

**Sn-Zn-(XAl) ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM  
ALAŞIMLARININ ISLATMA ÖZELLİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**2016  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İMALAT MÜHENDİSLİĞİ**

**Fatma OMAÇ**

**Sn-Zn-(XAl) ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ ISLATMA  
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**Fatma OMAÇ**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2016**

Fatma OMAÇ tarafından hazırlanan “Sn-Zn-(XAl) ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ ISLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Tez Danışmanı, İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı



Yrd. Doç. Dr. Ahmet Mustafa ERER

Tez Danışmanı, Fizik Anabilim Dalı

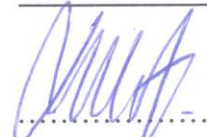


Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İmalat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 24/06/2016

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Yusuf ARSLAN (DÜ)



Üye : Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK (KBÜ)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Ali KALYON (KBÜ)



...../...../2016

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Fatma OMAÇ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### Sn-Zn-(XAl) ÜÇLÜ KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARININ ISLATMA ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Fatma OMAÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Dursun ÖZYÜREK

Yrd. Doç. Dr. Ahmet Mustafa ERER

Haziran 2016, 53 sayfa

Bu çalışmada, ikili Sn-9Zn ötektik kurşunsuz lehim alaşımına farklı oranlarda (% wt) Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-XAl üçlü kurşunsuz lehim alaşımlarının ıslatma davranışları incelenmiştir. Sessile damla yöntemi kullanılarak alaşımların temas açıları ölçülmüştür. Alaşımların mikro yapıları, yapıda oluşan inter-metalik fazlar (IMC) ve ergime sıcaklıkları optik mikroskop ve tarama mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınımı (XRD) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile karakterize edilmiş, alaşım elementlerinin mikro yapı üzerindeki etkileri belirlenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, Sn-9Zn-XAl alaşımlarının mikro yapı incelemelerinde Al zengin bölgelerin olduğu tespit edilmiştir. Sn-9Zn-XAl alaşımları için yapıda farklı bir faz oluşumuna rastlanmamıştır. En düşük ergime sıcaklığı Sn-9Zn-0,5 Al ile Sn-9Zn-0,7Al alaşımlarında, 200, 9°C olarak ölçülmüştür. Sn-9Zn-XAl alaşımlarının ıslatabilirlik kabiliyetlerinin oksitlenme sebebiyle kötüleştiği belirlenmiştir.

**Anahtar Sözcükler :** Kurşunsuz lehim, damla yöntemi, temas açısı, ıslatma davranışları.

**Bilim Kodu** : 915.1.092



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **A RESEARCH ABOUT THE EFFECT OF DIFFERENT ALLOYING ELEMENTS ON WETTING PROPERTY OF ALLOYS ON SN-ZN –BASED SOLDER ALLOYS**

**Fatma OMAÇ**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Manufacturing Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Dursun ÖZYÜREK**

**Assist. Prof. Dr. A. Mustafa ERER**

**June 2016, 53 pages**

In this study, the wetting behaviours of Sn-9Zn-XAl ternary lead-free solder alloys made by adding Al to binary Sn-9Zn eutectic lead-free solder alloy in different rates (wt%) were examined. Contact angles of the alloys were measured by using Sessile drop process. Microstructures of alloys and intermetallic phases occurring in the structure (IMC) were characterized with fusion heat optic microscope and scanning microscope (SEM+EDS), X-ray diffraction (XRD) and differential scanning calorimeter (DSC), effects of the alloy elements on the microstructure were defined. In the result of the study carried out, it was observed that Al rich zones occurred in the microstructure examinations of alloy. A different phase for Sn-9Zn-XAl alloys in the structure was not observed. The lowest melting temperature was measured as 200.9 °C for Sn-9Zn-0.5 Al and Sn-9Zn-0.7Al alloys.

**Key Words** : Lead-free solder alloy, drop method, contactangle, wetting behaviours.

**Science Code** : 915.1.092





## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç Dr. Dursun ÖZYÜREK' e ve Yrd. Doç. Dr. A. Mustafa ERER'e sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Deneysel alıőmalar ve araőtırmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen Arő. Gör. Musa YILDIRIM' a ve yüksek lisans öğrencisi Serkan OĞUZ'a ve Canan NALÇACIOĞLU'na akademik hayatlarında başarılar dilerim.

Sevgili aileme, maddi ve manevi hiçbir yardımı esirgemedен yanımda oldukları için teőekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa</u></b>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2 .....	3
LEHİM ALAŞIMLARI .....	3
2.1. KURŞUN İLE İLGİLİ SAĞLIK VE ÇEVRESEL KAYGILAR .....	3
2.1.1. Kurşunun Sağlığa Olan Olumsuz Etkileri .....	3
2.1.2. Kurşun Ve Çevre .....	5
2.2. LEHİM ALAŞIMLARINDA ARANAN ÖZELLİKLER .....	5
2.3. KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARI.....	6
2.3.1. Sn-Cu .....	7
2.3.2. Sn- Ag .....	7
2.3.3. Sn- Bi .....	8
2.3.4. Sn-In .....	8
2.4.5. Sn-Zn .....	8
BÖLÜM 3 .....	9
KURAMSAL TEMELLER .....	9

