

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FİZİK ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Al-%40Zn , Al-%40Zn-%5Pb , Al-%40Zn-%5Ti Alaşımlarının Zor-  
Zorlanma Davranışları Üzerinde Isıl İşlem Etkilerinin İncelenmesi**

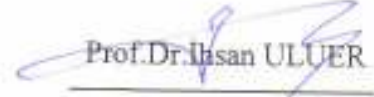
**Mustafa ŞENTÜRK**

**TEMMUZ 2005**


Fen Bilimleri Enstitüsü müdürünün onayı

  
Prof. Dr. M. Yakup ARICA  
Enstitü Müdürü

Bu Tezin Yüksek Lisans Tezi olarak Fizik Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

  
Prof. Dr. İhsan ULUER  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu Tezi Okuduğumuzu ve Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gerekliliklerini yerine getirdiğini onaylarız.

  
Prof. Dr. İlhan AKSOY  
Danışman

Tez Jürisi Üveleri  
Prof. Dr. İlhan AKSOY

Doç. Dr. Saffet NEZİR

Doç. Dr. Sedat AĞAN


## ÖZET

Al-%40Zn, Al-%40Zn-%5Pb, Al-%40Zn-%5TI  
ALAŞIMLARININ ZOR-ZORLANMA DAVRANIŞLARI ÜZERİNDE  
ISIL İŞLEM ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ŞENTÜRK, Mustafa

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Fizik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman : Prof. Dr. İlhan AKSOY

Temmuz 2005, 57 sayfa

Al- 40wt%Zn alaşımının sıkıştırma davranışı üzerine ısı işlemlerin ve üçüncü elementlerin etkileri, oda sıcaklığında elde edilen zor – zorlanma eğrileri vasıtasıyla araştırılmıştır. %10 luk sıkıştırma zorunun, mikro yapılar üzerine etkisi ve Al- 40wt%Zn, Al- 40wt%Zn- 5wt%Pb ve Al- 40wt%Zn- 5wt%TI döküm alaşımlarının mikro yapıları Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ve Enerji Dağılım Spektrometresi (EDS) tekniği ile incelenmiştir. Al- 40wt%Zn alaşımına Pb yada TI elementlerinin eklenilmesi, akma dayanımını düşürerek alaşımın zorlanma sertleşmesi davranışını yok etmiştir. Isıl işlemleri takip eden soğutma hızındaki artış Al- 40wt%Zn alaşımının akma dayanımını artırmıştır. Ayrıca akma dayanımı, homojenleştirme süresinin artırılması ile düşmüştür. Akma dayanımında

meydana gelen bu değişiklikler, ısıll işlemler neticesinde ortaya çıkan kusurların yoğunluğu ile ilişkilendirilmiştir. Deformasyondan sonra, alaşımların yüzeylerinde kayma çizgileri ve mikro çatlaklar gözlenmiştir. Al-40wt%Zn- 5%Pb alaşımında %10 sıkıştırma zorlanması ile çoklu kaymanın meydana geldiği görüldü.

**Anahtar Kelimeler** :Al-Zn alaşımları; sıkıştırma testi; Zor-Zorlanma davranışı ; soğutma oranı; akma dayanımı ; SEM

## ABSTRACT

INVESTIGATION OF THERMAL TREATMENT EFFECTS ON THE  
STRESS-STRAIN BEHAVIORS OF Al-40Zn, Al-40Zn-5Pb,  
Al-40Zn-5TI ALLOYS

ŞENTÜRK, Mustafa

Kırıkkale University

Graduate School Of Natural and Applied Sciences

Department of Physics, M. Sc. Thesis

Supervisor : Prof. Dr. İlhan AKSOY

July 2005, 57 pages

The effects of thermal treatments and third elements on compression behavior of Al- 40wt%Zn casting alloy were studied through stress- strain curves obtained at room temperature. Effects of compression strain of 10% on the microstructures and the microstructures of Al- 40wt%Zn, Al- 40wt%Zn- 5wt%pb and Al- 40wt%Zn- 5wt%TI cast alloys were investigated by scanning electron microscopy ( SEM ) and energy dispersive spectroscopy ( EDS ) technique. The addition of Pb or TI elements to the Al- 40wt%Zn alloy decreased the yield strength and it removed the strain hardening behavior. Increasing in cooling rate following the heat treatment increased the yield strength of Al- 40wt%Zn alloy. Furthermore, the yield strength decreased with increasing in homogenization time. These changes

observed in the yield strength as a result of thermal treatments related to the density of defects. Slip lines and microcracks were observed on the surface of the alloys after the deformation. Multiple slip occurred with a compression strain of 10% in Al-40%Zn-5%Pb alloy.

**Keywords:** Al-Zn casting alloys; compression test; stress-strain behavior; cooling rate; yield strength, SEM

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıŐmamn her aŐamasında değerli bilgi ve önerileri ile her konuda bana destek olan ve çalıŐmalarım boyunca karşılaŐtıđım tüm zorluklar karşısında yardımını ve emeğini hissettiğim değerli hocam sayın **Prof. Dr. İlhan AKSOY** ' a sonsuz teŐekkürlerimi sunarım. Her türlü destek, yardım ve sabırla yanımda olan **AraŐ. Gör. Dr. Uğur SARI** ve **AraŐ. Gör. Emine ALDIRMAZ** ' a teŐekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca bu alıŐmamn baŐından sonuna kadar her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyerek her zaman yanımda olan değerli ailem ve sevgili eŐime, numunelerin hazırlanması aŐamasında yardımlarını esirgemeyen MKE personeli sayın Nuri YILDIZ'a, tezimin bilgisayar ile yazımı aŐamasında yardım eden bilgisayar teknisyeni sayın Ziya BEDİR'e ve tüm bu süreç zarfında her konuda bana yol gösteren K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü personeline teşekkür ederim.

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### ŞEKİL

1.1. Bir Ötektik Sistemin Denge Diyagramı ve İç Yapı Oluşumları .....	10
1.2. Dentritik Katılaşma .....	13
1.3. Al- Zn Faz Diyagramı .....	16
1.4. Bir Alüminyum Alaşımı İçin Zor- Zorlanma Eğrisi .....	19
3.1. Orijinal Al- Zn Döküm Alaşımının SEM Fotoğrafı ve EDS Analizleri .....	36
3.2. Orijinal Al- Zn- Pb Döküm Alaşımının SEM Fotoğrafı ve EDS Analizleri.....	38
3.3. Orijinal Al- Zn- Tl Döküm Alaşımının SEM Fotoğrafı ve EDS Analizleri.....	40
3.4. Al- Zn, Al- Zn- Pb ve Al- Zn- Tl Alaşımlarının Mekaniksel Davranışları Üzerinde Isıl İşlemlerin Etkisi .....	41
3.5. Al- %40Zn Alaşımının Gerilme Davranışı Üzerine, Soğutma Oranı ve Homojenleştirme Zamanının Etkisini Gösteren Zor- Zorlanma Eğrileri .....	43
3.6. Alaşımların Mekanik Davranışı Üzerine Isıl İşlemlerin Etkisini Gösteren Zor- Zorlanma Eğrileri .....	46
3.7. Isıl İşlemlerden Sonra %10 Deforme Edilmiş Alaşımların Mikroyapıları.....	49



## SİMGELER DİZİNİ

fcc	Yüzey Merkezli kübik yapı
bcc	Hacim Merkezli kübik yapı
hcp	Sıkı Paket hegzagonal yapı
$\alpha$	Alüminyumca zengin faz
$\beta$	Çinkoca zengin faz
$\alpha + \beta$	Ötektik faz

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### ÇİZELGE

Al-%40Zn, Al-%40Zn-%5Pb ve Al-%40Zn-%5Ti alaşımlarına farklı ısıtım işlem ve farklı deformasyon uygulanarak hazırlanan numuneler.....35

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Metal ve Metal Alaşımaları .....	1
1.2. Faz Dönüşümleri.....	3
1.3. Ötektik Katılma .....	6
1.4. Dentritik Katılma .....	11
1.5. Alüminyum Alaşımaları .....	13
1.6. Al- Zn Alaşımaları .....	15
1.7. Alaşımlarda Isıl ve Mekanik İşlemler.....	16
1.7.1 Tavlama .....	16
1.7.1.a. Toparlanma.....	17
1.7.1.b. Yeniden Kristalleşme.....	17
1.7.1.c. Tane Büyümesi.....	18
1.7.2 Deformasyon.....	18
1.8. Kaynak Özetleri.....	25
1.9. Çalışmanın Amacı.....	30

2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	31
2.1. Materyal.....	31
2.1.1. Numunelerin Hazırlanması.....	31
2.1.2. Zor- Zorlanma Deneyleri İçin Örneklerin Hazırlanması.....	32
2.1.3. SEM ve EDS İncelemeleri İçin Örneklerin Hazırlanması.....	33
2.2. Yöntem.....	33
2.2.1. SEM ve EDS.....	33
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	35
3.1. Al- Zn, Al- Zn- Pb ve Al- Zn- Ti Alaşımlarının Mikroyapılarının SEM ile İncelenmesi .....	36
3.2. Al- Zn, Al- Zn- Pb ve Al- Zn- Ti Orijinal Alaşımlarının Mekaniksel Davranışları.....	41
3.3. Al- Zn, Al- Zn- Pb ve Al- Zn- Ti Orijinal Alaşımlarının Mekaniksel Davranışları Üzerinde Isıl İşlemlerin Etkisi.....	43
3.4. Al- Zn, Al- Zn- Pb ve Al- Zn- Ti Orijinal Alaşımlarının Mikroyapıları Üzerinde Deformasyon Etkisinin İncelenmesi.....	47
4. SONUÇ.....	50
KAYNAKLAR .....	54

# 1.GİRİŞ

## 1.1. Metal ve Metal Alaşımları

Yüksek ısı ve elektriksel iletkenliği olan, “metal parlaklığı” denen özel bir parlaklığa sahip,biçim değiştirmeye karşı bir yatkınlık ve katyon oluşturmaya karşı belirgin bir eğilim göstermesiyle ayırt edilebilen, genellikle normal sıcaklık ve basınç altında katı halde bulunan, kendine özgü fiziksel ve kimyasal özellikleri bulunan basit elementlerin her biri metaldir.

Endüstriyel metaller çoğunlukla birden fazla tür eleman içerirler. Pek azı arı halde kullanılmaktadır. Arı metaller; yüksek iletkenlik, korozyona dayanıklılık gibi bazı üstün özelliklere sahip olmalarına rağmen genellikle yumuşak, mukavemetleri düşük ve pahalıdırlar.

Metalik malzemeler genelde alaşım şeklinde kullanılmaktadırlar. Alaşımlama, farklı özelliklere sahip elementlerin bir araya getirilmesiyle üstün özelliklerin maksimum şekilde tek bir malzemede toplanması için uygulanan bir işlemdir. En az biri metal olmak üzere iki veya daha çok metal veya metalloidin bir araya getirilmesi sonucu elde edilen metalik karakterdeki yeni malzemelere alaşım denmektedir.

Alaşım sistemi, farklı element atomlarının mümkün olan bütün oranlarda karıştırılması sonucu meydana gelen bütün alaşımları içerir. Alaşımlar genellikle yapılarına ve faz diyagramlarına bağlı olarak sınıflandırılabilir.

Alaşımları yapılacak olan metallere katkı elemanları ergimiş halde katılmaktadır. Değişik tür atomlar sıvı halde kolayca karışarak homojen sıvı eriyik oluştururlar. Katılaşma sırasında yabancı elemanlar kafes yapıda varlığını korursa katı eriyik elde edilmektedir<sup>(1,2)</sup>.

Alaşım sistemlerinde atomların kafes sisteminin konumlarını rasgele doldurdukları yapılar düzensiz katı eriyikler denir. Bazı hallerde ise alaşım elementinin atomları düzenli olarak yerleşirler ve kafesin belirli bölgelerinde yerleşim gösterirler. Bu durumda oluşan yapıya düzenli katı eriyik ve tekrar eden her birim kafese de süper kafes denmektedir. Düzenli yapının oluşumu rasgele dağılım gösteren atomların, yüksek sıcaklıklarda yavaş soğutulması veya düşük sıcaklıkta tavlınması sırasında meydana gelen atomik düzenlemelerle gerçekleşmektedir.

Katı eriyik sistemlerinde kafes yapıya sahip ana elemana eriten sistem, içinde dağılmış halde bulunan elemana ise eriyen sistem denmektedir. Eğer; eriyen atomlar, eritenin yerini alırsa; yer alan katı eriyiği, kafes boşlukları arasına yerleşirse; ara yer katı eriyiği oluşur<sup>(3)</sup>. Her iki halde de farklı çaptaki atomların kafes yapıya girmeleri sonucu çevrelerinde gerilme alanı doğar, dolayısıyla enerji artar. Enerjideki bu artış ise katı eriyiğin mekanik ve elektriksel özelliklerini büyük ölçüde etkiler.

Genel olarak alaşımlar, kendilerini teşkil eden maddelerden daha sert ve dayanıklıdırlar. Isı ve elektriği iyi iletirler. Alaşımlar, genellikle kendilerini meydana getiren metallerden daha az aktiflik özelliği gösterirler. Genel olarak oksijen, alaşımlar üzerine etki etmesine rağmen; alaşımlar, kendilerini

oluşturan maddelerden daha az oksitlenebilen ve asitlerden daha az etkilenebilen karışımlardır.

## 1.2. Faz Dönüşümleri

Bir malzemede iç yapı yönünden farklı olan kısımlara faz denir. Her faz, atomların homojen olarak dizilmeleri sonucu oluşan belirli bir yapıya sahiptir. İki faz arasındaki sınır atomik diziliminin hatalı olduğu bir yüzeydir ve bu yüzey, dislokasyonların kaymasıyla kesişerek metalleri mukavemetlendirir<sup>(3)</sup>.

Bir cisim sıvı halden katı hale geçerken faz dönüşümü oluşur. Farklı bileşimde olan cisimler, sıvı halde kolayca birbirleri içinde atom veya molekül mertebesinde karışarak eriyik meydana getirir<sup>(1)</sup>.

Saf bir metal, katılaştıkça çok kristalli bir yapı oluşmaktadır. Bu yapıdaki her tane birbirine özdeşdir. Yalnız kristal doğrultuları rasgele dağılmıştır. Bir metale sıvı halde başka bir metal katılarak elde edilen alaşım, katılaşmadan sonrada karışımını korursa Homojen ( tek fazlı) bir alaşım oluşur. Katı alaşımlarda, alaşım elementlerinin birisinin kafesinde, diğer alaşım elementinin atomları homojen olarak dağılmış durumda bulunurlar<sup>(2)</sup>.

Temel alaşım elementinin, eklenen diğer alaşım elementinin atomları eritme yeteneği sınırlı ise ve eklenen diğer alaşım elementinin atomlarının miktarı bu sınırın üstünde ise; katılma sürecinde; eklenen alaşım elementinin fazlası ikinci bir faz halinde ayrılarak Homojen olmayan ( çift fazlı ) alaşım oluşturur. Birinci faza genellikle  $\alpha$ , ikinci faza da  $\beta$  fazı

denmektedir<sup>(3)</sup>. Genellikle sürekli ve çok miktarda bulunan faza, “matris” ismi verilirken; küçük miktarda bulunan ikinci faz ise “çökelti(çökelek)” olarak adlandırılmaktadır<sup>(3)</sup>.

