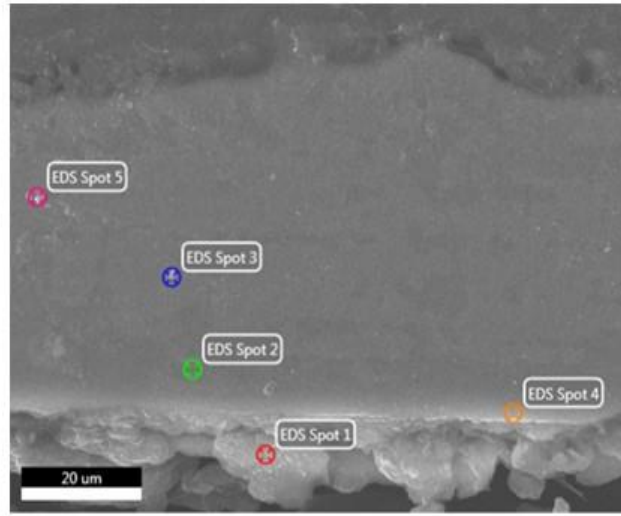
Aşağıda şekil 5.1’de hızlı katılaştırılmış numunelerden alınan optik mikrograflar verilmektedir. Şekil incelendiğinde  $\alpha$ - Al tanelerinin dağılımları karşılaştırmalı olarak görülebilmektedir. Her üç numunede de  $\alpha$ - Al taneleri hava yüzünde daha kaba yapıda iken, şeritlerin diskle temas eden yüzeylerinde daha ince hale gelmektedir.



Şekil 5.1 Hızlı katılaştırılmış şeritlerin kesitlerinden alınan optik mikrograflar; (a) AA00, (b)AA1Nb ve (c) AA2Nb

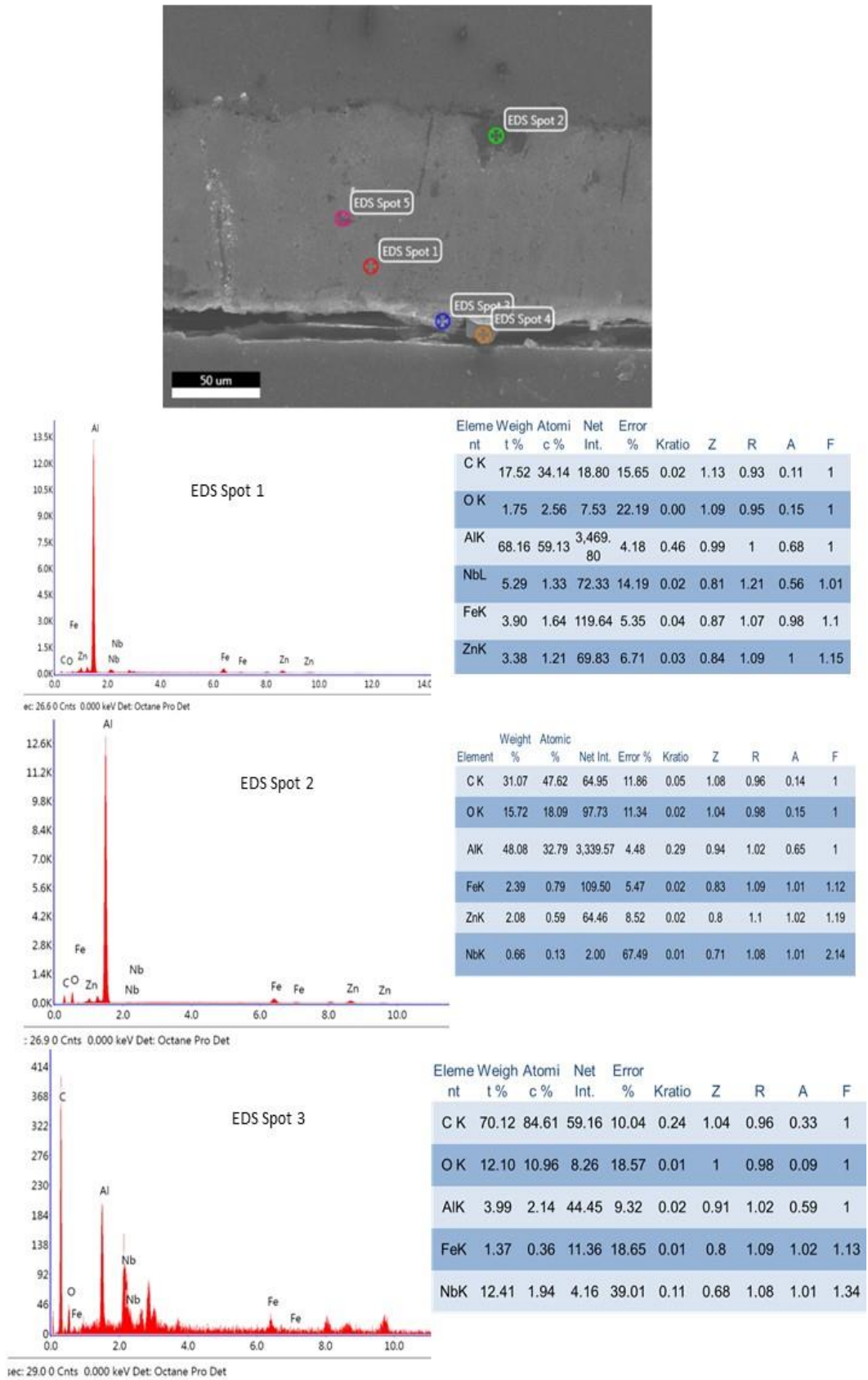
Bu disk yüzeyinde soğuma hızının hava yüzeyine göre daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Diğer taraftan Nb katkısız numunede  $\alpha$ - Al tanelerinin boyutları diğer iki numuneye göre daha büyüktür. Nb katkısı arttıkça  $\alpha$ - Al tanelerinin hem boyutları küçülmekte hem de dağılımları daha homojen hale gelmektedir. Katkısız AA00 numunede (Şekil 5.1(a)),  $\alpha$ - Al tanelerinin boyutu yaklaşık 3- 15  $\mu\text{m}$  arasında değişmekte olup, bunlarda ortalama boyut 8,76  $\mu\text{m}$  dur. AA1Nb alaşımında (Şekil 5.1 (b)) ise  $\alpha$ -Al tanelerinin boyutları 2- 7  $\mu\text{m}$  arasında değişmekte olup, burada ortalama tane boyutu 4,75  $\mu\text{m}$  civarındadır. AA2Nb alaşımında (Şekil 5.1 (c)),  $\alpha$ - Al tane boyutları 1- 5  $\mu\text{m}$  arasında değişmekte ve ortalama tane boyutu yaklaşık 2,28  $\mu\text{m}$ ’ dir.