3.1. KATILARIN SIVI METAL ALAŞIMLARI TARAFINDAN ISLATILABİLİRLİĞİ .....	9
3.1.1. Temas Açısı .....	9
3.1.2. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri .....	10
3.1.2.1. Kapillerde (Kılcalda) Yükselme Yöntemi .....	10
3.1.2.2. Wilhelmly Levha (Koparma) Yöntemi .....	13
3.1.2.3. DuNouy Halka Yöntemi .....	14
3.1.2.4. Damla Ağırlığı Yöntemi .....	15
3.1.2.5. Donnan Pipeti Yöntemi.....	16
3.1.2.6. Pendant (Asılı) Damla Yöntemi.....	16
3.1.2.7. Sessile Damla Yöntemi.....	18
3.1.2.8. Oscillating Jet Yöntemi.....	20
3.1.2.9. Maksimum Kabarcık Yöntemi.....	21
3.2. YÜZEY ENERJİSİ VE YÜZEY GERİLİMİ.....	21
3.3. SIVILARIN KATILARI ISLATMASI.....	23
3.4. İLERLEME VE GERİLEME TEMAS AÇILARI.....	26
3.5. KATI ALTLIK MALZEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TEMAS AÇISINA ETKİSİ .....	27
3.6. TEMAS AÇISI ÜZERİNE YERÇEKİMİNİN ETKİSİ.....	29
3.7. ISLATMANIN KİMYASAL REAKSİYONLARLA İLİŞKİSİ .....	30
BÖLÜM 4 .....	32
MALZEME VE METOT .....	32
4.1. GİRİŞ.....	32
4.2. ALAŞIMLARIN VE ALTLIK MALZEMELERİN HAZIRLANMASI.....	32
4.3. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA.....	33
4.4. DİFRANSİYEL TARAMALI KALORİMETRE (DSC) İNCELEMELERİ.....	33
4.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM+EDS) İNCELEMELERİ.....	33
4.6. X-İŞİNİ KIRINIMI (XRD) İNCELEMELERİ .....	33
4.7. KULLANILAN DENEYSEL DÜZENEK .....	33
4.8. ISLATMA TESTLERİNİN YAPILIŞI .....	35

	<b><u>Sayfa</u></b>
BÖLÜM 5 .....	38
DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA .....	38
5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ .....	38
5.1.1. SEM Görüntüleri Ve EDS Sonuçlarının İncelenmesi .....	38
5.1.2. XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	44
5.1.3. DSC Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi .....	45
5.1.4. Temas Açısı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi .....	46
BÖLÜM 6 .....	49
SONUÇLAR .....	49
KAYNAKLAR .....	50
ÖZGEÇMİŞ .....	53

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 3.1. Kılcalda yükselme prensibine dayalı olarak yüzey gerilimin, ölçülmesi.....	10
Şekil 3.2. Wilhelmy levha yöntemleri .....	13
Şekil 3.3. DuNouy yüzey gerilim cihazı, ara yüzey geriliminin halka yöntemi ile ölçülmesi.....	14
Şekil 3.4. Traubestalogmometresi.....	15
Şekil 3.5. Pendant damla geometrisi.....	17
Şekil 3.6. Sıvı damla koordinatları .....	18
Şekil 3.7. Bir katının yüzey enerjisini tanımlamak için atomlar arasındaki etkileşimi gösteren şematik diyagram .....	22
Şekil 3.8. Yüzey gerilmesi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişki .....	23
Şekil 3.9. Üç ara yüzey gerilimi ve temas açısı ( $\theta$ ) arasındaki ilişki .....	24
Şekil 3.10. Sıvının bir miktar yer değiştirmesine bağlı ara yüzey değişmesi .....	24
Şekil 3.11. İlerleme ve gerileme açıları .....	27
Şekil 3.12. Johnson'un idealize ettiği pürüzlü yüzey .....	29
Şekil 3.13. Aksay modeli .....	31
Şekil 4.1. Deney esnasında kullanılan deney setinin genel görünüşü.....	34
Şekil 4.2. Deney düzeneğinin şematik gösterimi.....	35
Şekil 4.3. Sn-9Zn, Sn-9Zn-XAl alaşımının temas açısı ölçüm görüntüleri.....	37
Şekil 5.1. Sn-9Zn alaşımlarının SEM görüntüleri .....	39
Şekil 5.2. Sn-9Zn-0,5 Al alaşımlarının SEM görüntüleri .....	40
Şekil 5.3. Sn-9Zn-0,7 Al alaşımlarının SEM görüntüleri .....	42
Şekil 5.4. Sn-9Zn-0,9 Al alaşımlarının SEM görüntüleri .....	43
Şekil 5.5. Sn-9Zn ve Sn-9Zn-XAl, alaşımlarının XRD sonuçları .....	44
Şekil 5.6. Sn-9Zn, Sn-9Zn-0,5Al, Sn-9Zn-0,7Al ve Sn-9Zn-0,9Al alaşımlarının DSC sonuçları .....	45
Şekil 5.7. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 215° C 'deki deneysel sonuçları.....	47
Şekil 5.8. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 230° C 'deki deneysel sonuçları.....	47