Genel olarak kristal yapıları cisimlerde atomlar belirli konumları almak ve en düşük enerjiye sahip olmak zorunda olduklarından alaşım oluşturma yetenekleri sınırlıdır. Bu nedenle bu tür cisimlerde faz sayısı yüksek olmaktadır<sup>(3)</sup>.

Bir cisim bağ kuvvetleri etkisi altında en düşük enerjili denge konumunda bulunan atomlar grubundan oluşur. Homojen olarak dizilmiş atomlar kararlı denge halinde belirli bir faz meydana getirirler. Ancak koşullar değişirse enerji içeriği değişir, denge bozulur, atomlar daha düşük enerji gerektiren başka bir denge konumuna geçerek değişik biçimde dizilir ve sonuçta yeni bir faz oluşur. Fazların oluşumunda ve dönüşümünde ana etken enerji içeriğidir, bu içeriği değiştiren üç ana etken vardır: Sıcaklık, basınç ve bileşimdir. Arı cisimler tek bileşenli en basit yapıları sistemlerdir, sıcaklık ve basınca bağlı olarak katı, sıvı ve gaz halinde bulunmaktadırlar. Birden fazla tür atom içeren çok bileşenli sistemlerin dengesi oldukça karışıktır. Sıcaklık ve basıncın yanında bileşim de iç yapı oluşumunu etkilemektedir ve bunlar değiştiği zaman değişik tür fazlar meydana gelmektedir. Bu değişkenler etkisinde doğacak fazların türlerini ve bunların özelliklerini bilmek uygulama yönünden çok önemlidir. Böylece amaca yönelik ve istenen özelliklere sahip malzeme üretimi olanakları sağlanabilir. Bunun için gerekli bilgiler ancak denge diyagramları yardımı ile elde edilebilmektedir. Bu diyagramlardan belirli bir malzeme sisteminde sıcaklık ve bileşime bağlı olarak oluşacak



fazların türleri, bileşimleri ve miktarları saptanabilmekte, hatta iç yapılar da tahmin edilebilmektedir. Endüstride, malzeme üretiminde ve mekanik özellikleri değiştirmek için uygulanacak ısı işlemlerde denge diyagramlarından büyük ölçüde yararlanılmaktadır<sup>(1,2)</sup>.

Bir cisim denge halinde bulunan bir fiziksel kütle olarak tanımlanır. Bu kütle içinde homojen dağılmış atomlar buldukları konumu sürekli olarak korumaktadırlar. Ancak çevre koşulları değişirse, mevcut enerji dengesi bozulur ve atomlar buldukları konumdan daha düşük enerji gerektiren başka bir konuma geçmeye zorlanırlar. Kütle halinde atomsal hareket sonucu iç yapı değişir ve yeni bir denge yapısı elde edilir. Diğer bir deyimle bir faz bir başka faza dönüşür. Bu şekilde faz dönüşümleri sonucu özelliklerde değişmektedir. Daha öncede belirtildiği gibi fazların dengesini etkileyen üç ana değişken bileşim, sıcaklık ve basınçtır. Bu değişkenler yardımı ile faz dönüşümlerini kontrol ederek, istenen özelliklere sahip, ihtiyaca uygun türde malzeme elde etmek mümkün olmaktadır<sup>(4)</sup>.

Cisimlerde iç yapı oluşumunda en önemli ana etken enerjidir. Fiziksel doğanın temel özelliklerinden birisi enerjisi azalan bir cisimde kararlılığın artmasıdır. Sistemler daima sahip oldukları enerjiyi azaltan konumlara doğru yönelerek daha kararlı hale gelme eğilimi göstermektedirler<sup>(1,2)</sup>.

Bir faz dönüşme veya denge sıcaklığına gelince başka bir faza dönüşmeye başlamaktadır. Ancak bu dönüşme otomatik olarak oluşamaz, bunun için bazı koşulların sağlanması zorunludur. Faz dönüşümleri genellikle yüksek enerjili sınırlarda başlamaktadır. Yeni faz kütle içinde oluşacaksa; önce, bir faz sınırının meydana gelmesi gerekmektedir<sup>(3)</sup>.

Faz dönüşümleri iki aşamada oluşur. Birincisi yeni faz çekirdeklerinin doğması, diğeri doğan çekirdeklerin büyümesidir. Çekirdeklerin doğması için belirli bir süreye gerek vardır. Kuluçka devresi denen bir süre içinde iç yapıda bir değişiklik görülmez. Çekirdeklerin mikro düzeyde görülmeye başlaması için geçen süreye çekirdeklenme süresi denmektedir. Çekirdekler doğduktan sonra büyüyerek bütün kütleyi kaplamaya başlarlar.Yeni çekirdekler kütlenin %50 sini oluşturduğu zaman dönüşme hızı maksimuma erişmektedir<sup>(3)</sup>.

Fazların dönüşüm hızı hem çekirdeklenme hızına, hem de çekirdeklerin büyüme hızına bağlıdır. Dönüşme hızı hem yüksek ve hem de düşük sıcaklıklarda yavaştır, fakat bir ara sıcaklıkta maksimum değer almaktadır<sup>(1)</sup>.

Faz dönüşümleri ve dönüşüm sonucu oluşacak iç yapılar soğuma koşullarına bağlıdır. Soğuma koşullarını kontrol ederek iç yapı oluşumlarını denetleme olanağı vardır<sup>(3)</sup>.

Bir malzeme sisteminde fazların bileşime ve sıcaklığa bağlı olarak değişimini gösteren diyagramlara denge diyagramları veya faz diyagramları denir. Uygulamada büyük önemi olan bu diyagramlar malzeme üretiminde, iç yapıları ve kararlılık bölgelerini saptamada ve ayrıca çeşitli ısıl işlemlerde kullanılır<sup>(1,2)</sup>.

### **1.3. Ötektik Katılma**

Ötektik yapı, pek çok alaşım sistemindeki ısıl işlemlerin temelini oluşturmaktadır ve ötektik reaksiyonlar tamamen katı durum

reaksiyonlarıdır<sup>(3)</sup>. Şekil 1.1' de ötektik katılaşmaya ait faz diyagramı verilmiştir.

Birbirlerini sınırlı oranda eriten bazı iki bileşenli sistemlerde bileşenler birbirlerinin ergime sıcaklıklarını düşürür ve en düşük ergime sıcaklığına sahip bileşimdeki alaşım ötektik reaksiyon sonucu katılaşır. Buradan ötektik faz dönüşümünün, iki bileşenli sistemler için gerçekleşen bir katılaşma biçimi olduğu anlaşılmaktadır<sup>(5,6)</sup>.

Ötektik reaksiyonda alaşımlar, sabit sıcaklıkta katılaşırlar ve bu reaksiyon sonucunda sıvı faz, aynı anda iki ayrı katı faza dönüşür<sup>(07)</sup>. Bu reaksiyon süresinde iki katı faz yan yana, ince tabakalar halinde oluşarak ötektik yapıyı meydana getirir. Bu şekilde hem ergime sıcaklığının düşürülmesi, hem de genellikle üstün özellikli ince karışımın oluşması nedeniyle ötektik sistemler uygulamada özel bir önem taşımaktadır.

Bir ötektik reaksiyon esnasında,  $\alpha$  ve  $\beta$  olmak üzere iki katı eriyik oluşur. Bu iki katı eriyiğin kompozisyonu ötektik çizginin uç noktaları ile belirlenmektedir. Alüminyumca zengin katı  $\alpha'$  ya ve çinkoca zengin katı  $\beta'$  ya dönüşürken ötektik reaksiyon sırasında difüzyon olmak zorundadır. Difüzyon, bir malzeme içerisindeki atomların yayılımı olarak tanımlanır. Ötektik alaşımlarda  $\alpha$  ve  $\beta$  kristalleri aralarındaki yakın ilişki nedeni ile yan yana, çok ince tabakalar halinde büyürler. Difüzyon kurallarına göre en hızlı yayılım en zengin bölgeden en fakir bölgeye doğru olmaktadır. Bu durumda; Al-Zn alaşımı için Zn atomları  $\beta'$  dan  $\alpha'$  ya , Al atomları da  $\alpha'$  dan  $\beta'$  ya doğru daha yüksek hızla yayınırlar. Bu tür atom alışverişi sonucu  $\alpha$  ve  $\beta$  fazları yan yana büyüme eğilimi gösterirler. Bu tür katılaşmada öncelikle ana faz

çekirdeklenmekte daha sonra ise diğer faz çekirdeklenmektedir. Ötektik yapılaşmada görülen tane sınırları tabakalı ötektik yapı bölgelerini ayırmaktadır<sup>(3,5,8,9,10,11)</sup>.

Ötektik reaksiyonlar düşük sıcaklıklarda meydana gelmektedir. Bu nedenle döküm ve lehimleme için kullanılan alaşımlar, ötektik reaksiyonun düşük ergime noktası avantajına sahiptirler. Ötektik alaşımlar aynı sıcaklıkta eriyip katılaşırlar. Ötektik reaksiyonlarda ısı duraklamalar meydana geldiğinden yani faz dönüşümleri tamamlanıncaya kadar sıcaklık değişmediğinden, ötektik alaşımın soğuma eğrileri, saf metalin soğuma eğrisine benzemesine rağmen, katı haldeki saf metal tek faza, ötektik alaşım çift faza sahip olduğu için bu iki sistemin katılaşmaları farklıdır<sup>(3)</sup>.

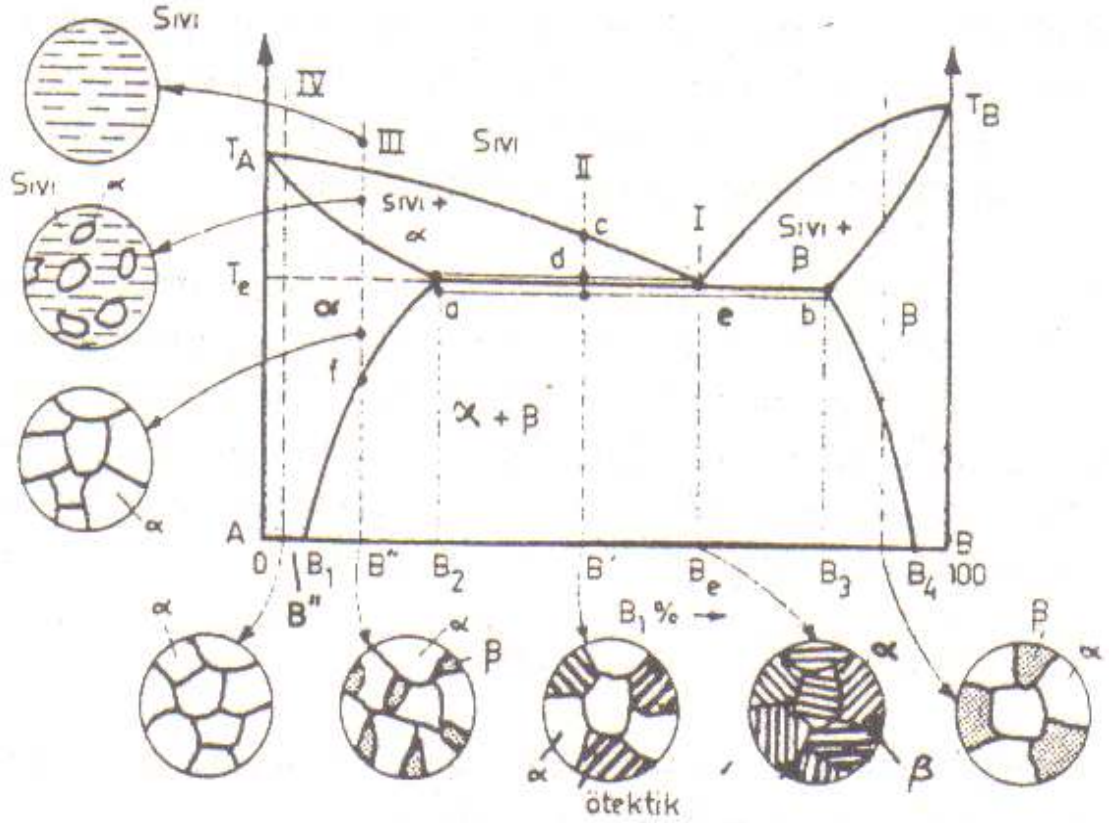
Ötektik tanelerin her biri bağımsız olarak çekirdeklenir ve büyür. Her bir tane içinde ötektik mikro oluşumda lamellerin yönlenmesi benzerdir. Ötektik bir tanenin sınırını geçerken yönlenme değişebilir. Ötektik tane boyutu inceltilebilir ve sonuç olarak aşılama ile ötektik alaşımın dayanımı iyileştirilebilir<sup>(3)</sup>.

Bir ötektik alaşımda lameller arası aralık bir  $\alpha$  lamelinin merkezinden daha sonraki  $\alpha$  lamelinin merkezine olan aralıktır. Taneler arası aralığın küçük olması, her bir lamelin ince ve bunun sonucu olarak da  $\alpha$ -  $\beta$  ara yüzey alan miktarının büyük olduğunu gösterir. Bu nedenle küçük lameller arası aralık, ötektik dayanımı artırmaktadır<sup>(3)</sup>.

Bazı ötektik alaşımlar, soğuk şekillendirme ile mukavemetlendirilebilirler. Uygun aşılama veya tane incelticiler ilave edilerek, tane boyutu kontrol edilebilmektedir. Buna karşın ötektik içindeki iki katı fazın

miktar, boyut, Şekil ve dağılımlı kontrol edilerek, 6zellikler en iyi Şekilde deđiŐtirilebilmektedir<sup>(3)</sup> .

6tektik alaşımlar, 6tektik altı ve 6tektik 6st6 alaşımlar olmak 6zere ikiye ayrılmaktadır. 6tektik altı alaşımlar, 6tektik karışımın solunda yer alırken; 6tektik 6st6 alaşımlar, 6tektik karışımın sağında meydana gelen katılaŐmadırlar<sup>(3)</sup>.



**Şekil 1.1** Bir ötektik sistemin denge diyagramı ve iç yapı oluşumları

Bu grafikte;

$\% B_e$  : Ötektik bileşim

$T_e$  : Ötektik sıcaklığı

$T_A, T_B$  : Sırasıyla A ve B metallerin ergime sıcaklığı

$\% B_1$  : Oda sıcaklığında B nin  $\alpha$  fazında erime sınırı

$\% B_2$  : B metalinin  $\alpha$  fazında en yüksek erime sınırı

$\% B_3$  :  $\%100 - B_3 = \% A_3$  A nın  $\beta$  daki en yüksek erime sınırı

$\% B_4$  :  $\%100 - \%B_4 = \%A_4$  A metalinin  $\beta$  da oda sıcaklığında erime sınırı olarak tanımlanmaktadır.

#### 1.4. Dendritik Katılma

Dendritik katılma, günümüzde en çok kullanılan, alüminyum ve elik alaşımları da dahil, bütün metal ve alaşımın katılmasının her yerinde olan ve en iyi bilinen mikro yapıdır <sup>(12,13)</sup>. Özellikle teknik konularla ilgili metaller için, malzemenin termofiziksel özellikleri ve katılma koşullarının kararlı olmasında dendritik biçimdeki yapıların olması istenir <sup>(14)</sup>.