Şekil 5.2, Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’ de AA0Nb, AA1Nb ile AA2Nb numunelerinin farklı noktalardan alınmış SEM-EDS analizleri ve bu noktaların kimyasal bileşimleri tablolar halinde verilmektedir. SEM-EDS analizlerinde görülen oksijen içeriği numune yüzeylerinin oksitlenmesinden ötürü tespit edildiği değerlendirilmektedir. Analizlerde görülen karbon elementinin tespit edilme sebebi ise, SEM analizlerinde daha iyi bir görüntü elde etmek için numunelerin yüzeyleri karbon ile kaplanmasıdır. Bunun dışında Al-7075 alaşımlarında bulunan diğer elementlerin pek çoğu da yine SEM-EDS analizlerinde tespit edilmiştir. AA1Nb (Şekil 5.3) ve AA2Nb (Şekil 5.4) numunelerinde, yani Nb katkılı numunelerde Nb elementinin tespiti ise yapılan Nb katkılarının yapı içerisinde dağıldığını göstermektedir. Nb elementi AA1Nb numunesinde hem alaşımın matrisinde (Şekil 5.3 spot 1) hem de şeritin disk yüzeyine yakın bölgelerde görülen ikincil fazlardan (intermetalik) olduğu değerlendirilen yapılarda (Şekil 5.3 spot 3) tespit edilebilmektedir. Benzer şekilde yüzde 2 Nb katkılı (AA2Nb) numunede de hem alaşımın matrisinde (Şekil 5.4 spot 6) hem de soğuma hızının orta bölgelerine göre daha yüksek olduğu şeridin hava ve disk yüzeylerine yakın bölgelerinde görülen ikincil fazlarda (Şekil 5.4 spot 1 ve spot 5) Nb elementi tespit edilmektedir. Nb katkılı numunelerin disk ve hava yüzeylerindeki ikincil fazlarda tespit edilen Nb miktarları, şeritlerin orta bölgelerinde tespit edilenlere göre dikkate değer ölçüde fazladır. Bu oranlar Al matrisinin çözebileceği Nb miktarından da oldukça yüksek olduğundan, bu fazların birer intermetalik faz oldukları düşüncesi bir kez daha öne çıkmaktadır.