Şekil 5.9. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 250° C  
'deki deneysel sonuçları ..... 48



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 2.1. Lehim alaşımlarının önemli özellikleri.....	6
Çizelge 2.2. Lehim alaşımlarının ötektik sıcaklık ve bileşim özellikleri.....	6
Çizelge 3.1. Islatma türleri.....	25
Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların kimyasal bileşimi (%wt).....	32
Çizelge 5.1. Farklı kimyasal bileşimlere sahip Sn-9Zn alaşımlarının EDS sonuçları.....	39
Çizelge 5.2. Sn-9Zn alaşımına %0,5 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,5 Al alaşımlarının EDS sonuçları.....	41
Çizelge 5.3. Sn-9Zn alaşımına %0,7 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,7 Al alaşımlarının EDS sonuçları.....	42
Çizelge 5.4. Sn-9Zn alaşımına %0,9 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,9 Al alaşımlarının EDS sonuçları.....	43
Çizelge 5.5. Sn-9Zn ve Sn-9Zn alaşımlarına farklı oranlarda Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-Al alaşımlarının DSC analizi.....	45

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

Sn : Kalay

Ag : Gümüş

Cu : Bakır

Pb : Kurşun

Zn : Çinko

Bi : Bizmut

Ar : Argon

Al : Alüminyum

In : İndiyum

Ag : Gümüş

$\mu$  : Mikron

g : Gram

N : Newton

$\theta$  : Temas açısı

$\theta_a$  : İlerleme temas açısı

$\theta_r$  : Gerileme temas açısı

$\theta_e$  : Kutupsal açı

$\theta'$  : Görünen temas açısı

$F$  : Kuvvet

$m$  : Kütle

$h$  : Yükseklik

$r$  : Yarıçap

$b$  : Yüzey eğim yarıçapı

$D_d$  : Damla çapı

$g$  : Yerküre çekim sabiti

$\gamma$  : Arayüzey gerilimi



- $W_K$  : Levhanın koptuğu anda terazide saptanan değer  
 $W$  : Levha ağırlığı  
 $w$  : Levha uzunluğu  
 $d$  : Levha genişliği  
 $\Delta\rho$  : Temas halinde iki polimer yoğunlukları arasındaki fark  
 $a$  : Damla tepe kavis yarıçapı  
 $x, z, \emptyset$  : Koordinat düzlemi  
 $n$  : Damla sayısı  
 $\beta$  : Bond sayısı  
 $\alpha$  : Eğim açısı  
 $k$  : Boltzman sabiti  
 $R_1$  : x-z koordinatlarının kesişme noktasındaki eğrilik yarıçapı.  
 $R$  : Wenzel oranı  
 $\gamma_{KG}$  : Katı-Gaz arasındaki arayüzey gerilimi  
 $\gamma_{KS}$  : Katı-Sıvı arasındaki arayüzey gerilimi  
 $\gamma_{SG}$  : Sıvı-Gaz arasındaki arayüzey gerilimi  
 $\rho$  : Sıvı yoğunluğu  
 $\Delta P$  : Yükselen sıvının hidrostatik basıncı  
 $\Delta p$  : Buhar basıncı  
 $\sigma$  : Yüzey gerilimi  
 $B$  : Damla profili  
 $P_{mak.}$  : Maksimum kabarcık basıncı

## **KISALTMALAR**

- SEM : Spectron Electron Microscope (Taramalı Elektron Mikroskobu)  
XRD : X-Ray Diffraction (X-Işını Kırınımı)  
DSC : Differential Scanning Calorimetry (Diferansiyel Taramalı Kalorimetre)  
IMC : Intermetallic Compound (İntermetalik Bileşik)

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünyadaki birçok ülke tarafından çevre kirliliğini önleme tedbirleri çerçevesinde (2006 yılından itibaren), Avrupa Birliği tarafından kurşun içeren malzemelerin kullanımı yasaklanmıştır [1-3]. Kurşun ve kurşun içeren malzemeler, insan sağlığı ve çevreye olan zararlı etkileri sebebiyle kullanımdan kaldırılmaktadır. Bu nedenle lehim üreticisi ve kullanıcısı firmalar, kurşunsuz lehim alaşımlarının araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, kurşun içermeyen birçok lehim alaşımı geliştirilmiştir.