Dendrit terimi, sıvı formun katıya dönüşümü esnasındaki kristal formun morfolojik şeklini tanımlamak için kullanılır <sup>(13)</sup>. Dendritik büyüme, henüz çekirdeklenmenin zayıf olduğu durumda; sıvı sistem, erime sıcaklığının altındaki bir sıcaklığa soğutulursa; katı-sıvı ara yüzeyinde bulunan dendritik yapı büyümeye devam eder. Bu arada ergime ısısı, alt soğuyan ısıya iletilerek sıvının sıcaklığı, katılma sıcaklığına kadar yükselir. Bütün bu olayların neticesinde birincil kollar üzerinde, ikincil kollar oluşup büyüyerek dendritik yapıyı oluşturur <sup>(15)</sup>.

Normalde, bir sistem erime sıcaklığının altına soğutulduğu zaman, yerel denge koşullarının altında bir kristal yapı oluşur. Bununla birlikte, eğer sistem, erime sıcaklığının altında bulunan yarı-kararlı sistem içine doğru erime sıcaklığının ilerisine kadar soğutulursa, katılma şekillerinde büyük değişiklikler meydana gelir. Erime sıcaklığının altında katılmalar olduğu zaman, katı-sıvı ara yüzeyi içerisine doğru gözükmeyen ısı hareketi olduğu ve bununda ara yüzeyin yanında sıcaklık artışına neden olduğu kabul edilir <sup>(15)</sup>. Katı-sıvı ara yüzeyin önünde meydana gelen ısı ve seri taşımadan dolayı katılma süresince dendritik katılma ve dolayısıyla mikro yapı etkilenir <sup>(14)</sup>.

Erimiş hacmin sıcaklığı, erime sıcaklığının altına ulaşırsa ara yüzeyin ilerisinde negatif sıcaklık gradyenti oluşur. Benzer olarak, alaşımların konsantrasyonlarında meydana gelen bir değişim, katılaşma üzerinde, ara yüzeyin ilerisinde ilave bir konsantrasyon gradyentinin oluşumuna neden olur. Bütün bu sonuçlar katı-sıvı ara yüzey düzleminde dendritik büyümeye neden olur <sup>(15)</sup>.

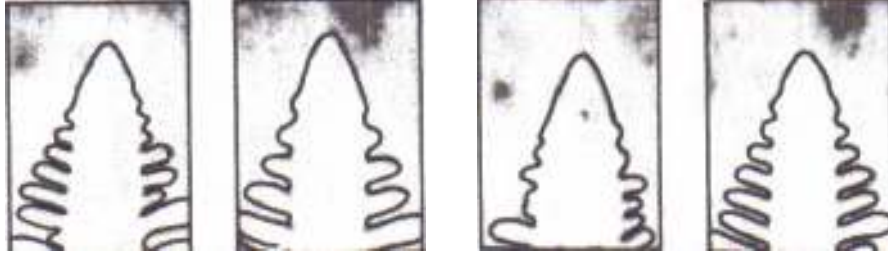
Hızlı ara yüzey hareketleri esnasında, katı-sıvı ara yüzeyindeki yerel dengeden sapmalar meydana gelir. Saf metallerin erime sıcaklıklarının altında soğutulmalarıyla meydana gelen hızlı dendritik büyüme esnasında, sıcaklığın katılaşmanın altına düştüğü görülür <sup>(15)</sup>.

Dendritler, geometrik olarak karmaşık yapılardır. Bu karmaşık yapılar, dendrit formlarının işlemlerinin anlaşılması için önemlidir. Çünkü, bu geometrik olarak karmaşık yapıların işaretleri, daha sonra yapılacak olan malzeme işleme aşamalarının devam etmesi ve tamamlanmış ürünün özelliklerinin belirlenmesi için gereklidir <sup>(19)</sup>. Dendritlerin şekli, ölçüsü ve yönelmeleri, döküm ve kaynaklanmış metallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin geniş kapsamlı olarak belirlenmesinde kullanılır <sup>(12)</sup>.

Dendritik kristallerin büyüme sıcaklığındaki, dendritik katılaşma yöntemleri oldukça güvenilirdir. Çünkü, sıvının sıcaklık ilkelerine (süper soğutma) göre; çalışma gücü katılaşmanın arkasında kalır. Dendritik büyüme teorisi, süper soğutma davranışları kadar saf malzemelerin katılaşmasındaki değişken yöntemler kadar belirleyici bir biçimdir. Kısacası; süper soğutma kontrolleri, katılaşma oranı, mikro yapı içerisindeki birçok morfolojik ölçü



özellikleri ile birlikte, yapının toplam ölçüsü, dendritlerin yan kolları arasındaki mesafeye bağlıdır <sup>(13)</sup>. Şekil 1.2 ' de dendritik büyüme açıkça görülmektedir.



**Şekil 1.2** Dendritik katılaşma

### 1.5. Alüminyum Alaşımları

Alüminyum kendine has özellikleri ile, çok eski çağlardan beri bilinen ağaç, bakır, demir ve çelik gibi bir çok malzemeden daha önce önem kazanmış bir metaldir. 19. yüzyılın ikinci yarısından beri endüstriyel çapta üretilen çok genç bir metal olmasına rağmen; bugün bakır ve alaşımları ile kurşun, kalay ve çinko gibi tüm demir dışı metallerin toplam kullanımından daha çok miktarda kullanılmaktadır.

Alüminyum ve alaşımlarının günümüzde birçok endüstri dallarında kullanım imkanı bulunmaktadır. İnşaat, ulaşım, savaş sanayi, elektrik uygulamaları ve ambalaj sektörleri başta olmak üzere geniş bir kullanım alanını sahip olan alüminyum ve alaşımları, günden güne daha geniş bir kullanım sahasına yayılmaktadır. Alüminyum, yoğunluğunun düşük olmasına rağmen, mukavemetinin yüksek olması, ısı ve elektrik iletkenliğinin oldukça

iyi olması, korozyon direncinin yüksek olması gibi birçok özelliği bir arada taşıması nedeniyle diğer metallere göre tercih edilmektedir. Dünya rezervlerin yeterlilik nedeniyle alüminyum, gelecekte de önemini korumaya devam edecektir<sup>(4)</sup>.

Alüminyumun sahip olduğu özelliklerin birleşimi onu son derece faydalı bir mühendislik malzemesi haline getirmektedir<sup>(1,2)</sup>. Alüminyumun en belirgin karakteristik özelliği olarak; gümüş parlaklığını, hafifliğini, kolay dövünebilirliğini ve sünekliğini sayabiliriz<sup>(4)</sup>.

Aslında alüminyumun en önemli özelliği hafifliğidir. Yoğunluğu  $2.70\text{g/cm}^3$ tür ve bu değer demir ve bakırın yaklaşık üçte biridir. Bu özelliği nedeniyle de özellikle taşıt parçalarının yapımında tercih edilmektedir. Ayrıca ısı ve elektriği bakır kadar iyi iletirmektedir<sup>(4)</sup>.

Alüminyum alaşımları üretim metotları esas alınarak dövme ve döküm olmak üzere iki ana alt gruba ayrılabilir. Bu da, imal usullerinin farklı ihtiyaçları olduğunu gösterir. Plastik deformasyonla şekillendirilebilen dövme alaşımlar, döküm alaşımlardan oldukça farklı mikro yapı ve kompozisyonlara sahiptirler. Her ana grup içindeki alaşımlar, ısıl işlem yapılabilir ve ısıl işlem yapılamaz alaşımlar olmak üzere iki alt gruba ayrılabilirler<sup>(1,2,3)</sup>.

Alüminyum alaşımları genel olarak aşağıdaki şekilde gruplandırılmaktadır<sup>(3)</sup>;

1. Alüminyum – Bakır alaşımları
2. Alüminyum - Mangan Alaşımları
3. Alüminyum- Silisyum Alaşımları

4. Alüminyum – Magnezyum Alaşımları

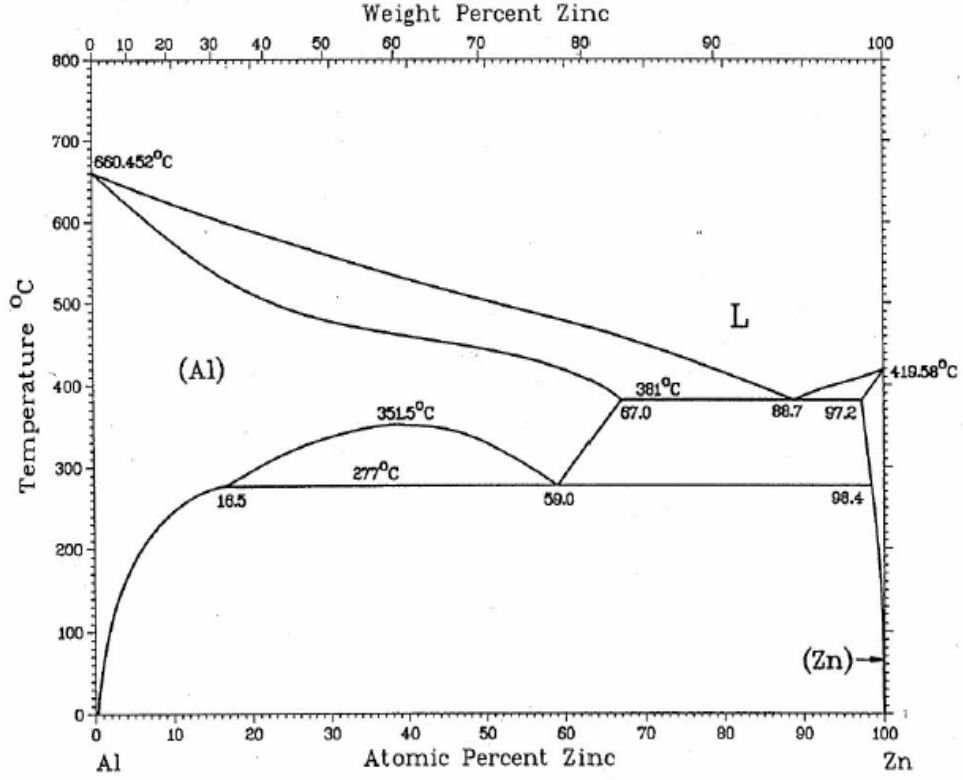
5. Alüminyum- Silisyum- Magnezyum Alaşımları

6. Alüminyum- Çinko Alaşımları

### 1.6. Al – Zn Alaşımları

Bu grubun ana alaşım elementi çinko olmakla birlikte, magnezyum ve bakır da bulunmaktadır. Şekil 1.3 ' de Al- Zn alaşımlarına ait faz diyagramı verilmiştir. Bu alaşımlar ısıtıldığında, çinko ve magnezyum birleşerek güçlendirici temel çökelti olan  $MgZn_2$  metaller arası bileşimini oluşturmaktadır. Çinko ve Magnezyum, alüminyumdaki nispeten yüksek çözünürlüğü, yüksek yoğunlukta çökelti oluşmasına ve bu da çok yüksek dayanımlara ulaşılmasına imkan vermektedir<sup>(1,2)</sup>. Al- Zn alaşımlarında; çinkonun alüminyum içinde, 275°C' de çözünürlüğü % 31.6 dır ve 125°C' de %5.6 ya düşmektedir<sup>(4)</sup>.

Bu alaşımların gerilme korozyona karşı duyarlılıkları, kromun eklenmesiyle ve uygun ısıtılımlarla minimize edilmiştir. Başlıca uygulama alanları; yüksek mukavemet ve iyi korozyon direnci gerektiren uçak parçaları ile metal doldurma elektrodu imalatında kullanılmaktadır<sup>(4,16)</sup>.



**Şekil 1.3** Al- Zn faz diyagramı

## 1.7. Alaşımlarda Isıl ve Mekanik İşlemler

### 1.7.1 Tavlama

Tavlama, soğuk şekillendirme etkilerini yok etmek ve soğuk şekillendirilmiş metali orijinal yumuşak ve sünek şartlarına geri döndürmek için tasarlanmış bir ısıtma işlemidir. Tavlama pek çok şekilde ve aşamada yapılır. İlk olarak, tavlama soğuk şekillendirme sırasında oluşan pekleşmeyi tamamen yok etmek için uygulanabilir. Tavlama sonrası parça yumuşak ve sünektir, bununla birlikte iyi bir yüzey kalitesi ve düzgünlüğüne sahiptir. İkinci olarak tavlama sonrası süneklik yeniden kazandırıldığı için tavlama sonrası

soğuk şekillendirmeye devam edilebilir. Tekrar edilen soğuk şekillendirme ve tavlama işlemleriyle, büyük miktarlarda şekil değiştirme sağlanabilir. Son olarak, soğuk olarak şekillendirilmiş bir parçada şekillendirme sırasında oluşan kalıntı gerilmeleri gidermek için mekanik özellikleri etkilemeksizin, düşük sıcaklıklarda tavlama yapılabilir<sup>(3)</sup>.

Tavlama işleminde üç aşama vardır.

a.Toparlanma: Gerilim giderme veya toparlanma tavlaması kalıntı gerilmeleri gidermek için tasarlanmış bir düşük sıcaklık ısıl işlemidir. Mikro yapı; karmaşık, çok sayıda dislokasyonları içeren şekil değiştirmiş tanelerden oluşmaktadır. Metal hafif yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında bir taraftan kalıntı gerilmeler azalır ve sonunda yok olurken, diğer taraftan dislokasyonlar hareket eder ve yeniden düzene girer.

Buna karşın dislokasyonların miktarında önemli bir azalma oluşmaz. Bunun yerine dislokasyonlar poligonal bir ağ şeklinde yeniden düzene girer. Dislokasyonların sayıları azalmadığı için metaller mekanik özellikleri nispeten değişmez<sup>(3)</sup>.

b.Yeniden Kristalleşme: Yeniden kristalleşme çok az dislokasyon içeren yeni tanelerin çekirdeklenme ve büyümesi ile olur. Metal, yeniden kristalleşme sıcaklığının üzerine ısıtıldığında, hızlı bir toparlanma ile kalıntı gerilmeler yok olur ve poligonlaşmış dislokasyonlar yapısı oluşur. Yeni taneler bu durumda poligonlaşmış alt tane sınırlarında çekirdeklenir ve dislokasyonların çoğu yok olur. Dislokasyonların sayısı büyük miktarda azaltıldığından yeniden kristalleşen metal, dayanımı düşerken yüksek bir süneklığe sahip olur<sup>(3)</sup>.

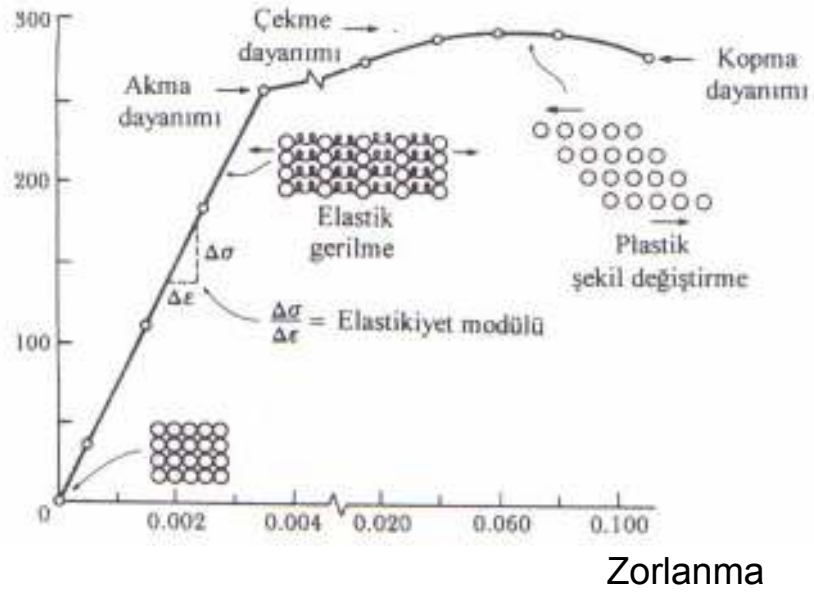
c.Tane Büyümesi: Yüksek tavlama sıcaklıklarında toparlanma ve yeniden kristalleşmenin her ikisi de hızlı bir şekilde gerçekleştiğinden yeniden kristalleşmiş ince taneler oluşur. Büyük miktara ulaşan tane sınır birim yüzey enerjisi, yüksek sıcaklıkta küçük taneli yapıyı dengesiz hale getirir. Bu enerjii azaltmak için nispeten büyük tanelerin küçük taneleri yutmasıyla tane büyümesi başlar. Bu olay tane büyümesi olarak adlandırılır. Tane büyümesi hiçbir zaman arzu edilmez.