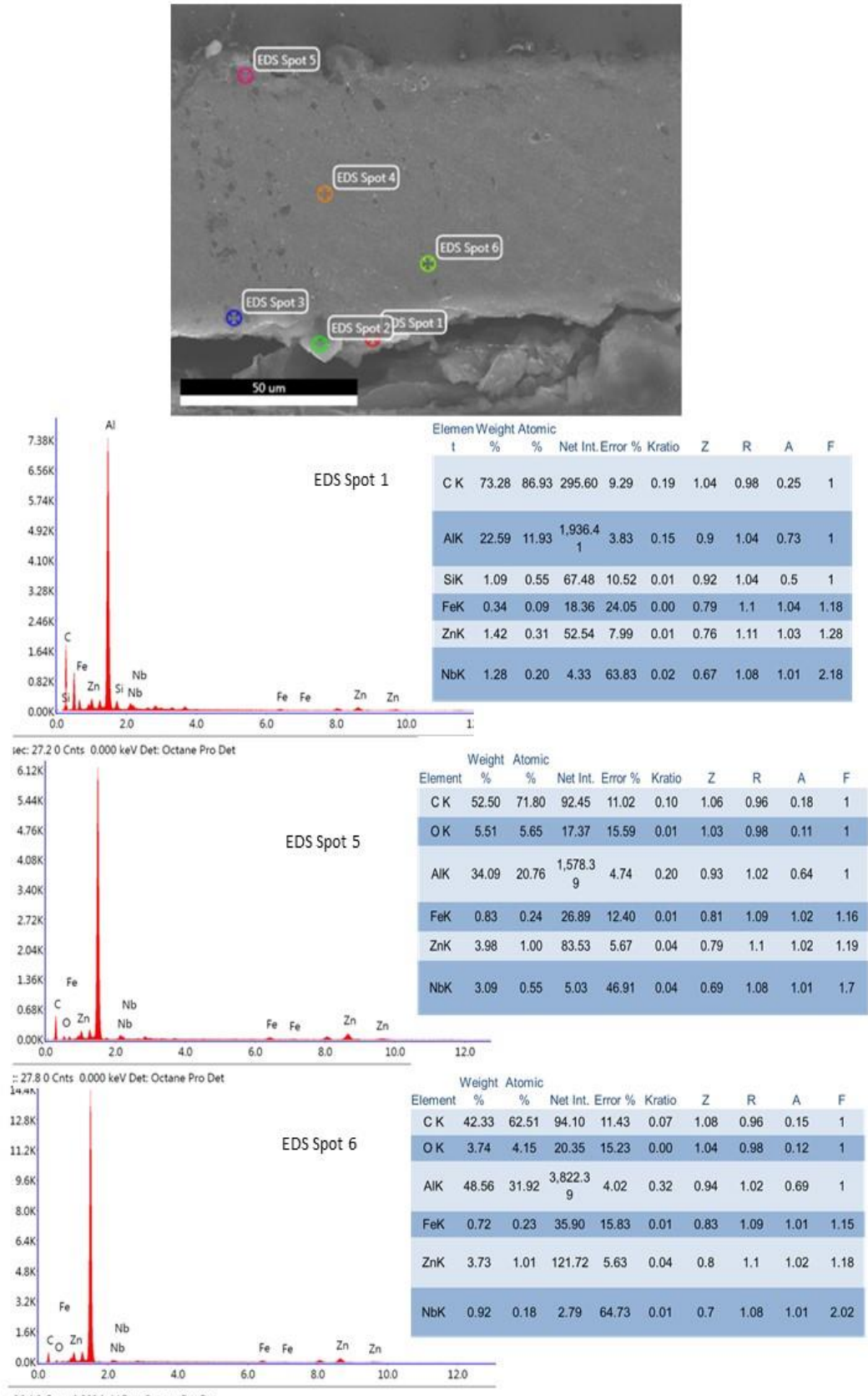


ic: 28.1 0 Cnts 0.000 keV Det: Octane Pro Det

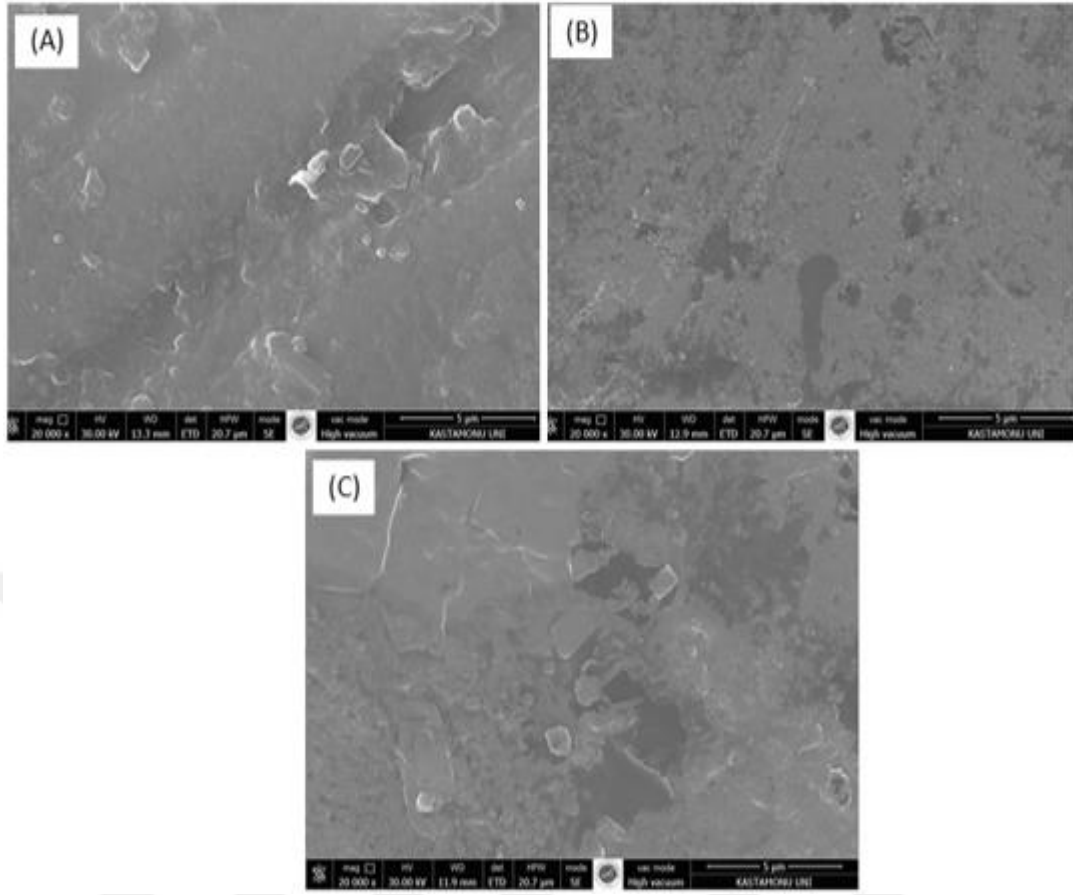
Şekil 5.2 Şerit AA00 alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların kimyasal bileşimleri



Şekil 5.3 Şerit AA1Nb alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların kimyasal bileşimleri



Şekil 5.4 Şerit AA2Nb alaşımı EDS görüntüsü ve verilen noktaların kimyasal bileşimleri