Sn-Pb alaşımları, geleneksel lehim malzemesi olarak bilinmektedir. Bu nedenle, kurşun içermeyen alternatif alaşımların özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda devam etmektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda, ergime derecesi ötektik Sn-Pb alaşımına yakın olması (198 °C) ve düşük maliyet nedeniyle, Sn-9Zn kurşunsuz lehim alaşımları öne çıkmaktadır [4]. HMK yapılı  $\beta$ - Sn ve hegzagonal yapılı Zn'den oluşan Sn-9Zn alaşımı, katı eriyikte %1' den daha az Zn çözebilen ve 198 °C' de ergiyen bir alaşımdır [5]. Sn-Pb alaşımlarından farklı olarak, Sn-Zn alaşımlarına bakır ilave edilebilmektedir [6]. Yayılma ve ısıtılabilirlik yeteneği ile kalay, elektronik sektörlerindeki birçok farklı lehim alaşımının temel bileşimidir. Sn-Zn alaşımlarının en belirgin özellikleri, lehimlenebilirliğin iyi ve sağlık açısından zararsız olmasıdır. Lehimleme işlemi sırasında ergiyen lehim alaşımı birleştirilmek istenen metalik parçalar ile uygun metalik bağı oluşturmalıdır. Bu nedenle, ıslatma lehimleme işleminde (teorik ifadesinde) sık sık kullanılan bir terimdir. Genellikle yayılma olgusu, ıslatma olarak ifade edilmektedir. Diğer bir ifade ile, bir sıvının katı yüzey üzerinde yayılmasına ve olayın gerçekleşebilirlik derecesi, ıslatabilirlik veya ıslanabilirlik olarak ifade edilir [7]. Islatabilirlik ise, katı bir alt tabaka üzerindeki sıvının yayılma eğilimi olarak tanımlanabilir. Bu nedenle de ıslatabilirliğin ölçüsü, alt tabaka üzerindeki sıvı-katı arasındaki temas açısıdır. Bir katı üzerindeki sıvının

ıslatabilirliğinin belirlenmesinde, iki önemli parametre söz konusudur. Bunlar, ıslatma açısı ve ıslatma oranıdır [8].

Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen ilk önemli adım, elektronik devrelerin üretiminde yoğun olarak kullanılan farklı lehim alaşımlarının geliştirilmesidir. Ayrıca, bu alaşıma ilave edilen üçüncü alaşım elementlerinin, alaşımın dayanımına sağladığı ilave katkılar, kurşunsuz lehim alaşımları üreticilerini yakından ilgilendirmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, Sn-9Zn alaşımlarına, farklı oranlarda Al ilave edilerek üretilen alaşımların ıslatma özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca alaşımların ergime sıcaklıkları, ıslatma süresi, temas açısı yüzey hesaplamaları, Sn-9Zn ötektik alaşımına ilave edilen alaşım elementlerinin mikro yapı üzerindeki etkileri, yapıda oluşan intermetalik fazlar incelemeleri yapılarak numunelerin yapısal özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

## BÖLÜM 2

### LEHİM ALAŞIMLARI

Ergime sıcaklığı düşük alaşımlar içerisinde en yaygın kullanım alanı olan alaşımlar, lehim alaşımlarıdır. Bu alaşımların ergime sıcaklıkları 183-250 °C arasında değişmektedir. Bir lehim alaşımının, katılma aralığının lehim ile birleştirilen parçalardan daha düşük olması gerekmektedir [9]. Lehimleme, bir bağlantıdaki iki veya daha fazla metal parçanın bir metal bağlantı alaşımı (lehim) ile ısı yardımıyla birleştirilmesidir [10]. Lehim alaşımlarının kullanım alanları bakımından belirlenmesinde ilk ölçüt, kullanılan lehim alaşımının ergime sıcaklığıdır. Ergime sıcaklığı uygulamanın duyarlılığına göre, giderek azalmaktadır. Lehim bağlantılarının, kaynağa göre en önemli üstünlükleri ise, kalıcı olmaları ve istenildiğinde kolayca sökülebilmeleridir [11].

Yaygın olarak kullanılan lehim alaşımı, geleneksel Pb-Sn alaşımlarıdır. Ancak kurşun, insan sağlığı ve çevre açısından zararlı bir metaldir. Bu yüzden, lehim üreticisi ve kullanıcı firmalar, kurşunsuz lehim konusunda (sağlık ve çevresel) nedenlerle, araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmaktadırlar. Bu çalışmalar sonucunda, kurşun içermeyen birçok lehim alaşımı geliştirilmiştir [12].

#### 2.1. KURŞUN İLE İLGİLİ SAĞLIK VE ÇEVRESEL KAYGILAR

##### 2.1.1. Kurşunun Sağlığa Olan Olumsuz Etkileri

Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik sisteme en önemli zararı veren ve yaygın kullanılan bir metal olma özelliği taşımaktadır. Çalışma ortamında izin verilen sınır değeri 0,15 mg/m<sup>3</sup> olan kurşun, atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığından ve her durumda toksik özellik taşıdığından dolayı, aşırı kullanımı çevresel kirlilik

oluşturmaktadır. Sanayide yoğun olarak kullanılan kurşun hava, su, toprak ve gıda ürünleri vasıtasıyla, kalıcı zararlara neden olmaktadır [13].