Tavlama ısıl işlemini seçerken dikkate alınması gereken üç önemli faktör vardır. Bunlar yeniden kristalleşme sıcaklığı, yeniden kristalleşmiş tanenin boyutu ve tane büyüme sıcaklığıdır<sup>(3)</sup>.

### 1.7.2 Deformasyon

Bir metale veya alaşıma, bir eksenli çekme veya basma kuvveti uygulandığında, metalde veya alaşımda biçim değiştirme meydana gelir.Kuvvet kaldırıldığında numuneler eski boyutlarına dönerse; metal veya alaşımın elastik şekil değiştirdiği söylenir. Zor - zorlanma eğrisinin bu elastik kısmında oluşan numunedeki uzama eski haline dönebilir. Elastik şekil değiştirme sırasında, numunenin atomları ilk yerlerinden oynatıldıkları halde bu oynama onların yerlerini değiştirecek kadar fazla değildir. Bu nedenle numunelerin elastik şekil değiştirmesine neden olan kuvvet kaldırıldığında numune atomları ilk yerlerine döner ve numune başlangıçtaki şeklini alır<sup>(1,2)</sup>. Şekil 1.4 ' te bir alüminyum alaşımı için zor-zorlanma grafiği verilmiştir.

**Zor ( MPa)**



**Şekil 1.4** Bir alüminyum alaşımı için zor-zorlanma eğrisi<sup>(3)</sup>

Metal veya alaşım, tam olarak eski boyutlarına dönemeyecek kadar şekil değiştirdiyse; numunelerin plastik şekil değiştirdikleri söylenir. Plastik şekil değiştirme sırasında numune atomları kalıcı olarak başlangıçtaki yerlerinden uzaklaşarak yeni yerlere yerleşirler<sup>(1,2)</sup>. Numuneler, ancak büyük kuvvetler uygulandığında plastik davranış göstererek kalıcı olarak şekil değiştirirler. Bunun nedeni ise; gerilmenin artmasıyla dislokasyonların hareket etmeye başlayarak kayma oluşturmasıdır. Kuvvet kaldırıldığında elastik şekil değişikliği ortadan kalkarken, kaymanın neden olduğu şekil değişikliği kalıcıdır. Kaymanın başladığı nokta elastik ve plastik davranışı ayıran noktadır ve bu nokta akma noktası olarak tanımlanır( Şekil1.4 )<sup>(3)</sup> .

Bir malzemenin akma dayanımı, kaymanın fark edilir ve etkili olduğu durumda ki gerilmedir. Gerilme- gerinme çizgisinde elastik gerinmenin bitip plastik gerinmenin başladığı kesin bir nokta olmadığından, akma sınırı belirli

bir miktarda plastik şekil değiştirmenin meydana geldiği nokta olarak kabul edilir<sup>(1,2)</sup> .

Kullanım esnasında, uygulanan kuvvete dayanabilecek parçalar tasarlanıyorsa, parçaların plastik olarak şekil değiştirmeden emin olunmalıdır. Diğer yandan, şekillendirme ve şekil değiştirme işlemi gerektiren bazı parçaların üretiminde, uygulanan gerilme, malzemenin şeklinde kalıcı bir değişiklik oluşturması için akma dayanımının üzerinde olmalıdır. Akma dayanımı, metalin veya alaşımın şekil değiştirip değiştirmeyeceğini belirler<sup>(3)</sup> .

Çekme dayanımı ise, uygulanan en yüksek kuvvetle elde edilen gerilmedir. Bu nedenle mühendislik gerilme- gerinim eğrisi üzerindeki, maksimum gerilmedir. Pek çok sünek malzemede şekil değiştirme uniform olmaz. Bazı noktalarda bir bölge diğer bölgelerden daha fazla şekil değiştirir ve kesit alanda büyük bir bölgesel daralma olur. Bu bölgesel şekil değiştirmiş bölge; 'boyun' olarak adlandırılır. Çünkü bu noktada kesit alan daralır. Şekil değiştirmeye devam etmek için düşük kuvvet gereklidir ve orijinal alan ( $A_0$ )'dan hesaplanan mühendislik gerilmesi azalır.

Çekme dayanımı, boyun vermenin başladığı gerilmedir. Çekme dayanımları, malzeme davranışlarının belirlenmesinde kullanışlıdır ve ölçülmesi güç olan diğer özelliklerin tahminini sağlar. Buna karşın çekme dayanımı malzeme seçimi veya malzeme imalatı için nispeten önemsizdir<sup>(3)</sup>.

Metallerde plastik şekil değiştirme sonucunda oluşan sertlik artışına pekleşme denir. Pekleşme sonucunda metallerin, sertlik ve mukavemetinin arttığı, sünekliğinin ise azaldığı görülür. Pekleşme özelliği kafes yapı türüne bağlıdır. hcp yapıda (tek Mg kristali), kayma sistemleri kısıtlı olup yalnız bir



düzlemler ailesi boyunca başlar ve o düzlemler boyunca devam eder ve etkileşme olmadan kayma kolay oluşur, pekleşme yeteneği yoktur. fcc yapıda ( Cu ), başlangıçta pekleşme azdır daha sonra birden fazla kayma sistemi etkin hale gelir, karşılıklı etkileşmeler sonucu artar. bcc yapıda ( Fe ), pekleşme yeteneğinin yüksek olduğu görülmektedir. Bu tip kafes yapılı kristallerde kafes sürtünmesi yüksek olduğu gibi daha başlangıçta birden fazla kayma sistemi etkin hale gelerek birbirleri ile etkileşirler. Ayrıca çok kristalli yapılarda pekleşme daha şiddetli oluşur. Pekleşmiş metaller, belirli bir sıcaklığın üzerinde ısıtılırsa veya tavlaniırsa yumuşarlar ve pekleşmenin etkileri kaybolur<sup>(1)</sup>.

Elastikiyet veya Young modülü, elastik bölgedeki zor-zorlanma eğrisinin eğimi olarak tanımlanır. Bu ilişki “Hook” yasası olarak da bilinir. Elastikiyet modülü, malzemedeki atomların bağ kuvvetleri ile çok yakından ilgilidir. Modül, malzemenin rijitlik ölçüsüdür. Metaller, yüksek elastikiyet modülüne sahip malzemeler olduklarından dolayı elastik zorlanma altında boyut ve şeklini korurlar<sup>(3)</sup>.

Malzemenin kopmadan dayanabileceği şekil değiştirme miktarı ise süneklik olarak bilinir<sup>(3)</sup>. Süneklik iki şekilde ifade edilebilir;

a. Yüzde Uzama: Deneyden önce ve deneyden sonra, numune üzerindeki ölçü işaretleri arasındaki mesafe ölçüldükten sonra yüzde uzama şu eşitlikten hesaplanır<sup>(1,2)</sup>.

$$\% \text{ Uzama} = \frac{l_f - l_0}{l_0} \times 100$$

$l_0$

Burada ;  $l_0$  : Deneyden önce ölçü işaretleri arasındaki mesafe

$l_f$  : Deneyden sonra ölçü işaretleri arasındaki mesafe olarak tanımlanmaktadır.

b.Yüzde Alan Daralması: Deneyden önce ve deneyden sonra, numunenin kesit alanları ölçüldükten sonra yüzde alan daralması şu eşitlikten hesaplanır<sup>(1,2)</sup>

$$\% \text{ Alan Daralması} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \times 100$$

$A_0$

Burada ;  $A_0$  : Deneyden önce malzemenin kesit alanı

$A_f$  :Deneyden sonra malzemenin kesit alanı olarak tanımlanmaktadır.

Yüzde uzama ve alandaki yüzde daralması, metal veya alaşımın sünekliğinin ve kalitesinin bir ölçüsüdür<sup>(1,2)</sup>.

Sünek malzemeler, çekme dayanımında, maksimuma giden gerilme-gerinim eğrisi sergilerler. Çok gevrek malzemelerin, kopma noktalarında çekme ve kopma dayanımı aynı olur. Seramik gibi çok gevrek malzemelerde ise akma, çekme ve kopma dayanımlarının hepside aynıdır<sup>(3)</sup>.

Bir kristalde, bir düzlem boyunca üst atom grubunun alt atom grubuna göre ötelenmesi olayına kayma denir. Kristal yapıları malzemelerde plastik şekil değiştirme büyük ölçüde dislokasyon hareketlerinden doğan kayma olayı sonucunda oluşmaktadır<sup>(1)</sup>.

Bir kristal düzlemi boyunca kaymanın başlaması için kayma doğrultusunda, kayma gerilmesi bileşiminin, o kayma sisteminin direncine eşit

olması gerekir ki buna kayma koşulu denmektedir. Bir cisim ancak kayma gerilmesi etkisinde plastik şekil değiştirebilir. Basit çekme halinde maksimum kayma gerilmeleri, kuvvet doğrultusu ile  $45^\circ$  açı yapan düzlemler boyunca etkimektedir<sup>(3)</sup>.

Kusursuz bir kristalde kayma, ancak atomlar arası bağ kuvvetlerini yenerek oluşabilir. Bağ kuvvetlerinin kaymaya karşı gösterdiği dirence mukavemet denmektedir<sup>(1)</sup>.

Kayma düzlemleri çoğunlukla atom yoğunluğunun en fazla olduğu ve aynı zamanda birbirinden en fazla ayrılmış sıkı paket düzlemlerdir. Kayma, atomsal yer değiştirme için dolun yoğunluğu az olan düzlemlere göre daha az kesme gerilmesine ihtiyaç gösteren sıkı düzen düzlemleri tercih eder. Fakat sıkı düzen düzlemler üzerindeki kayma, bölgesel yüksek gerilmelerle engellenirse o zaman düşük atomsal yoğunlukta ki düzlemler etkili olabilir. Sıkı düzen yönlerinde atomlar birbirine daha yakın oldukları için bir noktadan diğerine daha az enerjiyle geçeceklerinden bu yönlerde kayma tercih edilecektir. Kayma düzlemi ve kayma yönüne birlikte kayma sistemi adı verilir<sup>(1,2)</sup>.

fcc kristal yapısındaki metallerde kayma, sıkı düzen  $\{111\}$  sekizyüzlü düzlemlerinde ve  $\langle \bar{1}\bar{1}0 \rangle$  sıkı düzen yönlerinde meydana gelmektedir. fcc kristal yapıda sekiz adet  $\{111\}$  sekizyüzlü düzlemi mevcuttur. Sekiz ara yüzünün karşı yüzlerindeki, birbirine paralel (111) türü düzlemler aynı tür (111) kayma düzlemi olarak kabul edilir. Buna göre, fcc kristal yapıda sadece dört farklı tür (111) kayma düzlemi vardır. Her bir (111) türü düzlem, üç  $[\bar{1}10]$  türü kayma yönüne sahiptir. Ters yönler farklı kayma yönü olarak kabul

edilmez. Böylece, fcc kafesi için, 4 kayma düzlemi  $\times$  3 kayma yönü = 12 kayma sistemi vardır<sup>(1,2)</sup>.

bcc yapı bir sıkı düzen yapı olmadığından, fcc yapı gibi atom dolumunun en yüksek olduğu belirgin bir düzlemi yoktur. Kayma genellikle en yüksek yoğunluğa sahip  $\{110\}$  düzlemleri üzerinde meydana gelirse de,  $\{112\}$  ve  $\{123\}$  düzlemleri üzerinde de kayma görülür. bcc yapıdaki kayma düzlemleri fcc yapıda olduğu gibi sıkı düzen olmadığından, kaymanın meydana gelebilmesi için bcc metallerde fcc metallere göre daha yüksek kesme gerilimlerine ihtiyaç vardır. bcc metallerde kayma daima  $\langle \bar{1}11 \rangle$  yönündedir. Her biri iki  $[\bar{1}11]$  yönünde kayabilen altı (110) türü kayma düzlemi olduğundan,  $6 \times 2 = 12\{110\}$   $\langle \bar{1}11 \rangle$  kayma sistemi bulunmaktadır<sup>(1,2)</sup>.

hcp yapıda taban düzlemi (0001) sıkı düzen düzlemdir ve yüksek c/a oranına sahip Zn, Cd ve Mg gibi hcp metallerin yaygın kayma düzlemdir. Fakat, düşük c/a oranına sahip Ti, Zr ve Be gibi hcp metallerde kayma genellikle prizmanın  $\{10\bar{1}0\}$  ve piramidin  $\{10\bar{1}1\}$  düzlemleri üzerinde meydana gelir. Her durumda da kayma yönü  $\langle 11\bar{2}0 \rangle$  olarak kalır. hcp metallerdeki sınırlı sayıda kayma sistemleri bunların sünekliğini sınırlamaktadır<sup>(1,2)</sup>.

Dislokasyonlar çoğunlukla metallerin katılaşması sırasında oluşur. Normal koşullarda soğuyan metallerde dislokasyon yoğunluğu  $10^8 - 10^{12}$  m/m<sup>2</sup> arasındadır. Ancak yapılan araştırmalar başlangıçta mevcut olan bu dislokasyonlar yoğunluğunun deneyle ölçülen plastik şekil değiştirmeler için gerekenin çok altında olduğunu göstermiştir. Aradaki bu büyük fark plastik şekil değiştirme süresinde dislokasyonların çoğaldığını akla getirmiştir. Nitekim şekil değiştirmenin değişik aşamalarında elektron mikroskobu ile

çekilen mikro fotoğraflar, dislokasyonlar yoğunluğunun sürekli arttığını kanıtlamaktadır<sup>(3)</sup>.

Şekil değiştirme sırasında metaldeki dislokasyon miktarı çoğaldıkça, dislokasyonların birbiriyle etkileşme ihtimalinin artmasına ve bunun sonucunda da metallerin daha dayanıklı hale gelerek mukavemetlendirilmesi sağlanmaktadır<sup>(3)</sup>.

Kusursuz bir kristalde kuvvet uygulayarak dislokasyon oluşturmak olanaksızdır. Gerçekte çok küçük kayma gerilmelerinin mevcut dislokasyonları çoğaltmaya yettiği görülmüştür. Bu çoğalma olayının nasıl meydana geldiğini, nereden kaynaklandığını açıklamak için bazı teoriler ileri sürülmüştür. Bunların içinde en ilginç ve en tutarlı olanı Frank- Read tarafından ileri sürülen spiral yay modelidir. Bu modelde engele rastlayan dislokasyonlar, birer yay gibi gerilerek spiral biçimini alır ve kayma düzlemini defalarca tarayarak büyük ölçüde kayma sağlar. Yapılan araştırmalar sonucu aşırı plastik şekil değiştirmiş bir metalde dislokasyon yoğunluğunun bin kat kadar artabildiği saptanmıştır<sup>(1,2)</sup>.