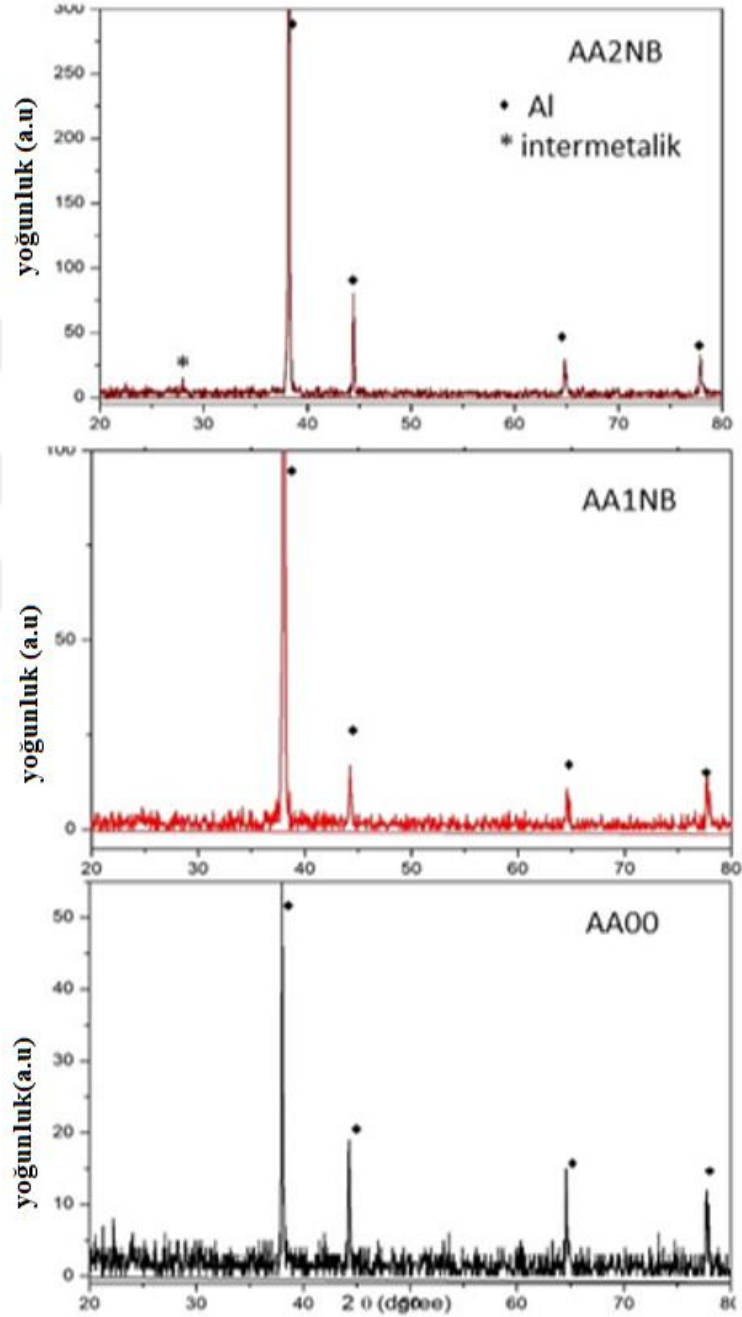


Şekil 5.5 Hızlı katılaştırılmış Al-7075 alaşımları SEM mikrografları (a) AA00, (b) AA1Nb, (c)AA2Nb

Daha fazla karakterizasyon için Şekil 5.5’de hızlı katılaştırılmış (a)AA00, (b)AA1Nb ve (c)AA2Nb şerit numunelerin 20.000X büyütme oranlarında Nb katkısı ile birlikte mikroyapının (özellikle ikincil fazların) nasıl evrildiğini gösteren SEM mikrografları verilmiştir. Buna göre; Şekil 5.5(a)’da AA00 numunesinin mikroyapısında parçacık benzeri keskin köşeli ikincil faz taneleri göze çarpmaktadır. Belirtilen ikincil faz parçacık boyutları 0,6  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  arasında değişmekte olup ortalama tane boyutu 1,5  $\mu\text{m}$  civarlarındadır. Şekil 5.5(b)’de eklenen 1Nb katkısı ile (AA1Nb) Al matrix içindeki ikincil fazların şekli, hem parçacık benzeri yapılara dönmüştür. AA1Nb numunesi mikroyapısında, ikincil fazların tane boyutları 0,1  $\mu\text{m}$  ile 1,5  $\mu\text{m}$  arası değişmekte, ortalama boyutları yaklaşık olarak 1,0  $\mu\text{m}$  kadardır. Şekil 5.5(c)’de 2Nb ile alaşımlandırılan AA2Nb numunesi mikroyapısında Al matrixe gömülü eş eksenli dikdörtgen şekilli ikincil faz parçacıkları dikkat çekmektedir. Boyutları 0,1  $\mu\text{m}$  ile 3  $\mu\text{m}$  arasında değişmekte ve ortalama tane boyutları 1,4  $\mu\text{m}$  civarındadır. Yani yüzde 1 den daha fazla yapılan Nb katkısı ikincil fazların boyutlarının artmasına neden olmuştur.

### 5.1.1.1 X- ışını kırılması ( XRD )

Şekil 5.6’da 20° - 80° ’lik kırınım açısı aralığında ölçülen Al-7075 (AA00, AA1Nb ve AA2Nb) numunelerinin X- ışını kırınım desenleri verilmektedir.