Kurşun zehirlenmesi sonucu, düşünme kapasitesinin azalması, doğum oranlarında azalma ve yaşam süresinin kısaldığı iddia edilmektedir [14]. İnsan vücudundaki kurşun miktarı (ortalama olarak), 125-200 mg civarındadır ve normal koşullarda insan vücudu normal fonksiyonlarla günde, 1-2 mg kadar kurşunu atabilme yeteneğine sahiptir. Birçok kişinin maruz kaldığı günlük miktar 300- 400 mg'ı geçmemektedir. Buna rağmen, çok eski iskeletler üzerinde yapılan kemik analizleri ile günümüz insanının kemik analizleri karşılaştırıldığında, günümüz insanının vücut yapısında 500-1000 katı kadar fazla kurşun bulunduğunu anlaşılmaktadır [15,16]. Kurşunun vücutta absorpsiyonu (çocuklarda daha yüksek olmakla beraber), normalde % 5 gibi düşük bir oranda gerçekleşmektedir. Bu miktar, kalsiyum ve demir gibi birçok mineralin vücut tarafından emilimini azaltmaktadır. Kana karışan kurşun, buradan kemiklere ve diğer dokulara gitmekte veya dışkı ve böbrekler yoluyla vücuttan atılmaktadır. Kemiklerde biriken kurşun zamana bağlı olarak (yarılanma ömrü yaklaşık 20 yıl) çözünerek, böbreklerde tahribata neden olmaktadır. Kurşun, bir nevi nörotoksindir ve anormal beyin ve sinir sistemi fonksiyonlarına sebep olmaktadır. Çocuklar üzerinde yapılan araştırmalarda, kanda kurşun miktarı arttıkça IQ seviyesinin düştüğü tespit edilmiştir. Kurşunun çoğu, kemiklerde depolanmasına rağmen beyine, anne karnındaki cenine ve anne sütüne de geçebilmektedir. Bebekler ve çocuklarda düşük olan kurşun oranı, ilerleyen yaşla beraber (kurşuna maruz kalınmasıyla) artış göstermektedir. Kanda 40 mg/l seviyesini aştığında ise tansiyon artırıcı etki de ortaya çıkarmaktadır. Diğer taraftan, kronik kurşun alımı ile sperm sayısı ve morfolojisini de olumsuz etkilemektedir. Dünya sağlık örgütü sınıflandırmasına göre (1995) kurşun, ikinci sınıf kanserojen gruptadır [17].

Vücuda giren kurşun engellenebildiği takdirde, mevcut kurşunun eliminasyonu için minimum iki yıllık bir süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun nedeni, kurşunun biyolojik yarı ömrünün, 700-800 gün civarında olmasıdır. Kurşunun kandaki yarı ömrü 25 gün, yumuşak dokulardaki yarı ömrü 35-40 gün kemikte ise 20 yıldan fazladır [18,19].

### 2.1.2. Kurşun Ve Çevre

Kurşun, atmosfere metal veya bileşik olarak yayıldığı için ve her durumda toksik özellik taşıdığından (çalışma ortamında izin verilen sınır  $0,1 \text{ mg/m}^3$ ) dolayı, çevresel kirlilik yaratan en önemli ağır metaldir [14]. Hava, çevresel kurşun sirkülasyonunun en önemli yayılma aracıdır. Endüstriyel öğütme işlemleri sırasında oluşan tozlar ve kurşun içeren yakıt dumanları ise, havadaki kurşunun diğer önemli kaynaklarıdır[14]. Son yıllarda kurşun yerine çeşitli malzemeler kullanılmaya başlanmış olmasına rağmen, akü imalatı, maden sektörü, metal sektörü ve metal alaşımı olarak kullanımı, boya ve kimya sanayinde devam etmektedir [20].

### 2.2. LEHİM ALAŞIMLARINDA ARANAN ÖZELLİKLER

Genel olarak bir lehim alaşımının elektriksel ve mekanik özellikler, ergime sıcaklığı istenen seviyede olmalıdır. Yaygın olarak kullanılan Pb-Sn alaşımının alternatifleri tanımlamaya çalışıldığında, bu alaşımın özelliklerinin, Pb-Sn alaşımlarıyla kıyaslanabilir veya daha üstün olması gerekmektedir. Lehim alaşımının ana özellikleri üretilebilirlikleri, güvenilirlikleri ve çevresel uygunluklarıdır. Bunların yanında ergime sıcaklıkları, lehimlenebilirlik, akıcılık, yoğunluk, ısı ve elektriksel özellikler, korozyon ve oksidasyon davranışları, yüzey gerilimi, yeniden çalışılabilirlik ve maliyet gibi, lehim alaşımının lehimleme ile alakalı çoğu fiziksel özellikleri de kapsamaktadır. Ayrıca kurşunsuz bir lehim alaşımı, çevre ve insan sağlığına zararsız olmalıdır. Çizelge 2.1'de kurşunsuz lehim alaşımının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.1. Lehim alaşımlarının önemli özellikleri [21].