## 1.8 Kaynak Özetleri

Çok iyi bilindiği gibi alüminyum alaşımları yapısal beşikleri açısından göz önünde bulundurulduğunda otomotiv endüstrisi, havacılık ve savunma teknolojisi ve genel mühendislik endüstrilerinde potansiyel materyaldirler. Kullanışlı özellikleri ve geniş uygulamaları yüzünden uzun zamandan beri çok fazla dikkat çekmişlerdir<sup>(17,18)</sup>.

Kurşun elementi en çok akü imalatında kullanılmasına rağmen, radyasyondan korumak amacıyla X-ray cihazları ve nükleer reaktörlerin kaplanması, kabloların kaplanması, aşındırıcı sıvıların saklanacağı kapların yapımında, su taşınması için kullanılan boruların yapımında televizyon tüplerinin yapımında ve özellikle silah sanayinde aşırı miktarda kullanılmaktadır.

Talyum metali ve bileşikleri çok zehirli maddeler olduğundan, kullanım esnasında çok dikkatli olunmalıdır. Bıçakla kesilebilecek kadar yumuşak metaldir. Talyum sülfat elektrik iletkenliği nedeniyle ışığı infrared ışığına dönüştürür. Buda fotosellerin yapımında kullanılır. Gama ışınları detektörlerinde, yüksek kırılma indisine sahip olan talyum oksit cam yapımında, tarım ve eczacılık sektörünün yanı sıra korozyona dayanıklı alaşım yapımında da kullanılmaktadır.

Çinko metali kuru pillerde, bozuk para yapımında, otomobil endüstrisinde, metalleri korozyona karşı korumak amacı ile galvanizlenmesinde, ZnO bileşiği boya, kauçuk, kozmetik, plastik, sabun, printer mürekkebi, ilaç üretiminde, ZnS bileşiği flüoresans özelliğe sahip olduğu için kol saatlerinde parlak kadranların yapımında, flüoresans ışıklarda, X-ışıkları ve televizyon ekranlarının yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, çinko; insan vücudu için önemli bir element olduğu için vitaminlerin hazırlanmasında kullanılmaktadır.

Al-Zn alaşımlarının yüksek sertlik, düşük erime noktası ve iyi işlenebilirlik gibi oldukça önemli özellikleri vardır. Bu özellikler alaşımların mikro yapılarına bağlıdır<sup>(19,20)</sup>. Mikro yapıları etkileyen değişkenler temel

olarak bileşim, katılaştırma şartları ve ısıl işlemleri içermektedir<sup>(17)</sup>. Diğer taraftan bir Al atomunun atom yarı çapı 0.143 nm iken bir Zn atomunun ki yaklaşık 0.134 nm dir. İki atomun atom yarıçapları arasındaki bu farklılığının Al-Zn alaşımının mikro yapısına büyük etkisi vardır. Çinko atomları Al atomlarıyla metaller arası yapılar oluşturmaya meyilli değildir<sup>(25)</sup>. Al-Zn alaşımlarının mikro yapıları ve fiziksel özelliklerinin, bileşime, katılaştırma şartlarına ve ısıl işlemlere nasıl bağlı olduğu bir çok yazar tarafından araştırılmıştır<sup>(19,21,22)</sup>.

Al- Zn alaşımları ve bu alaşımlara üçüncü bir element olarak eklenen Kurşun ve Talyum elementleri ile elde edilen yeni alaşımlar bir çok alanda kullanılırlar. Alüminyum, sahip olduğu yüksek ısı iletkenliği özelliği nedeniyle çeşitli ısı kazanlarının parçalarında, motorların piston ve silindir parçalarının yapımında; sahip olduğu yüksek korozyon direncinden dolayı ev eşyaları, inşaat sektörü ve kimya sanayinde; düşük sıcaklıklardaki uygulanabilirliği nedeniyle de havacılık, uzay, uçak sanayisi, nükleer endüstri, tıp, elektronik ve besin maddelerinin korunmasında kullanılmaktadır <sup>(16,18,23)</sup>.

Al-Zn alaşımının mekanik özellikleri üzerine fazla sayıda araştırma vardır. Al-78%Zn alaşımının mekanik özellikleri üzerine üçüncü bir elementin (Cu, Mg ve Mn) etkisi Moon ve Lee tarafından araştırılmıştır <sup>(20)</sup>. Bir Al-Zn alaşımında, sertleştirme özellikleri ve kırılma mekanizmaları; 503 °K den 623 °K sıcaklığına kadar, elde edilen zor-zorlanma ilişkisi yoluyla araştırılmıştır<sup>(24)</sup>.

Al-Zn alaşımlarının , zor-zorlanma davranışı, sertliği, kolayca şekil alabilirliği ve dayanıklılığı gibi mekanik özellikleri; alaşım elementleri eklenmesine, çözünmüş katı sertleşmesi üzerindeki doymuş alaşımın

dayanıklılığına, katılaşma esnasındaki ikincil faz parçacıklarının oluşumuna ve ısıl işlemlere bağlıdır <sup>(20,25)</sup>. Çökeltilerin oluşumu büyük bir şekilde bir alaşımın sertliğini artırır. Metal ve alaşımların sertleşme davranışına; kirlilik atomları ile dislokasyonların etkileşimi ve dislokasyonların kesişmeleri nedeniyle dislokasyon hareketliliğinin dūřmesi neden olmuştur. Al-Zn alaşımın eriyiklerinin  $\alpha$  fazından çok hızlı soğutulmaları ile çok yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip olan taneler ile çok iyi yapılar üretilir <sup>(24,26)</sup>.

Bu zamana kadar alaşımların mekanik davranışlarının sıcaklığa bağlılığı çok geniş bir şekilde araştırılmıştır<sup>(24,27)</sup>. Tam tersine, sıcaklık işlemleri ve soğutma oranı gibi diğer etkilerin mekanik davranışların değişimi üzerine çok az çalışma yapılmıştır<sup>(28)</sup>.

Al- Zn alaşımları en yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarıdır. Alüminyum alaşımlarında çinko elementinin çok önemli bir yere sahip olmasının nedeni, çinkonun süper plastik özellik göstermesidir <sup>(05)</sup>.

Çinkonun alüminyum içerisine katılmasıyla; çökeltme sertleşmesi olarak alüminyumun işlenme kabiliyetinin artmış olduğu bir Al-Zn alaşımı meydana gelir. Al-Zn alaşımları hafif oldukları için; genellikle bu özelliklerden çok fazla yararlanan havacılık ve uzay sektöründe kullanılır. Al-Zn alaşımlarının yüksek sıcaklıkta süper plastik özellik gösterdikleri gözlenmiştir <sup>(29)</sup>.

Alüminyum yüksek yığın hata enerjisine sahip olduğundan dolayı çok rahat bir şekilde alaşım yapabilmektedir. Ancak elementlerin çoğu, alüminyumla alaşım yapma konusunda başarısız olmaktadır. Çinko elementinin diğer elementlerle katı çözelti oluşturma yeteneği çok sınırlı iken



çözünürlüğünün en fazla olduğu element alüminyum olduğundan, alüminyum ile en kolay alaşım yapabilen element çinkodur. Fakat hegzagonal yapıdaki çinko ile, kübik yapıdaki alüminyum bir araya gelerek Al-Zn alaşımı oluşturduğunda oluşan bu sistemdeki yüksek yığın hata enerjilerinin tam olarak giderilemediği gözlenmiştir <sup>(30)</sup>.

Hot- rolling yöntemi kullanılarak, yüksek saflıkta çinko ve alüminyum elementleri kullanılarak hazırlanmış olan çinkoca zengin Al-Zn alaşımları 650 K' de 70 saat tavlandıktan sonra, oda sıcaklığındaki suda hızlı soğutulduğu zaman; bu alaşımların 77 K' de çok dayanıklı bir yapıya sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca; Al-Zn alaşımının 570 K' de süper plastik özellik gösterdiği gözlenmiştir. Bu çalışmada Al-Zn alaşımlarından elde edilen örneklerin, SEM incelemelerinde; iki farklı renkte faz bölgesinin olduğu ve bu bölgelerin alüminyumca zengin  $\alpha$  fazı bölgesi ve çinkoca zengin  $\beta$  fazı bölgesi olduğu sonucuna varılmıştır <sup>(05)</sup>.

90,72 Al- 9,28 Zn alaşımının çubuk haldeki örneklerinden kesilen numunelerin SEM incelemelerinden, üç farklı renk tonunda bölge olduğu, bu bölgelerden en açık renkte olanının alüminyumca zengin  $\alpha$ - fazı bölgesi, en koyu renkte olanın çinkoca zengin  $\beta$  fazı bölgesi ve orta koyulukta renge sahip olanın ise  $\alpha + \beta$  faza sahip ötektik faz bölgesi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada incelenen Al- Zn alaşım sisteminin ötektik yapıya sahip olduğu belirlenmiştir <sup>(11)</sup>.

## 1.9 Çalışmanın Amacı

Al- Zn alaşımları, günümüz sanayi ve endüstrisinde oldukça yaygın kullanım alanına sahip materyallerdir. Bu alaşımlar kullanışlı özellikleri ve geniş uygulama alanları nedeniyle yıllardır araştırmacıların dikkatini çekmektedirler.

Bu çalışmada Al- 40wt%Zn alaşımının zor- zorlanma davranışı üzerine; yapılan ısıl işlemlerin, homojenleştirme süresinin, soğutma hızının ve üçüncü bir element olarak Pb ve Tl elementlerinin etkileri araştırılacaktır.

Bu çalışma esnasında ilk olarak, alaşımların mikro yapılarının Taramalı Elektron Mikroskobu ( SEM ) ile incelenmesi amaçlanmıştır. Alaşımların faz yapılarının içerisindeki elementlerin ağırlık yüzdeleri, Enerji Dağılım Spektrometresi ( EDS ) tekniği ile belirlenmeye çalışılacaktır.

Daha sonra ise; orijinal ve çeşitli ısıl işlemlerden geçirilmiş numunelere, sıkıştırma testleri uygulanacak ve zor- zorlanma eğrileri elde edilecektir. Zor- zorlanma eğrileri dikkate alınarak Al- Zn alaşımının mekanik davranışı ve bu davranış üzerine Pb ve Tl elementlerinin etkisi incelenecektir. Ayrıca alaşımlara uygulanan farklı ısıl işlemlerin homojenleştirme süresinin ve soğutma hızının mekanik özellikleri üzerinde etkisi araştırılacaktır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada Al- %40Zn , Al- %40Zn- % 5Pb ve Al- % 40Zn- % 5TI alaşımlarının zor- zorlanma davranışı; Instron sıkıştırma ve çekme test makinesi ile oda sıcaklığında dakikada 0.2 mm hızla sıkıştırılarak yapılan basma zoru deneyleri ile incelenmiştir. Basma zorunun etkisiyle alaşımların mikro yapılarında meydana gelen değişimlerin incelenmesi için JEOL- JSM- 5600 30 kV hızlandırma gerilimine sahip taramalı elektron mikroskobu (Scannig Electron Microscope- SEM) ve faz bölgelerindeki kütle oranlarının belirlenmesi için Enerji Dağılım Spektrometresi(Energy Dispersive Spektrometry– EDS ) tekniği kullanılmıştır.

#### 2.1.1. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada incelenen Al-%40Zn, Al-%40Zn-%5Pb ve Al-%40Zn-%5TI alaşımları Tübitak Araştırma Merkezinde hazırlanmıştır. %99.9 saflık derecesinde toz halinde bulunan Al, Zn, Pb ve TI elementleri argon atmosferinde bir araya getirilip yüksek sıcaklıkta eritilerek 1 cm çapında 10 cm uzunluğunda silindirik çubuklar halinde dökülmüştür.

Silindirik çubuklar halinde bulunan alaşımlardan, elmas bıçaklı kesicilerle uygun boyutlarda kesilen numuneler, zor-zorlanma davranışı ve bu davranış üzerinde ısıl işlemlerin etkisini incelemek üzere farklı ısıl işlemlere tabi tutuldular.

Öncelikle alaşımların her birinden alınan numuneler, 350 °C 'de 2 saat süre ile homojenleştirilerek oda sıcaklığındaki suda soğutuldu. Daha sonra homojenleştirme sıcaklığının ve soğutma hızının etkisini incelemek üzere Al-Zn alaşımından alınan iki adet numune 350 °C 'de 1 saat homojenleştirilerek biri buzlu suda soğutulurken diğeri oda sıcaklığında yavaş soğumaya bırakıldı. Böylece farklı ısıl işleme tabi tutulmuş 5 adet numune hazırlandı <sup>(33)</sup> .

### **2.1.2. Zor- Zorlanma Deneyleri İçin Örneklerin Hazırlanması**

Zor-zorlanma deneyleri için; alaşımların her birinden birer adet olmak üzere hiçbir ısıl işlem uygulanmamış 3 adet orijinal numune ve Kısım 2.1.1'de verildiği gibi farklı ısıl işlem uygulanarak elde edilen 5 adet numune (4x4x8)mm boyutlarında kesilmek üzere toplam 8 adet numune oluşturuldu.

Daha sonra bu numuneler üzerinde, Instron sıkıştırma ve çekme test makinesi ile oda sıcaklığında dakikada 0.2 mm hızla farklı basma zoru uygulanarak zor-zorlanma deneyleri yapıldı.

İlk olarak; her bir alaşımdan elde edilen hiçbir ısıl işlem görmemiş orijinal numunelere farklı büyüklükte basma zoru uygulandı. Daha sonra ise ısıl işlem görmüş numuneler yaklaşık %10 oranında deforme edildi ve elde edilen sonuçlar grafiğe dökülerek zor- zorlanma deneyleri tamamlandı.

### **2.1.3. SEM ve EDS İncelemeleri İçin Örneklerin Hazırlanması**

Zor- zorlanma deneyleri neticesinde deforme edilen numunelerin basma yüzeyine dik olan yüzeylerinden herhangi biri, yönleri birbirine dik olacak şekilde önce 800 lük, sonrada 1200 lük su zımparaları ile yüzeylerindeki pürüzler ortadan kaldırıldı, ardından da Struers Labopol- 5 cihazında keçelenerek, zımparalanan yüzey parlatıldı.

Birer yüzeyleri parlatılmış olan numuneler, Keller çözeltisi ( 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 190 ml distile su) içinde yaklaşık 8-15 sn. bekletilerek dağlandıktan sonra metanol ile temizlendi ve su ile yıkanıp kurulandıktan sonra SEM ve EDS incelemeleri için hazır hale getirildi. Numunelerin yüzeylerinde oluşan mikroyapı karakteristikleri 30 kV gücünde JEOL 5600 SEM ile incelendi.

## **2.2. Yöntem**

### **2.2.1. SEM ve EDS**

Taramalı Elektron Mikroskopunda (SEM) görüntü elde etmek için, yüksek voltaj ile hızlandırılmış, belirli bir çapı ve enerjisi olan elektron demeti, tarama sargıları yardımıyla numunenin arzu edilen noktası üzerine odaklanarak gönderilir. Bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune ortamları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkiler uygun alıcılarda toplanır. Sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde algılayıcılardan gelen sinyaller

dijital sinyallere çevrilerek bilgisayar monitörüne verilmektedir. SEM' de nokta taraması, alan taraması ve çizgi taraması yapılabilir.