Şekil 5.6 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri XRD kırınım desenleri

Şekil 5.6’da verilen hızlı katılaşmış AA00, AA1Nb ve AA2Nb numunelerinin XRD kırınım desenleri analizlerine göre, Nb katkısız numunede (AA00) ve yüzde 1 Nb

katkılı numunede (AA1Nb) herhangi bir intermetalik faz tespit edilememekte olup, sadece Al pikleri görülmektedir. Hâlbuki Fe içeren alüminyum alaşımlarında ve geleneksel döküm Al 7075 alaşımlarında  $\text{CuMg}_2$ ,  $\text{CuMgAl}_2$ ,  $\delta$  – Fe intermetalik ve  $\beta$ -Fe intermetalik bileşiklerin bulunması olasıdır. (Kılıçaslan ve Karaköse, 2018; Altaib, vd. 2019). Bu çalışmada herhangi bir intermetalığe rastlanmama sebepleri muhtemelen, hızlı katılaşma sebebi ile intermetaliklerin boyutları ya çok küçük olması ve/veya mikroyapı içinde oranlarının çok az olması ihtimali olabilir. Çünkü mikroyapı içerisindeki belirli orandan az fazların tespitinde XRD yetersizdir. Diğer taraftan yüzde 2 Nb katkılı numuneye (AA2Nb) ait XRD desenin de  $2\theta = 28^\circ$ 'de bir intermetalik faza ait olduğu değerlendirilen ilave bir pik görülmektedir. Bu sonuç SEM ve SEM-EDS analizleri ile uyum içerisinde.

### 5.1.2 Sertlik Ölçümleri

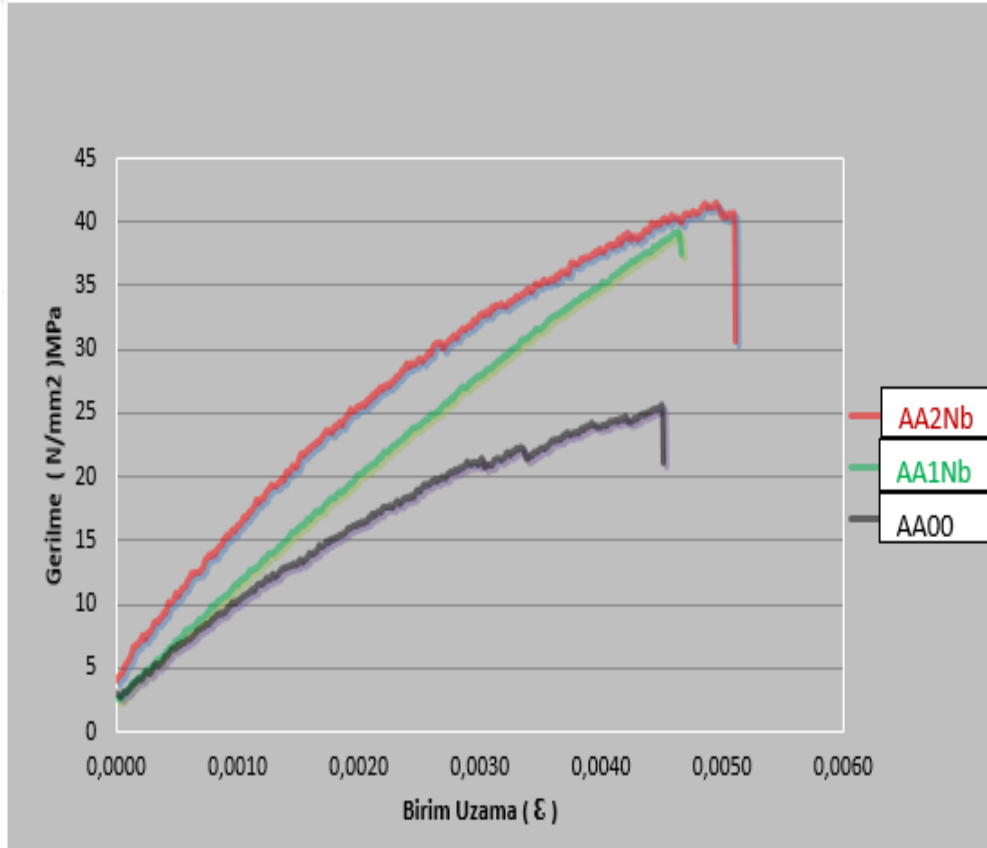
Hızlı katılaştırılmış, AA00 numunesi ile AA1Nb ve AA2Nb alaşımlı numunelerinin, sertlik değerleri Tablo 5.1'de verilmektedir. Bu değerler neticesinde AA00 numunesinin sertlik değeri 205 Hv iken, AA1Nb alaşımının sertlik değeri 215 Hv ve AA2Nb alaşımının sertlik değeri ise 218 Hv olmaktadır. Nb katkısı numunenin sertliğini artırdığı, malzeme mekanik özelliklerinde iyileşme olduğu sonucunu göstermektedir.

Tablo 5.1 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri sertlik değerleri

| Malzeme<br>( Al-7075 ) | Sertlik ( HV ) |
|------------------------|----------------|
| AA00                   | 205            |
| AA1Nb                  | 215            |
| AA2Nb                  | 218            |

### 5.1.3 Çekme Deneyleri

Mühendislik malzemeleri rijit olmamaları sebebi ile kuvvet altında deforme olur ve boyut ve şekil değişiklikleri gösterirler. Çekme deneyi mekanik özellikleri belirlemede en önemli mekanik testlerdendir. Deneyin amacı statik yük altındaki malzemelerin elastik ve plastik davranışları belirleyebilmektir. Bunu yapabilmek için boyutları standart dikdörtgen veya dairesel deney numunesi; çekme cihazına bağlanıp, değişken kuvvetler uygulanarak numunedeki değişimler kaydedilir. Hızlı katılaştırılmış AA00, AA1Nb ve AA2Nb numunelerinde standart ebatlarda bir üretim olmaması (genişlik ve kalınlıkları farklı olması) sebebi ile numunelerden en az üçer adet olmak üzere toplam dokuz adet numune çekme testi için hazırlanmıştır.