<b>Üretilebilirlik ile ilgili özellikler</b>	<b>Güvenilirlik ve performansla ilgili özellikler</b>
Ergime sıcaklığı	Elektrik iletkenliği
Bakır ıslatabilirliği	Isıl iletkenliği
Maliyet	Isıl genleşme katsayısı
Çevresel uygunluğu	Kesme özellikleri
Tedarikçilerin çokluğu ve uygunluğu	Çekme özellikleri
Üretimde mevcut yöntemlerin kullanılabilir olması	Sürünme direnci
Yuvarlatabilmeye uygunluk	Yorulma özellikleri
Bakır ile birleşme oranı	Korozyon ve oksidasyon direnci
Yeniden kullanılabilirliği	İntermatik bileşik oluşumları
Yapıştırılabilir yapılabilmesi	

### 2.3. KURŞUNSUZ LEHİM ALAŞIMLARI

Sn-Pb lehim alaşımlarına alternatif olarak, birçok kurşunsuz lehim alaşımı önerilmektedir. Lehim alaşımları ikili, üçlü ve dörtlü alaşım sistemlerinden meydana gelmektedir. Günümüzdeki ötektik kurşunsuz lehimlerin çoğu, Sn bazlıdır. Bunlar arasında özel bir sınıf, Sn ile birlikte Au, Ag ve Cu gibi asil metaller içeren ötektik alaşımlardır [22]. Sn ile alaşım yapmak için Bi, In, Zn, Sb ve Ge gibi diğer elementler tercih edilmektedir. Çizelge 2.2’ de Lehim malzemesi olarak kullanılan bazı metal alaşımlarının özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2.2. Lehim alaşımlarının ötektik sıcaklık ve bileşim özellikleri [22].

Alaşım	Ötektik sıcaklık °C	Ötektik Bileşim
Sn-Cu	227	Sn-% 0,7 ağı. Cu
Sn- Au	221	Sn-% 3,5 ağı. Au
Sn-Ag	217	Sn-% 10 ağı. Ag
Sn-Zn	198.5	Sn-% 9 ağı. Zn
Sn-Pb	183	Sn-% 38,1 ağı. Pb
Sn-Bi	139	Sn-% 57 ağı. Bi
Sn-In	120	Sn-% 51 ağı. In

Kurşunsuz alaşım sistemlerinde en önemli element, kalaydır. Düşük ergime sıcaklığına sahiptir. Yayılma ve ıslatabilme yeteneği sebebiyle, kullanılan çoğu lehim alaşımının temel elementidir. Oda sıcaklığında deformasyon sertleşmesine uğramadan kolayca şekillendirilebilmektedir. Doğal beyaz kalay, tetragonal bir yapıya sahiptir. Allotropik olan beyaz kalay,  $\beta$ -Sn olarak bilinmekte ve 13 °C sıcaklık da kararlıdır. Kalay 13 °C altında ise elmas yapısına sahip ve çok gevrek olan  $\alpha$ -Sn veya gri kalay olarak bilinmektedir [23]. Saf kalay ve alaşımları, oda sıcaklığında yeniden kristalleşebilmektedir. Saf kalay 5.3 BHN sertliğinde ve çok yumuşaktır. Kalayın en önemli özelliklerinden birisi de, yüksek korozyon direncidir. Atmosfer korozyonuna karşı direnci çok yüksektir [23]. Oldukça fazla sayıda ikili alaşım sistemine sahiptir.

### **2.3.1. Sn-Cu**

Sn-Cu ötektik alaşımı, 227 °C ergime sıcaklığına sahiptir. Düşük maliyetli Sn-Cu alaşımları, elektronik seri üretimde dalga lehim olarak kullanılmaktadır. Sn-Cu ötektik alaşımı, diğer kurşunsuz lehim alaşımları ve hatta Sn-Pb lehimini ile karşılaştırıldığında, zayıf mekanik özelliklere sahiptir [24].

### **2.3.2. Sn- Ag**

Sn-Ag lehim alaşımları, kurşun içeren lehim alaşımlarına alternatif diğer bir alaşım olarak geliştirilmiştir. Tipik Sn-Ag alaşımları, %3 - %5 arasında gümüş içermektedir [25]. Sn-Ag ikili sistemin ötektik bileşimi, Sn-3,5Ag'dür ve ötektik sıcaklığı 221 °C dir. Sn-Ag ötektik alaşımı mukavemet, sürünme direnci ve bulk (kütle) malzemenin termomekanik yorulma davranışı olarak, iyi mekanik özelliklere sahiptir. Yapılan bazı çalışmalarda bu alaşıma % 1 Zn ilavesi yapılarak, Sn-Ag alaşımının sürünme deformasyonu ve gerilme özellikleri iyileştirilmiştir. Yüksek sıcaklıklarda yüksek dayanıma ve güvenilirliğe sahiptir.



### 2.3.3. Sn- Bi

Sn-Bi ikili alaşımında, Sn-58Bi ötektik alaşımı düşük sıcaklıklarda lehimleme için avantajlıdır. Sn- Bi alaşımının oda sıcaklığındaki denge fazları, Bi ve yaklaşık olarak %4 Bi içeren Sn katı çözeltilisidir [21]. Bi, 130 °C ötektik katılaşma sıcaklığında, kalayın çözünlüğü düşük olduğu için saf haldedir. Elektronik cihazlar termal hasara eğimli olduğundan dolayı, düşük sıcaklıklı lehimlerin kullanılması gerekir. Bu sebeple, Sn-Bi alaşımı (Sn-58Bi ötektik alaşımının ergime sıcaklığı 139°C'dır.) tercih edilmektedir [26].