SEM, daha çok derin incelemeler ve detaylı malzeme karakterizasyonları için tercih edilen bir cihaz haline gelmiştir. Özellikle sanayi, fizik, biyoloji ve tıp alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

SEM ile birlikte EDS( Enerji Dağılımlı x- ışınları spektroskopisi) tekniği de kullanılmaktadır. EDS tekniği sayesinde SEM içerisinde çalışılan numunelerin daha geniş yüzeylerinden ( 0.5- 3 mikrometre çapında), elementlerin kütle oranları tam olarak ( hata oranı 1- 2% ) bulunabilmektedir. EDS tekniği X- ışınları prensibi ile çalışmaktadır. Buna göre; numune üzerine düşürülmüş olan elektron ışınlarından karakteristik X- ışınları spektrumu meydana gelmektedir. Elde edilen bu spektrum grafiğinden de, hangi alaşım elementinin hangi pike ait olduğu ve aralarındaki kütle oranları bulunabilmektedir. Bu sayede alaşımın herhangi bir bölgesindeki elementlerin yüzdeleri bulunmuş olmaktadır.

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

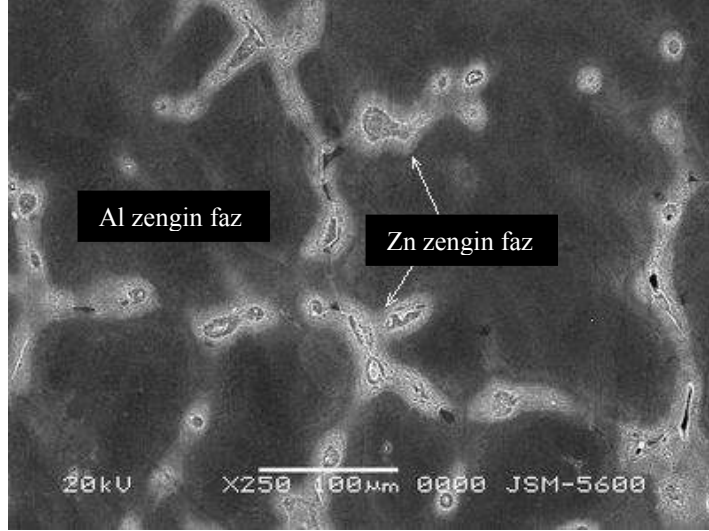
Alaşımların mekanik davranışları, mekanik davranışları üzerinde ısı işlemlerin etkisi, mikro yapıları ve mikro yapıları üzerinde deformasyon etkisi çizelge 3.1 'de verilen numunelerin zor-zorlanma deneyleri ve Sem çalışmaları ile incelendi.

**Çizelge 3.1** Al-%40Zn , Al-%40Zn-%5Pb ve Al-%40Zn-%5Ti alaşımlarına farklı ısı işlem ve farklı deformasyon uygulanarak hazırlanan numuneler

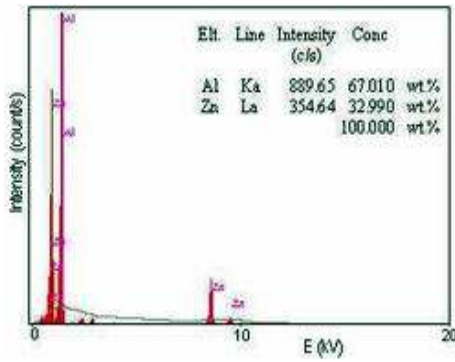
Alaşımlar	Numune No	Isıl İşlem Sıcaklığı ( °C )	Isıl İşlem Süresi (saat)	Soğutma İşlemi	Deformasyon Miktarı
Al-Zn	A1	Orijinal Numune			30%
	A2	350	2	Oda sıcaklığındaki suda soğutma	10%
	A3	350	1	Buzlu suda hızlı soğutma	10%
	A4	350	1	Oda sıcaklığında yavaş soğutma	10%
Al-Zn-Pb	B1	Orijinal Numune			13%
	B2	350	2	Oda sıcaklığındaki suda soğutma	10%
Al-Zn-Ti	C1	Orijinal Numune			17%
	C2	350	2	Oda sıcaklığındaki suda soğutma	10%

### 3.1. Al-Zn, Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl Alaşımlarının Mikro yapılarının SEM ile İncelenmesi

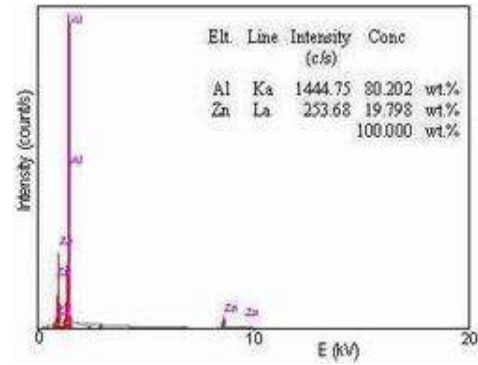
Orijinal alaşımların mikro yapıları SEM ile incelendi ve EDS tekniği ile analiz edildi. Orijinal Al-40%Zn alaşımının mikro yapısı Şekil 3.1 a ' da gorlmektedir.



( a )



( b )



( c )

**Şekil 3.1** Orijinal Al - Zn alaşımının SEM fotoğrafı ve EDS analizler  
a) SEM fotoğrafı, b) Parlak bölgenin EDS analizi, c) Koyu bölgenin EDS analizi

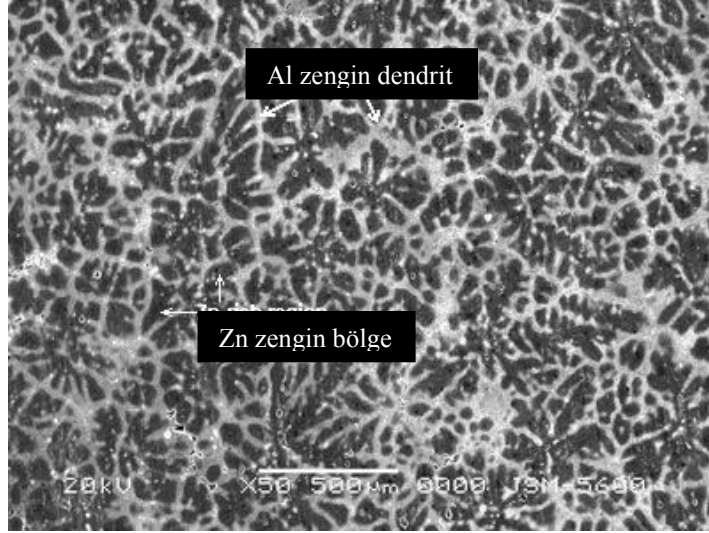


Burada, farklı tonlarda iki farklı bölge dikkat çekmektedir. Bu bölgelerin EDS tekniği ile yapılan kimyasal analizi Şekil 3.1.b ve c 'de verildi. Analiz sonuçlarına göre koyu bölge Alüminyumca zengin  $\alpha$  fazı iken parlak bölge Çinkoca zengin  $\beta$  fazıdır. Bu durumda, Al-Zn alaşımı oda sıcaklığında Al zengin faz içeren ötektik kompozisyona sahiptir denilebilir. Alaşım iki faza ayrılmıştır. Denge durumundaki bir Al-Zn alaşımı, biri yaklaşık %99 oranında Al içeren fcc  $\alpha$  fazı ve yaklaşık %99.5 oranında Zn içeren hexagonal  $\beta$  fazı olmak üzere iki faz içerir. Bu denge durumu oda sıcaklığında sağlanabilir <sup>(21)</sup>.

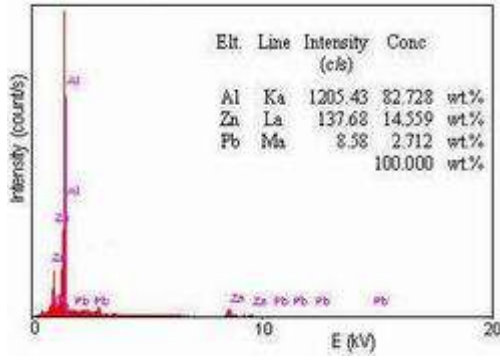
Şekil 3.2' de ise orijinal Al-40%Zn-5%Pb alaşımının SEM fotoğrafı görülmektedir. Alaşım, alüminyumca zengin dendritler ve bu dendritler arasında çinkoca zengin ağlar içermektedir. Al dendrit bölgeleri (Şekil 3.2.a' da parlak bölge ) EDS analizi bu bölgelerde Al miktarının zengin olduğunu göstermektedir, (Şekil 3.2.b). Öte yandan koyu bölgelerin EDS analizi ise bu bölgelerde Zn miktarının dendrit bölgelerinden daha fazla olduğunu göstermektedir( Şekil 3.2.c ). Bu durum dendrit katılaşma açısından uygun bir sonuçtur.

Bir alaşımın katılaşması, katı-sıvı ara yüzeyinde birbirinin yerini alan iki etkenin karşılıklı etkileşimi yoluyla oluşur. Bunlar katı atomlarının difüzyonu ile gerçekleşen dallanma etkisidir. Bu etkilerden dolayı, ara yüzeydeki kararsızlık dendritik büyümeye neden olur .

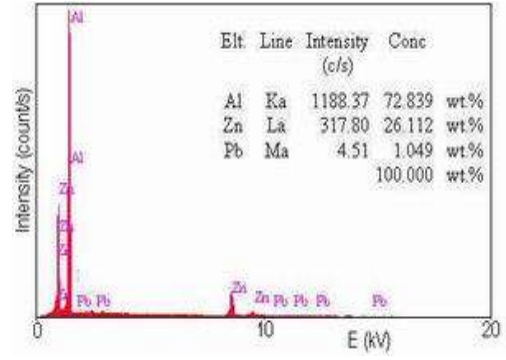
Dendritler sıvı faz içinde bir  $\alpha$ - eriyiği olarak büyür ve iki ana dendrit arasında  $\alpha+\beta$  ötektiği şeklinde ikincil dendritler oluşur <sup>(11,31)</sup> . Şekil 3.2, Al-Zn-Pb alaşımında dendritler arası ötektik yapının açıkça varlığını göstermektedir.



(a)



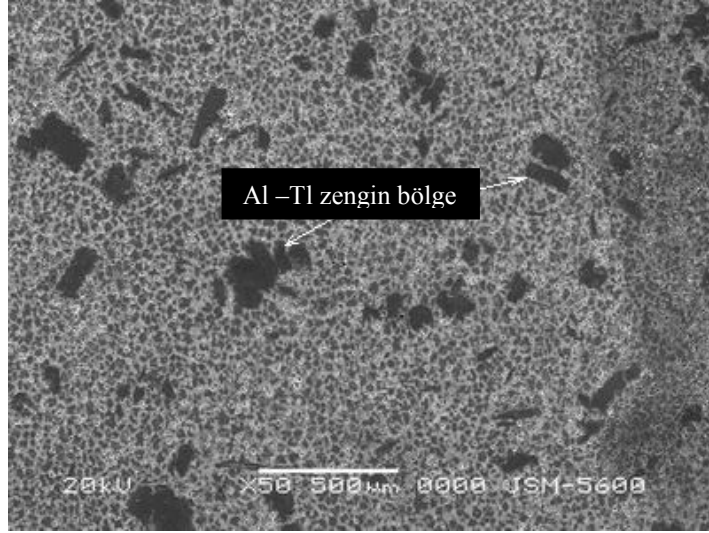
(b)



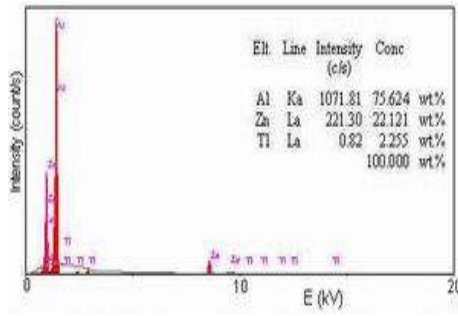
(c)

**Şekil 3.2** Orijinal Al-Zn-Pb alaşımasının SEM fotoğrafı ve EDS analizleri  
a)SEM fotoğrafı, b) Parlak bölgenin EDS analizi, c) Koyu bölgenin EDS analizi

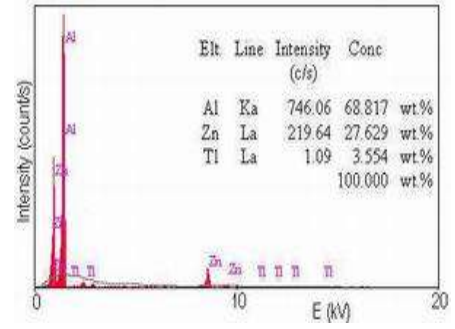
Orijinal Al-Zn-Tl alaşımının mikro yapısı ise Şekil 3.3a 'da verildi. Burada farklı tonlara sahip üç farklı bölge ile ötektik mikro yapısı görölmektedir. Bu bölgelerin merkezinden alınan EDS spektrumları Şekil 3.3b ve d' de verildi. Analiz sonuçlarına göre Al ve Tl miktarı en koyu bölgede çok fazla iken parlak bölgelerde Al ve Zn miktarı daha fazladır. Bu durumda Al,Zn ve Tl elementlerinin her bir fazda farklı yüzdelerine sahip olduğu söylenebilir.



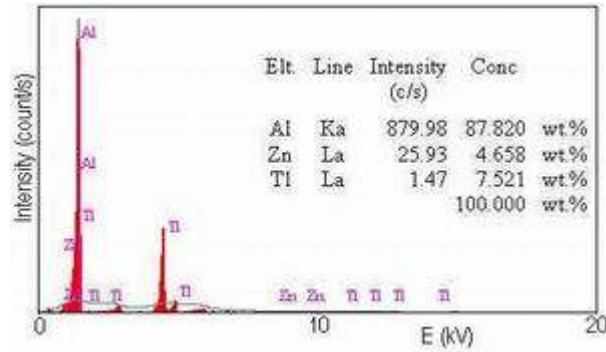
( a )



( b )



( c )

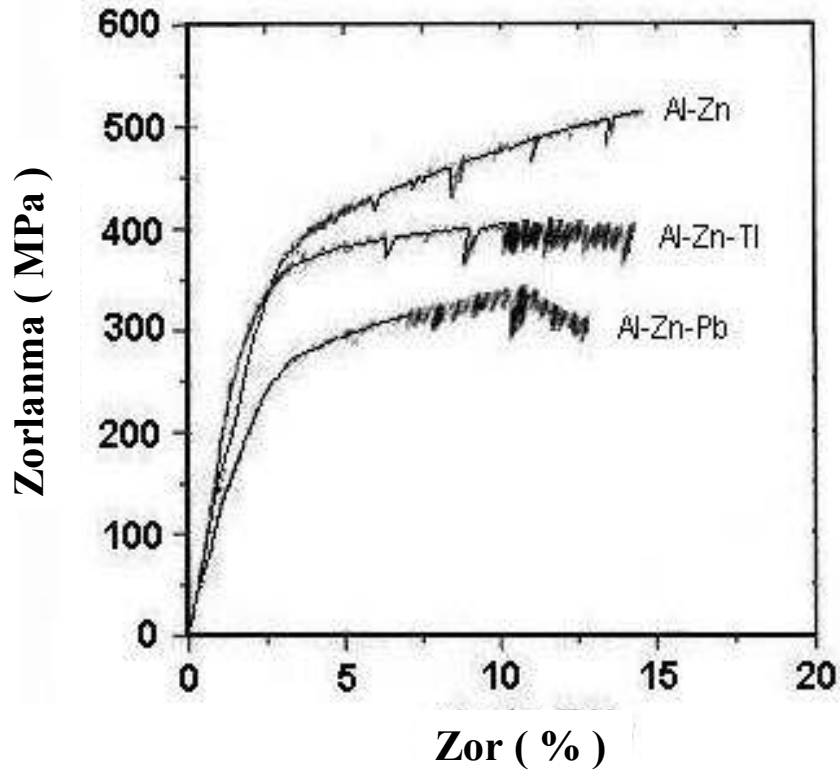


( d )

**Şekil 3.3** Orijinal Al- Zn- Tl alaşımasının SEM fotoğrafı ve EDS analizleri  
a) SEM fotoğrafı, b) Parlak bölgenin EDS analizi c) Koyu bölgenin EDS analizi, d. En koyu bölgenin EDS analizi

### 3.2 Al-Zn , Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl Orijinal Alaşımlarının Mekaniksel Davranışları

Al-Zn, Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl alaşımlarının mekanik davranışları ve Al-Zn alaşımının mekanik davranışı üzerinde Pb ve Tl elementlerinin etkisi orijinal ingot alaşımlarından değerlendirildi. Orijinal alaşımların oda sıcaklığında elde edilen zor – zorlanma eğrileri Şekil 3.4 ' de verildi.