Şekil 5.7 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri çekme testi sonuç grafikleri

Numune kalınlıkları çekme cihazı çeneleri için çok ince kalması sebebinden dolayı (20- 50  $\mu$ m) numuneleri çenelerin tutması için cihaz ön kuvvetle başlatılmıştır ve çekme grafiğinde de (Şekil 5.7) görüleceği üzere y eksenindeki gerilme değeri sıfır noktasından başlamamaktadır. Deney numuneleri rijit olmaması sebebi ile çekme

değerleri ortalamaları alınmış ve bu değerler neticesinde numunelerin çekme test sonuçları grafik üzerinde verilmiştir.

Grafikte verilen gerilme ( $\sigma$ ) birim alanda etkiyen yük anlamına gelir ve aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır;

$$\sigma = P/A_0 \quad (5.1)$$

Birim uzama ( $\epsilon$ ) malzemeye kuvvet uygulandığında oluşan boy değişiminin, kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranıdır.

$$\epsilon = \Delta L / L_0 \quad \text{formülü ile hesaplanmıştır.} \quad (5.2)$$

Elastisite modülü (E) ; malzemenin mukavemetinin ölçüsüdür. Çekme gerilmesi ( $\sigma$ ) ile birim uzama arasındaki doğrusal ilişkinin sonucudur ve birim uzama ( $\epsilon$ ) başına düşen gerilme olarak tanımlanabilir.

$$E = \sigma / \epsilon \quad (5.3)$$

Numunelerin elastisite modülü Tablo 5.2’de verilmektedir. Hızlı katılaştırılmış Al-7075 deneysel numunelerin elastisite modülleri; AA00 numunesi 5600 MPa, AA1Nb numunesi 8500 MPa ve AA2Nb numunesi 8950 MPa olmaktadır.

Tablo 5.2 AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri elastisite modülü

|                                                  | <b>AA00</b> | <b>AA1Nb</b> | <b>AA2Nb</b> |
|--------------------------------------------------|-------------|--------------|--------------|
| <b>Elastisite (E)<br/>MPa (N/mm<sup>2</sup>)</b> | 5600        | 8500         | 8950         |

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hızlı katılaştırılan Al-7075 (AA00) alaşımına Nb katkısının ( AA1Nb ve AA2Nb numuneleri) mikroyapı ve mekanik özelliklere etkisinin sonuçları olarak aşağıda maddeler halinde belirtmek mümkündür.

- 1- Soğuma hızı fazların katılma sırasını elbette değiştirmez ama yapıda fazların dağılım ve ebatlarını etkiler. Biliyoruz ki ince taneli malzemelerin dayanımı daha fazladır. Malzemeyi yüksek soğuma hızına maruz bırakmak yapıdaki tanelerin incelmesine buda malzemenin dayanımının atmasına neden olur. Deneysel çalışmada da Al-7075 alaşımları hızlı katılaştırma yöntemi kullanılarak mikroyapı ve mekanik özellikleri daha da iyileştirilmiş numuneler üretilmiştir.
- 2- Al-7075 alaşımlarında Nb katkısı, alaşımlandırılan numunenin mikroyapısını modifiye ettiği, dendrit yapıyı küreselleştirdiği ve malzemede homojen bir yapı meydana getirdiğini göstermektedir.
- 3- Eriyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaştırılmış Al-7075 alaşımlarının (AA00, AA1Nb ve AA2Nb numuneleri) vickers sertlik değerleri alınmıştır. Alınan sertlik değerleri (AA00- 205 Hv, AA1Nb-215 Hv ve AA2Nb numunesinde 218 Hv ) AA2Nb > AA1Nb > AA00 olarak sıralanmaktadır. Nb katkısı sonrası Al matrixinde katı çözünlülüğünün artması ile sıkışık bir yapı meydana gelmesi ve yapıdaki atomların hareketinin engellenmesi sonucunda malzeme sertlik değerinde artışına neden olmaktadır.
- 4- Eriyik eğirme yöntemi ile hızlı katılaştırdığımız alüminyum alaşımlarının, yapılan çekme deneylerinde numunelerimizin elastik şekil değiştirme ve boyun verme bölgelerinin çok dar bir alanda olduğu ve uygulanan kuvvetin artırılması sonucunda plastik şekil değişimine uğramaktadır. Çünkü hızlı katılaştırma sonrasında malzememizin yapısının değiştiği, görünümde camsı bir yapıda olduğu farz edilmektedir. Elastisite modülü AA00 numunesinde 5600 MPa,

AA1Nb numunesinde 8500 MPa ve AA2Nb numunesinde 8950 MPa olarak hesaplanmaktadır ve Nb katkısı Al-7075 alaşımlarında elastisite modülü artışına neden olmaktadır.



## KAYNAKLAR

- Abrosimova, G, & Aronin, A. (2016). Amorphous and Nanocrystalline Metallic Alloys. In: Vadim Glebovsky (ed).Progress in Metallic Alloys. Institute of Solid State Physics, Russian Academy of Science. Chapter 3.
- Ak M. (2012) AA206 Alüminyum Döküm Alaşımında Empürite Demirin Mekanik Özelliklere Etkilerinin İncelenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Algerou, M. (2017). Geleneksel Döküm ve Hızlı Katılaştırılmış Al-2Sc Alaşımlarının Mikroyapı ve Elektriksel Özellikleri. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- ASM Handbook Volume 2: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, 1990 p. 137-38
- Ayday, A.(2017). Çinko-Alüminyum Esaslı ZA-12 Alaşımının Mikroyapı ve Darbe Dayanımına Bor Elementinin Etkisi. Yayınlanmış Araştırma Makalesi, *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Malzeme Bilimi ve Mühendisliği*. Sakarya.
- Budhani, R. C. Goel T C. and Chorpa, K L .(1982). Melt-spinning technique for preparation of metallic glasses. Bull. Mater. Sci, Vol. 4, No. 5 December.
- Burgucu, S. (2011). 7075 Alüminyum Alaşımlarının Üretimi ve Karakterizasyonu. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Chauhan, K. (2017). Influence of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Aluminium Alloys (6xxx Series): A Literature Review. Vol. 6 Issue 03, March.