### 2.3.4. Sn-In

Sn-In alaşımları, düşük ergime sıcaklıkları ve altın temizleyebilme kabiliyetine sahiptirler. Sn-In ikili sisteminin ötektik sıcaklığı 117 °C'dır. Bu ötektik alaşım, In-zengin hacim merkezli tetragonal benzeri  $\beta$  (%44,8 Sn) ve hegzagonal Sn-zengin  $\gamma$  (%77, 6 Sn) fazlarından oluşmaktadır [21-27].

### 2.4.5. Sn-Zn

Sn-Pb alaşımlarının alternatifini olarak geliştirilen bir alaşımdır. Kurşun kullanımının sağlık ve çevre güvenliği için uygun olmaması, önemli bir konu haline gelmiştir [28]. Yapılan araştırmalar sonucunda, ergime sıcaklığının ötektik Sn-Pb alaşımına yakın olması (198 °C) nedeniyle, Sn-9Zn kurşunsuz lehim alaşımları en cazip lehim alaşımları olarak görülmektedir [4,5]. Ergime sıcaklığının ötektik Sn-Pb alaşımına yakın olması (198 °C) Sn-Zn kurşunsuz lehim alaşımları cazip hale getirmektedir. HMK yapılı  $\beta$ -Sn ve hegzagonal yapılı Zn'den oluşan Sn-9Zn alaşımı, katı eriyikte %1' den daha az Zn çözebilen ve 198 °C' de ergiyen bir alaşımdır [6]. Sn-Zn ikili alaşımları, mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler [23].

## BÖLÜM 3

### KURAMSAL TEMELLER

#### 3.1. KATILARIN SIVI METAL ALAŞIMLARI TARAFINDAN ISLATILABİLİRLİĞİ

Islanabilirlik veya ıslatma, sıvı fazın katı yüzey üzerindeki dağılabilme yeteneğidir ve bu dağılabilme yeteneği, iki yüzey arasındaki temas açısı ile belirlenmektedir. Islatmanın bir başka açıklaması da, sıvı ile katı yüzeylerin elektriksel olarak nötr halde iken, birbirine yeteri kadar yaklaştığında, aralarında bir çekim meydana gelmektedir. Katı yüzey üzerindeki sıvının dağılabilirliği veya ıslanabilirliği, kullanılan sıvı kadar katı yüzeyinin özelliklerine de bağlıdır [29]. Katı malzeme yüzeylerinin sıvı metal alaşımları ile ıslatabilirlik derecesinin ölçülmesi için malzeme çiftler arasındaki etkileşim, fiziksel adsorpsiyon ve adezyon kuvveti ile bu kuvvetin yaptığı işin belirlenmesi ile ilişkilidir. Bundan dolayı, temas açısı ölçümünde ıslatabilirlik önemli bir kavramdır.

##### 3.1.1. Temas Açısı

Düz ve yatay konumda bir katı yüzey üzerinde yer alan bir sıvı damlası düşünüldüğünde, katı yüzeyi ile temasta sıvı yüzey arasında bir açı oluşmaktadır. Temas açısı adı verilen bu açının büyüklüğü damlanın şekline, damlanın şekli ise, sıvının yüzey gerilimine bağlıdır. Yüzey gerilimi de, sıvının kendi molekülleri arasındaki çekim kuvvetleri (kohezyon kuvvetleri) ve sıvı-katı arası çekim kuvvetlerinin (adezyon kuvvetleri) göreceli büyüklüğü ile ilişkilidir [30]. Kohezyon kuvvetleri, adezyon kuvvetlerinden ne kadar büyükse, temas açısı o kadar büyüktür. Islatabilirlik, genel olarak temas açısı ( $\theta$ ) ile tanımlanmaktadır.

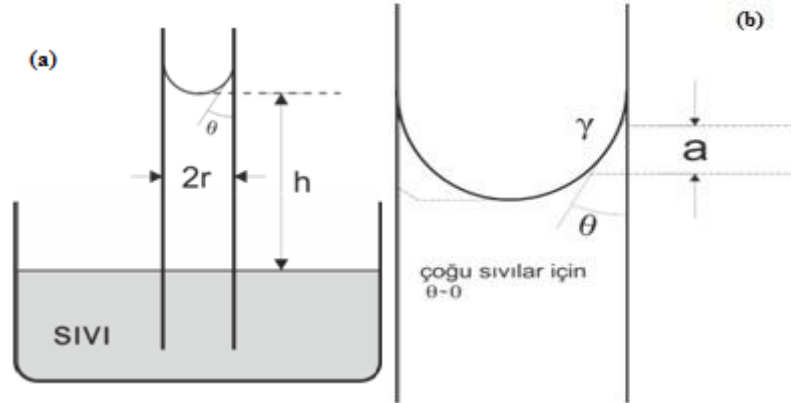
### 3.1.2. Temas Açısı Ölçüm Yöntemleri

Katı fazı ıslatan, sıvının temas açısı ve yüzey gerilimidir. Sıvıların yüzey geriliminin ölçülmesinde, birçok yöntem kullanılmaktadır. Başlıca ölçme yöntemleri;

1. Kapillerde (kılcalda) yükselme yöntemi
2. Wilhelmyplate (plaka) yöntemi
3. DuNouy halka yöntemi
4. Basit damlalık yöntemi
5. Donnan pipeti yöntemi
6. Pendant (Asılı) damla yöntemi
7. Sesil damla (Sessiledrop) yöntemi
8. Oscillating jet yöntemi
9. Maksimum kabarcık yöntemidir.