Şekil 3.4 Orijinal alaşımların zor – zorlanma eğrileri

Şekil 3.4 'te görüldüğü gibi Al-Zn alaşımı oda sıcaklığında yüksek dayanıma sahiptir ve maksimum zorlanması %30 'u aşmaktadır. Öte yandan Al-Zn alaşımına Pb ve Tl elementlerinin eklenmesiyle zor – zorlanma davranışının önemli derecede değiştiği görülmektedir . Alaşım uygulana zora karşı zorlanma sertleşmesi davranışı gösterirken Pb ve Tl elementlerinin eklenmesi bu davranışı yok eder ve maksimum gerilme %30 'un altına düşer. Bunun yanında, Al-Zn alaşımının dayanma sertliği Pb yada Tl eklenmesiyle azalır. Al-Zn alaşımının akma dayanımı  $330 \pm 10$  MPa iken Al-Zn-Tl ve Al-Zn-Pb alaşımlarının akma dayanımı sırasıyla  $255 \pm 10$  ve  $195 \pm 10$  MPa dır. Bu durumda Al-Zn-Pb alaşımı en düşük akma dayanımına sahiptir. Sonuç olarak, Al-Zn alaşımına üçüncü element olarak Pb ve Tl eklenmesi akma dayanımını düşürür. Öte yandan Moon ve Lee tarafından yapılan bir çalışma ile Cu, Mg ve Mn elementlerinin Al-Zn alaşımının mekanik özellikleri üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Burada Cu ve Mg 'nın Al-Zn alaşımının akma dayanımını yükselttiği Mn ilavesinin ise dayanımı düşürdüğü gösterilmiştir<sup>(20)</sup>.

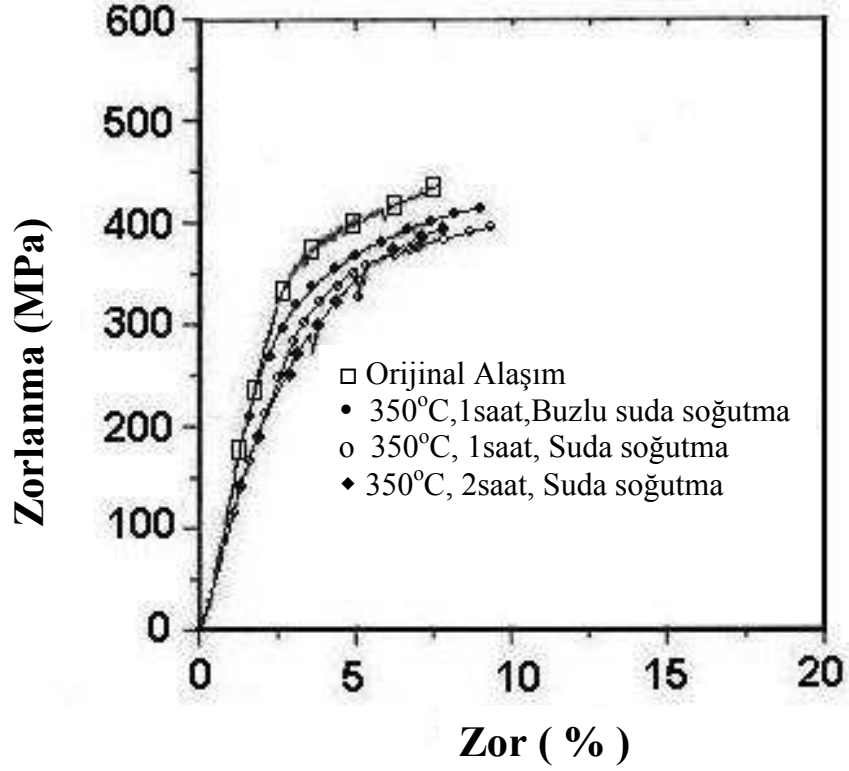
### 3.3. Al-Zn , Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl Alaşımlarının Mekaniksel Davranışları Üzerinde Isıl İşlemlerin Etkisi

Alaşımların mekanik özellikleri üzerinde ısıl işlemlerin etkisini incelemek amacıyla çizelge 3.1 'de verildiği gibi farklı ısıl işlemlere tabi tutulan numuneler üzerinde zor-zorlanma deneyleri yapıldı.

Çeşitli ısıl işlemlerden geçirilmiş Al-40%Zn örneklerinin basma zoru davranışlarını gösteren zor – zorlanma eğrileri şekil 3.5 'de verildi. Alaşımın mekanik davranışlarında ısıl işlemlerin en belirgin etkisi, akma dayanımının düşmesidir. şekil 3.5 'de görüldüğü gibi orijinal ingot haldeki alaşımın akma dayanımı en yüksektir ve alaşıma uygulanan ısıl işlemler dayanımı düşürmüştür. Öte yandan, standart bir ısıl işlemin homojenleştirme süresi ve ısıl işlemin takip eden soğutma hızı alaşımın mekanik davranışını etkilemektedir.

şekil 3.5 'te , 350 °C 'de 1 saat tavlandıktan sonra iki farklı soğutma işleminin uygulanan Al-Zn örneklerinin farklı zorlanma davranışı sergilediği görülmektedir. Aynı ısıl işlem uygulanmasına rağmen buzlu suda hızlı soğutulan numunenin (A3) akma dayanımı, oda sıcaklığındaki suda soğutulan numunenin (A4) akma dayanımından daha yüksektir. Bu durumda soğutma hızı alaşımın mekanik davranışında etkilidir ve soğutma hızı artarken paralelinde akma dayanımı da artar. Yavaş soğutulmuş veya hızlı soğutulmuş numuneleri zor-zorlanma davranışı, bu esnada oluşan fazların koherent veya inkoherent oluşuna bağlıdır. Bu iki tip faz arasındaki temel fark dislokasyonlar ile bu fazlar arasındaki etkileşmenin doğasından kaynaklanış<sup>(24)</sup> . Dolayısıyla hızlı soğutma esnasında ortaya çıkan inkoherent

faz, deformasyon dislokasyonların hareketini güçleştirir ve alaşımın dayanımını yükseltir.



**Şekil 3.5** Al -%40 Zn alaşımının farklı ısı işlemler sonrası sergilemiş olduğu zor–zorlanma davranışları

Diğer taraftan, soğutma hızından kaynaklanan akma dayanımındaki artış farklı alaşımlarda da gözlenmiştir<sup>(26,28)</sup>. Bu etkiler, hızlı soğutma nedeniyle boşluk konsantrasyonunda meydana gelen artma ve atomların uzun-mesafe düzenindeki değişimler ile açıklanmaktadır. Hızlı soğutulmuş materyallerde boşlukların dislokasyonlara doğru hareketi nedeniyle yüksek boşluk konsantrasyonu mevcuttur. Sonuç olarak sertleşmenin, hızlı

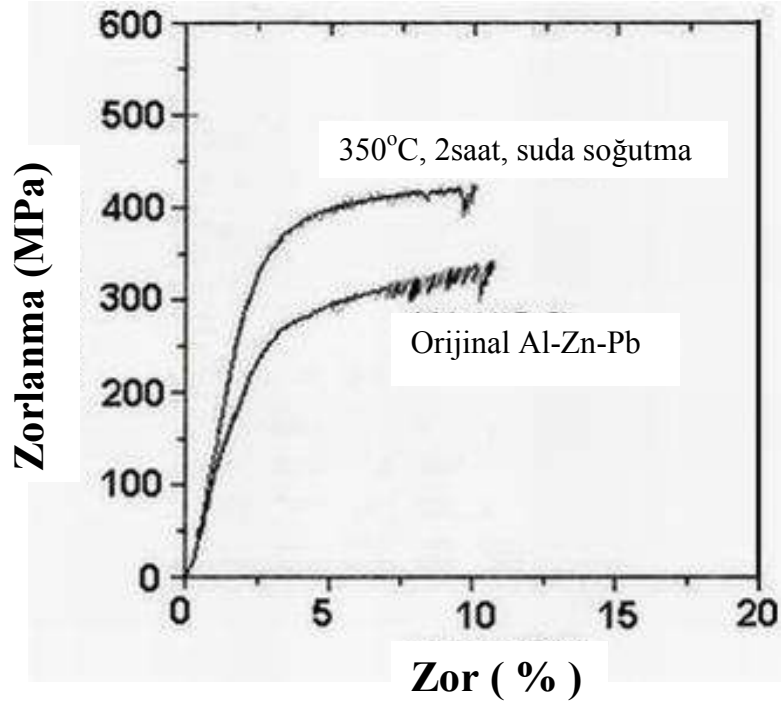


soğumadan kaynaklanan boşluk yoğunluğundaki artış ile ilişkilendirilmesi mümkündür<sup>(24,26,38)</sup>.

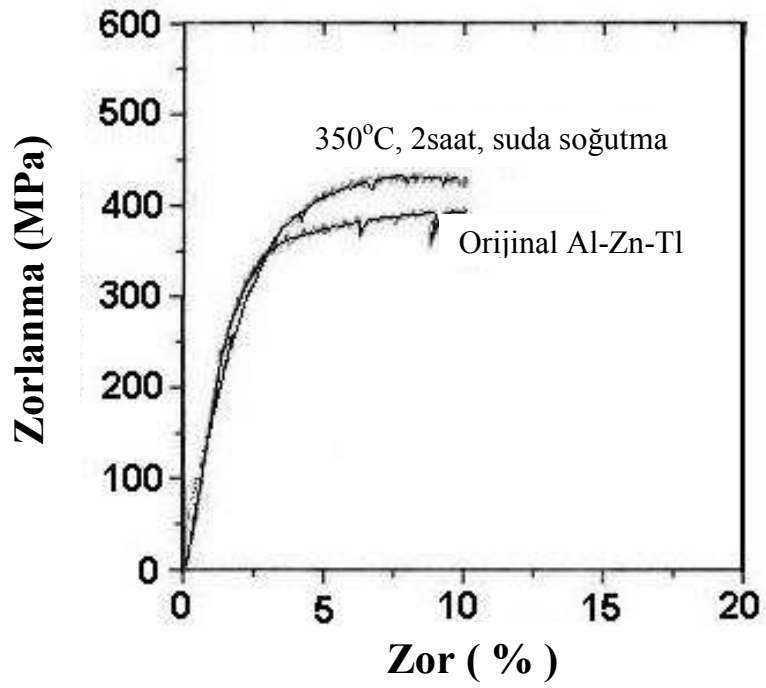
Öte yandan Şekil 3.5 'te, homojenleştirme süresinin de akma dayanımı üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Al-Zn alaşımından elde edilen numuneler aynı sıcaklıkta ( 350 °C ) farklı sürelerde tavlandıktan sonra farklı bir zor-zorlanma davranışı sergilemiştir. Şekil 3.5 'te görüldüğü gibi 350 °C 'de 1 saat tavlanan numune (A4), 2 saat tavlanan örnekten daha yüksek akma dayanımına sahiptir. Bu durumda tavlama süresi arttıkça akma dayanımının düştüğü söylenebilir. Akma dayanımının düşmesi kusur yoğunluğundaki azalma ile ilişkilendirilebilir. Kusur yoğunluğu daha kısa süreli homojenleştirme durumunda daha fazladır. Çünkü sürenin artmasıyla birlikte numune daha iyi homojenleşecek ve kusurlar böylece ortadan kalkacaktır .

Şekil 3.6 'da ise Al- 40%Zn- 5%Pb ve Al- 40%Zn- 5%TI alaşımlarının zor - zorlanma davranışları üzerinde ısıl işlemlerin etkisi görülmektedir. Alaşımlara uygulanan ısıl işlemlerin bir sonucu olarak her iki alaşımın akma dayanımı yükselmiştir. Özellikle Al-Zn-Pb alaşımının akma dayanımı gözle görülür bir şekilde,  $123\pm 10$  dan  $300\pm 10$  MPa ya kadar yükselmiştir(şekil 3.6a). Bu durumda alaşım ısıl işlemlerle yüksek bir dayanım kazanmıştır.

Öte yandan alaşımlara uygulanan ısıl işlemler Al-Zn-Pb ve Al-Zn-TI alaşımlarının dayanımını yükseltirken Al-Zn alaşımının dayanımını düşürmüştür(şekil 3.5 ve 6).



( a )



( b )

**Şekil 3.6** Alaşımların mekanik davranışı üzerine ısıl işlemlerin etkisini gösteren zor – zorlanma eğrileri a) Al-%40Zn-% 5 Pb, b)Al - %40Zn-% 5Tl

### 3.4 Al-Zn, Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl Alaşımlarının Mikro yapıları Üzerinde Deformasyon Etkisinin İncelenmesi

Alaşımların mikro yapıları üzerinde deformasyon etkisini incelemek amacıyla; 350 °C'de 2 saat ısıl işlem uygulanıp oda sıcaklığındaki suda soğutulduktan sonra %10 basma zoru uygulanan A2, B2 ve C2 örnekleri SEM ile incelendi.

Yapılan yüzey gözlemleri sonucu, yeterli kesme zoru etkisiyle kristal düzlemlerinin birbiri üzerinde hareketi ile meydana gelen kayma düzlemlerinin açığa çıktığı ve alaşım yüzeylerinde bazı mikro çatlakların meydana geldiği görüldü. Plastik deformasyona maruz bırakılan alaşımların mikro yapıları Şekil 3.7 'de görülmektedir. Şekil 3.7a, Al-40%Zn alaşımının mikro yapısı üzerine basma zorunun etkisini açıkça göstermektedir. Alaşımın parlatılmış yüzeyinde, kayma çizgileri ve mikro çatlaklar görülmektedir.

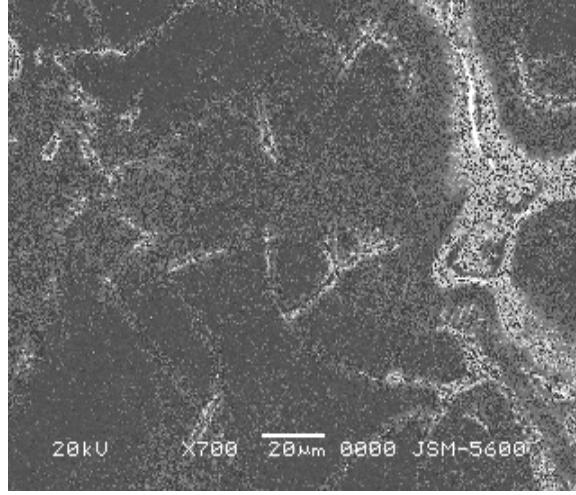
Burada kayma çizgileri farklı kayma yönleri ile , iki farklı karakterde özellik olarak dikkat çekmektedir. Bunlardan biri parlak ve ince iyi kayma çizgisi olarak görünürken diğeri oldukça düz ve kalın kayma bantları görünümündedir.