Callister, W.Jr. (2007). Materials Science and Engineering. TA403.C23.

Cheng, J. Wang, B. Liu, Q. Liang, X. (2017). In-situ Synthesis of Novel Al-Fe-Si Metallic Glass Coating by arc Spraying. Journal of Alloys and Compounds 716.

Cherdyntsev, V. Kaloshkin, S. Tomilin, I. Shelekhov, E. Laptev, A. Stepashkin, A. and Danilov. V. (2007). Structure and Properties of Mechanically Alloyed Composite Materials Al/Al-Cu-Fe Quasicrystal. The Physics of Metals and Metallography.

Çakır A. (2015). AA7075 ve AA 2024 alüminyum malzemelerine delik delinmesinde soğutma yöntemlerinin işleme performansına etkilerinin incelenmesi. Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*. Ankara.

Çolak, H. (2019). AA 7075 Alüminyum, Alaşımlarına Uygulanan Yapay Yaşlandırma İşleminin Mikroyapı ve Mekanik Özelliklere Etkisi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Elazığ.

Davis, J. R, Davis& Associates, (1993). Aluminum and aluminum Alloys, 3-4.

Davis, J.R. (2001). Aluminum and Aluminum Alloys.

Demirel, M.Y. Karaağaç, İ. (2020). “ 7075-T6 Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Tavlama İşleminin Etkisinin Deneysel Olarak Araştırılması.” Yayınlanmamış Araştırma Makalesi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Teknoloji Fakültesi*. Ankara.

Deschams, A. Dumont, D. Brechet, Y. Siğli, C. ve Dubost, B. (2001), Process modeling of age-hardening aluminum alloys: from microstructure evolution to mechanical and fracture properties, ASM International, Materials Park, OH 298-305.

- Ebrahimi, G. Maldar, A. Ebrahimi, R. Davoodi, A. (2010). The effect of homogenization on microstructure and hot ductility behaviour of AZ91 magnesium alloy. *Kovove Mater.* 48
- Eltaib, S. (2019). Eriyik Eğirme Yöntemi ile Al-Si-Fe-TM(TM=B,Ni,Nb) Alaşımlarının Üretilmesi ve Karakterizasyonu. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.
- Eroğlu, G. & Şahiner, M. (2018). Maden Tetkik Arama, Fizilbite Etütleri Daire Başkanlığı. *Dünyda ve Türkiyede Alüminyum*.
- Figueroa, A, I, Betancourt, G, Lara, Verduzco, J.A. (2005) Effect of B, Si and Cr on the mechanical properties of Fe-based amorphous metallic ribbons. *Journal of Non-Crystalline Solids* 351, 3075–3080.
- Güleryüz K, Kaçar R. (2011). Deformasyon yaşlanmasının AA 7075 Alüminyum Alaşımının Mekanik Özelliklere Etkisinin İncelenmesi. 6. Th International Advanced Technologies symposium (IATS'11) 16-18 May.2011, Elazığ.
- Güven, O. (2005). Alüminyum, Silisyum, Magnezyum Döküm Alaşımlarının Yapı incelemesi. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. İstanbul.
- Hadeif, F. (2016). Solid-state reactions during mechanical alloying of ternary Fe- Al-X ( $X=1/4$ Ni, Mn,Cu,Ti,Cr,B,Si) systems: A review. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 419.105-118.
- Haider T. Naeem, Kahtan S. Mohammed (2013) Retrogression and Re-Aging of Aluminum Alloys (AA 7075) containing nickel. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures*. Vol. 8, No. 4 October – December.
- Kalay, Y. Chumbley, L. Anderson, I. Napolitano, R. (2007). Characterization of Hypereutectic Al-Si Powders Solidified under Far-From Equilibrium Conditions. *Materials Science and Engineering Publications*.

Juan J. Valencia, Peter N. (2008). Quested, "Thermophysical Properties."

Karataş, H. (2019). Hızlı Katılaşma Yöntemi ile Bor Katkılı Fe ve Ni Esaslı Manyetik Alaşımların Amorf Yapılı Olarak Üretimi ve Karakterizasyonu. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, *Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Kastamonu.

Katsas, S. (2011). Rolling of Aluminium: The Influence of the Casting route on Microstructural Evolution during Downstream Processing.

Khadka, P. R., J. H. Kim, I. Kim, H. Kim, J. Cho, G. Yun, J. Lee. (2014) pharmaceutical

Kılıçaslan, M. F., Altaib, S. S., Vurdu, C. D. (2019). Effect of Ni Addition on the Morphology and Microstructure of Both Conventional Cast and Melt-Spun of Al-Si-Fe-Nb (at wt%) Alloy. *Met. Mater. Int*

Kılıçaslan, M. F., Karaköse, E. (2018). Production of CNT-bearing Melt-spun Al-2Sc-0.05CNT Alloys, *Journal of Alloys and Compounds*.

Kılıçaslan, M. F. (2012). Yüksek Silisyum İçerikli Al-Si-Fe Alaşımlarının Mikroyapı Özellikleri Üzerinde Hızlı Katılaştırma ve Kobalt'ın Etkileri. Yayınlanmamış Doktora Tezi, *Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*. Tokat.

Kim, J. H., T. (2014). Interface Analysis of Annealed Al/Cu Cladded Sheet. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation* 8(3)

Kumar, S., Gandotra, S., Tripathi, H. (2016). Investigate the Effect of Additives on Mechanical Properties during Casting of 6351 Aluminium. *Matec Web of Conferences* 57, 03008 (2016).

Liang, Y. F., S. W., H. Li, Y. M. J., F. Y., & J. P. L. (2015). Fabrication of Fe6.5wt%Si Ribbons by Melt Spinning Method on Large Scale. *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, Article ID 296197, 5 pages

- Lin, Y. Wua, B. Li, S. Mao, S. Liu, X. Zhang, Y. Wang. L. (2015). The quantitative relationship between microstructure and mechanical property of a melt-spun Al–Mg alloy. *Materials Science & Engineering*. A621.
- Oghenekowho P, Odo J, Nnuka E. (2016). Effect of Nickel and Molybdenum on the Mechanical Properties of Aluminium- 4% Copper Alloy. *Ijert*, Vol. 5 Issue 04,
- Overman, N.R Mathaudhu, S.N. Choi, J.P. Roosendaal, T.J. Pitmana, S. (2016). Microstructure and mechanical properties of a novel rapidly solidified, high- temperature Al-alloy. *Materials Characterization*. 112.
- Özkan, Ş. G. Çebi, H. Delice, S. Doğan, M. ( 1997 ) . Bor Minerallerinin Özellikleri ve Madenciligi. 2 *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 16-17 Ekim 1997, İzmir.
- Rajabi, M. Vahidi, M. Simchi, A. Davami. P. (2009). Effect of Rapid Solidification on the Microstructure and Mechanical properties of Hot-Pressed Al–20Si–5Fe alloys. 60.
- Roskil, (1995). "Bor Ekonomisi", Raskill Information Services LTD. 2 Clapham Road London SW9 0JA- England. ( pp. 145).
- Suñol, J. Fort, J. (2007) Materials developed by mechanical alloying and melt spinning. January.
- Thomas A. Ivanoff, Jon T. Carter, Louis G. Hector et al (2019) "Retrogression and Reaging Applied to Warm Forming of High-Strength Aluminum Alloy AA7075-T6" *Sheet Metallurgical and Materials Transactions A Springer Nature*.
- Unlu, N. Genc, A. Ovecoglu, M. L. Laverni, E. J. Froese, F. H. (2002). Microstructural evolution during annealing of the melt-spun ternary hypoeutectic Al–7.6Si–3.3Fe (in wt.%) alloy. *Journal of Alloys and Compounds*. 343.

URL-1.Dökümhane.net/kütüphane/alüminyum-alaşımlarında- soğuma- hızı dayanımı,  
13/05/2020 tarihinde www.Dökümhane.net. adresinden alınmıştır.

URL-2.Malzemebilimi.net/alüminyum-nasıl-üretilir.html, 13/05/2020 tarihinde  
www.Malzemebilimi.net. adresinden alınmıştır.

URL-3.Bilecik.edu.tr./makine-en/wpcontent/uploads/sites/119/2016/12/metalografik-  
deneyi.pdf. adresinden 30/06/2020 tarihinde alınmıştır.

URL-4.Malzemebilimi.net/alüminyum-alasimleri.html sitesi 20/07/2020 tarihinde  
www.Malzemebilimi.net. adresinden alınmıştır.

URL-5.Sincast. info / alasim-elementleri-alüminyuma-etkisi adresinden 20/07/2020  
tarihinde alınmıştır.

URL-6. Hascometal.com/teknik-bilgiler.aspx?ID=69 adresinden 20/07/2020 tarihinde  
alınmıştır.

Wang, Y. Zhang, Z. Zheng, S. Bian. X.(2004). TEM observations of a rapidly  
solidified Al–20 Sb alloy. Journal of Alloys and Compounds. 370.

Warlimont. H.(2001). Amorphous metals driving materials and process innovations.  
Materials Science and Engineering. A304–306.

Yakut, Y. (2015) “Borik Asit (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) Katkılı Bir AlSiCu Alaşımı Kaymalı Yatak  
Malzemesinin Mekanik ve Mikroyapı Özelliklerinin İncelenmesi” *Fırat  
Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Metalurji Eğitimi Yüksek Lisans Tezi.*  
Elazığ.

Yang, H. Wang, R. Yuan, X. Li, R. Wang, J. and Tan. M. (2011). Importance of  
chamber gas pressure on processing of Al-based metallic glasses during melt  
spinning. Vol. 91, No. 10, October.

Yaykaşı H, Göğebakan M. (2019). “Normal Katılaştırma Yöntemi ile Üretilen Al-Ti-Mg-B Alaşımının Mikroyapı ve Mekanik Özellikleri”. Yayınlanmamış Araştırma Makalesi, *Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. Kahramanmaraş.

Yoshio, Baba.(2010). “Extra super duralumin and successiye aluminium alloys for aircraft.” Journal of Japan Institute of Light Metals (Sumitomo Light Metal Ind. Ltd. Japan), Volume 39, Issue 5, p. 378

Zhao, Z. Li, Y. and Xie. M. (2015). Silk Fibroin-Based Nanoparticles for Drug Delivery. *Int. J. Mol. Sci.* 16, 4880-4903

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Adem Kupçak  
Doğum Yeri ve Yılı : Kozan - 1980  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : kupcakadem@gmail.com



### Eğitim Durumu

Lise : Kozan Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi, 1997  
Lisans : Karabük Üniversitesi, Metal öğretmenliği, 2011  
Karabük Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği,  
2016

### Mesleki Deneyim

İş Yeri : Sakarya Sivil Savunma Arama ve Kurtarma Birliği, 2007-2008  
İş Yeri : Kastamonu AFAD, 2008- ∞