Deformasyon sonrası Al-40%Zn-5%Pb alaşımının mikro yapısı ise Şekil 3.7 'de verildi. Dendrit hücre sınırlarında farklı yönelimlere sahip kayma çizgilerinin ortaya çıktığı görülmektedir. Deformasyon esnasında, dendrit hücreleri; tanelere benzer davranış sergiler ve bu hücre sınırlarında kayma bantları oluşur<sup>(17)</sup>. Öte yandan farklı yönelimli kayma çizgilerinin ortaya çıkması çoklu kaymanın oluşumunu gösterir. Bazı durumlarda kayma, birincil ve ikincil olmak üzere her iki kayma sisteminde de meydana gelebilir.

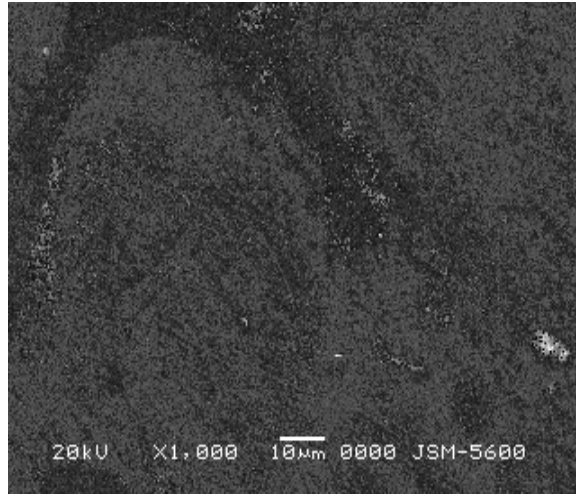
Bu durumda; deformasyon çoklu kayma meydana getirecek bir oluşumla ikili kayma sisteminde ilerler<sup>(32)</sup>.

Al-40%Zn-5%TI alaşımının mikro yapısı üzerine deformasyonun etkisi ise şekil 7c 'de görülmektedir. Numune yüzeyinde koyu bölgelerde mikro çatlaklar görülmektedir. Bu mikro çatlaklar, alaşımın kırılma davranışında önemlidir. Bu yapılar zorlanmanın artması ile büyüyebilirler ve ayrıca birbirleri ile birleşebilirler.

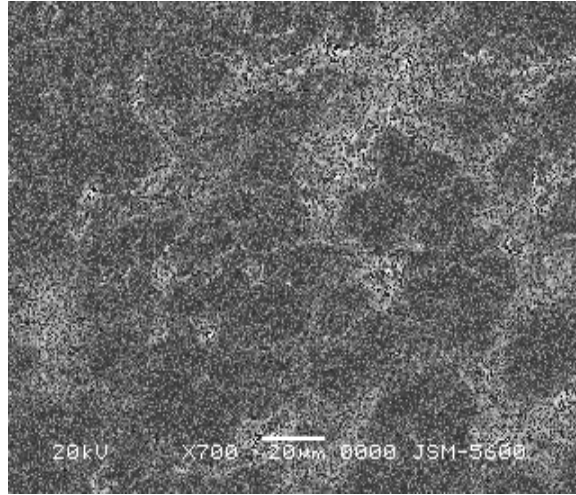
(a)



(b)



(c)



**Şekil 3.7** Isıl işlemlerden sonra %10 deforme edilmiş alaşımların mikro yapıları a) Al-40 Zn , b) Al-40Zn-5 Pb , c.) Al-40Zn-5 Ti

#### 4. SONUÇ

Bu çalışmada; Al-Zn, Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl alaşımlarının; zor-zorlanma davranışları ve bu davranışlar üzerinde ısıl işlemlerin etkisi ile alaşımların mikro yapıları ve bu yapılar üzerinde deformasyonun etkisi araştırılmıştır.

İlk olarak orijinal alaşımların mikroyapı karakteristikleri SEM ile incelenmiş ve oluşan fazlar içerisindeki elementlerin ağırlıklı yüzdeleri EDS tekniği ile belirlenmiştir. Yapılan yüzey gözlemleri sonucu Al-Zn alaşımının alüminyumca zengin ötektik kompozisyona sahip olduğu belirlendi. Ayrıca Al-Zn-Pb alaşımı dendritler arası ötektik yapıda iken Al-Zn-Tl alaşımının ötektik bir yapıya sahip olduğu görüldü. Gözlenen bu yapılarda Al, Zn, Pb ve Tl elementlerinin farklı konsantrasyonlara sahip olduğu belirlendi.

Alüminyum tabanlı alaşımlar üzerinde yapılan bazı çalışmalar, bu alaşımlarda meydana gelen yapıların, ötektik ve dendritik katılaşmalar sonucunda ortaya çıkan yapılar olduğu gözlenmiş olup bizimde elde ettiğimiz sonuçlar ile uyum içerisinde dir.

Al-Zn alaşımları en yüksek dayanıma sahip alüminyum alaşımlarıdır. Bunun sebebi ise bu alaşım türünün çok yüksek dislokasyon yoğunluğuna sahip olmasıdır. Bu durum ise; Al-Zn alaşım eriyiklerinin  $\alpha$  fazından çok hızlı bir şekilde soğutulmalarıdır.

Daha sonra oda sıcaklığında yapılan basma zoru deneylerinden elde edilen zor-zorlanma eğrileri dikkate alınarak alaşımların mekanik

davranışları incelendi. Hiçbir ısıtma işlemi görmemiş orijinal alaşımların incelenmesi sonucu Al-Zn alaşımı artan zora karşılık bir pekleşme davranışı sergilerken Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl alaşımları da böyle bir davranış göstermez. Ayrıca Al-Zn alaşımı yüksek bir akma dayanımına sahipken Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl alaşımları daha düşük bir dayanıma sahip olduğu tespit edildi. Al-Zn-Pb alaşımının  $195 \pm 10$  MPa değerinde en düşük akma dayanımına sahip olduğu görüldü. Bu durumda Al-Zn alaşımına Pb ve Tl elementlerinin ilave edilmesinin alaşımın mekanik davranışı üzerinde etkili olduğu ve alaşımın akma dayanımını düşürdüğü sonucuna varıldı.

Öte yandan alaşımların mekanik davranışları üzerinde ısıtma işlemlerinin etkisi araştırıldı. Isıtma işlemi sonrası alaşımlara uygulanan soğutma işleminin zor- zorlanma davranışı üzerinde etkili olduğu görüldü. Yapılan deneyler sonucunda aynı şartlar altında buzlu suda soğutulan numunenin oda sıcaklığındaki suda soğutulan numuneden daha yüksek akma dayanımına sahip olduğu tespit edildi. Bu durumda soğutma hızı artarken alaşımın akma dayanımının arttığı sonucuna varıldı. Elde edilen bu sonuç boşluk konsantrasyonu ile ilişkilendirilerek hızlı soğutma sonucu boşluk yoğunluğunun artmasından dolayı alaşımın dayanımının arttığı sonucuna varıldı.

Homojenleştirme süresinin alaşımların mekanik davranışları üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan deneyler sonucunda ise homojenleştirme süresi artarken akma dayanımının düştüğü sonucuna varıldı.  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 1 saat tavlanan numunenin akma dayanımının  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de 2 saat tavlanan numunenin akma dayanımından daha yüksek olduğu

görüldü. Bu durumda homojenleştirme süresi arttığında yapının daha çok homojen hale gelerek kusurların azalması nedeniyle, materyalin akma dayanımının düştüğü sonucuna varıldı.

Ayrıca Al-Zn alaşımına uygulanan ısıt işlemler genel olarak akma dayanımın düşürürken Al-Zn-Pb ve Al-Zn-Tl alaşımlarına uygulanan ısıt işlemler bu alaşımların akma dayanımını önemli ölçüde artırmıştır. Özellikle de orijinal Al-Zn-Pb alaşımının akma dayanımı  $213 \pm 10$  MPa iken uygulanan ısıt işlemler sonrası bu dayanım  $300 \pm 10$  MPa 'a yükselmiştir. Böylece ısıl davranış sonrası alaşım yüksek bir dayanım kazanmıştır.

Alaşımların mikro yapıları üzerinde deformasyon etkisini araştırmak amacıyla uygulanan ısıt işlemlerden sonra %10 oranında deforme edilmiş numunelerin SEM gözlemleri yapıldı. Bu gözlemler sonucu yeterli kesme zoru etkisi ile kristal düzlemlerinin birbiri üzerinde hareketi ile meydana gelen kayma düzlemlerinin açığa çıktığı görüldü. Ayrıca ; alaşım yüzeylerinde mikro çatlaklar gözlemlendi. Al-Zn-Pb alaşımında %10 sıkıştırma zorlanması etkisi ile çoklu kaymanın meydana geldiği görülmüştür.

Al-Zn-Pb alaşımında dendrit hücrelerin tanelere benzer bir davranış sergilediği ve bu hücre sınırlarında kayma bantlarının oluştuğu görüldü. Ayrıca bu alaşımında %10 basma zorunun etkisiyle farklı yönelimli kayma çizgilerinin ortaya çıktığı görüldü ve alaşımında çoklu kaymanın meydana geldiği sonucuna varıldı.

Al-Zn alaşımlarından elde edilen örneklerin, SEM incelemelerinde; iki farklı renkte faz bölgesinin oluştuğu gözlenmiştir. Bu bölgelerde oluşan farklı fazların hangi elemente ait olduğunu anlamak için EDS tekniği kullanıldı.



EDS sonuçlarına göre; kütlece alüminyum oranının fazla olduğu bölgenin  $\alpha$ -Al faz kütlece çinko oranının fazla olduğu bölgenin ise  $\beta$ -Zn faz olduğu sonucuna varılmıştır.

## KAYNAKLAR

1. W. F. Smith, Structure and Properties of Engineering Alloys, second Edition, Mc Graw- Hill, (1993)
2. W. F. Smith, Foundations of Materials science and Engineering, second Edition, Mc Graw- Hill, (1993)
3. D. R. Askeland, 'The Science and Engineering of Materials' , Second Edition, Chopman and Hall, London, 128- 171, (1980)
4. S. H. Anver, 'Introduction to Physical Metallurgy', Second Edition, Mc Graw - Hill Book Company, Özgün Publishing Inc. , Ankara, (1984)
5. B. Harriprashad, T.H. Courtney and J. K. Lee, Porosity and Tensile Ductility in Al- Zn Alloys, Metallurgical transactions A, Vol. 19A, 517- 526, March (1998)
6. M. Zimmermann, M. Carrard and W. Kurz, Rapid Solidification of Al- Cu Eutectic Alloy By Laser Remelting, Acta Metal, Vol. 37, No.12, 3305- 3313, (1999)
7. S. F. Mertens C. Xhoffer, B.C. De Cooman and E. Temmerman, Short- term Deterioration of polymer- coated % 55 Al- Zn: partz- impedence model for inhibitor- modified surface, Corrosion, Vol.15, No.2, 151- 156, (1999)
8. F.W. Ling and D.E. Laughlin, The Kinetics of Transformation in Zn- Al Superplastic Alloys, Metal Trans. A, Vol. 10A, 921- 928, (1979)

9. Byeong- cheol Moon and Zin- Hyoung Lee, Damping Behavior of Al- Zn Alloys Produced By Spray Forming Process, Scripta Materialia, Vol.38, No.2, 207- 213, (1998)
10. Zhang Lin, Effects of quenching rate on the microstructure of a rapidly solidified Zn- %5 Al, Journal of Materials Science Letters18,1969- 1972, (1999)
- 11.M.Ceylan, İlhan Aksoy, Veysel Kuzucu, Ş.Nevin Balo( Yalvaç), The Influence of the cooling rate on the microstructure of Al- Cu- Si, Al- Si and Al- Zn Alloys, Journal of Materials Processing Tecnology 65, 41- 51, (1997)
12. Yili Lu, C. Beckermann, A. Karma, Convection effects in three- dimensional dendritic growth, ASME International Mechanical Engineering Congres&Exposition, New Orleans, Louisiana, November 17-22 , (2002)
13. U. Bisang J.H. Bilgram, Shape of the Tip and the Formation of Sidebranches of Xenon Dentriles, Physical Review E, 54(5) p. 5309 (1996)
14. M. B. Koss, J.C. LaCombe, L.A. Tennenhouse, M.E. Glicksman, E.A. Winsa, Dentrific Growth Tip Velocities and Radii Of Curvature in Microgravity, Metallurgical and Materials Transactions A, 30A. P. 3177. (1999)
15. Craig B. Arnold and Michael J. Aziz, Parameter-free test of Alloy dendritegrowth theory, Physical Review B, Vol. 59, Number 1, 334- 343, Jounary (1999)

16. K.R.V. Horn, 'Aluminium' , vi, Chapman and Hall Ltd. , London, (1967)
17. Q.G. Wang, Metal.Mater.Trans.A 34A , 2887, (2003)
18. H. Jones, Aluminum 54 , 274, (1978)
19. M. Ceylan, İ. Aksoy, V. Kuzucu, Ş.N. Balo, J. Mater. Process. Tech. 65 41, (1997)
20. B.C. Monn, Z.H. Lee, Scr. Mater. 38 , 2047, (1998)
21. S. Popovic, B. Grzeta, Croat. Chem. Acta 72 , 621, (1999)
22. S.T. Bluni, M.R. Notis, A.R. Marder, Acta Metal. Mater. 43, 1775, (1995)
23. Mondolfo, Aluminium Alloys, Structure and properties, First Published Butter Worths, London, 38- 41, (1976)
24. F.Abd El- Salam, R.H. Nada, A.M. Abd El-Khalek, Physica B 292 ,71, (2000)
25. C.H.Caceres, C.J.Davidson, J.R.Griffiths, C.L.Newton, Mater.Sci.Eng. A325 , 344, (2002)
26. A. Fawzy, A.S.M. Awadallah, M. Sobhy, G. Saad, Physica B 355 ,286, (2005)
27. P. Malek, M. Cieslar, Mater.Sci. Eng A324 , 90, (2002)
28. M.A. Crimp, K.M. Vedula, Mater. Sci. Eng A165 , 29, (1993)
29. Ruslan Z. Valiev, Structure and mechanical properties of ultrafine-grained metals,Materials Science and Engineering A234-236,59-66(1997)

30. G. Karmakar, R.Sen, S.K. Chattopadhyay, A.K. Meikap, S.K. Chatterjee, Effect of Alloying with Zinc on SFE of Aluminium by Study of Lattice Imperfections in Cold Worked Al-Zn Alloys, Bull.Mater.Sci. ,Vol.25, No.4, pp. 315-317, August(2002)
31. D.A. Porter, K.E. Easterling, Phase Transformations in Metals and Alloys, Chapman and Hall. London, 2nd edn., pp. 322 and 216, (1992)
32. R.W.K. Honeycombe, The Plastic Determation of Metals, Edward Arnold Ltd, Cambridge, pp.29 and 223, (1968)
33. E. Aldırmaz, "Al- 40wt%Zn, Al- 40wt%Zn- 5wt%Pb ve Al- 40wt%Zn- 5wt%TI Alaşımlarında Isıl İşlemlerin Mikroyapılara Etkilerinin İncelenmesi", K.Ü. Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi, Haziran, (2004)