#### 3.1.2.1. Kapillerde (Kılcalda) Yükselme Yöntemi

Şekil 3.1'de kılcalda yükselme prensibine dayalı olarak yüzey gerilmesi ölçülmesi, şematik olarak verilmektedir.



Şekil 3.1. a) ve b) Kılcalda yükselme prensibine dayalı olarak yüzey geriliminin ölçülmesinin şematik olarak gösterilmesi [29].

Şekil 3.1’de bir sıvı menüsküsünde değme açısı ve kuvvet bileşenleri büyütülmüş olarak gösterilmektedir. Birçok sıvı için temas açısı ( $\theta$ ), diyagramın sol tarafında görüldüğü gibi sifıra yakındır [30].

Sadece yer çekimi etkisi altında bulunan bir kaptaki sıvının serbest yüzü yataydır. Ancak, sıvı yüzeyinin kabın kenarında olan kısmı, sıvının kabı ıslatıp ıslatmamasına göre, aşağı veya yukarı doğru olmaktadır. Bu olay, dar borularda (tüplerde) (kapiller=kılcal borularda) açık olarak görülmektedir. Kılcal borularda sıvıların yükselmesine veya alçalması, "kapillarite" olarak adlandırılmaktadır. Nedeni ise, yüzey gerilimidir. Kılcalda, yüzey gerilimi nedeniyle yükselen sıvı, yer çekimi ile dengelenmektedir.

Eğer, sıvı molekülleri ile kılcal boru arasındaki adezyon kuvveti, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvvetinden küçük ise, sıvı ıslatmaz (civa-cam gibi). Sıvı yüzeyi kılcalda, dış kaptakinden daha düşük seviyededir (serbest yüzeyi konveks (dış bükey=tümsek) bir halde alır). Eğer, sıvı molekülleri arasındaki kohezyon kuvveti, sıvı-cam arasındaki adezyon kuvvetinden küçük ise, sıvı camı ıslatır ve sıvı yayılır. Sıvı kılcal boru içinde yükselerek, üst yüzeyi konkav (iç bükey =çukur) bir hal alır (cam-su gibi). Kılcal boruda sıvının yükselme hareketi, yüzey gerilim ile yer çekimi kuvvetinin dengelenmesine kadar devam etmektedir.

İç yarıçapı  $r$  olan ve yüzeyini ıslatan bir sıvı içine daldırılmış bir boruda sıvı, yüzey gerilim nedeniyle yükselmeye başlamaktadır. Yukarı doğru olan sıvı hareketi yani yükselme, yüzey gerilim ile sıvıyı aşağıya doğru çekmeye çalışan yer çekimi kuvveti dengeye geldiğinde durmaktadır.

Daire çevresi üzerindeki herhangi bir noktadaki, sıvının yüzey geriliminden kaynaklanan kuvvetin yukarı doğru dik bileşeni (Eşitlik 3.1),

$$a = \gamma \cos\theta \quad (3.1)$$

ile verilmektedir. Kılcal borunun iç daire çevresi etrafındaki yukarı doğru olan toplam kuvvet (Eşitlik 3.2),

$$2\pi r a = 2\pi r \gamma \cos\theta \quad (3.2)$$

$$\uparrow f\{2\pi r \gamma \cos\theta$$

olmaktadır. Zıt hareket eden yerçekimi kuvveti,  $\pi r^2 h \rho g$  olarak gösterilmektedir.

Su ve diğer birçok sıvı için temas açısı ( $\theta$ ) önemsizdir. Eğer bir sıvı, bir katıyı çok iyi ıslatıyorsa  $\theta = 0$  'dır ve  $\cos\theta = 1$ 'dir. Su ve birçok sıvı için temas açısı ( $\theta$ ), hemen hemen sıfır olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, temas açısı önemsizdir ve menisküs üstündeki sıvı ağırlığı ihmal edilebilir.

Yer çekimi kuvveti, (sıvının kütlesi  $\times$  ivme) olduğundan dolayı,

$$\uparrow f\{2\pi r \gamma = \pi r^2 h \rho g\} \downarrow f \quad (3.3)$$

Eşitsizlik 3.3'de verilen denklem yazılabilir. Burada eşitliğin sol tarafı, yukarıya doğru çeken yüzey gerilim kuvvetini, sağ taraf ise aşağıya doğru çeken yer çekim kuvvetini göstermektedir.

Denklem, buharın yoğunluğu ( $\rho_0$ ), temas açısı ( $\theta$ ) ve  $w$  (menisküs üstündeki sıvının ağırlığı) ihmal edilirse, Eşitlik 3.4'de verilen denklem yazılabilir.

$$\gamma = \frac{1}{2} r h \rho g \quad (3.4)$$

$\gamma$ : Yüzey gerilim (din/cm)

$r$ : Kılcal borunun yarıçapı

$h$ : Sıvının yükseldiği yükseklik

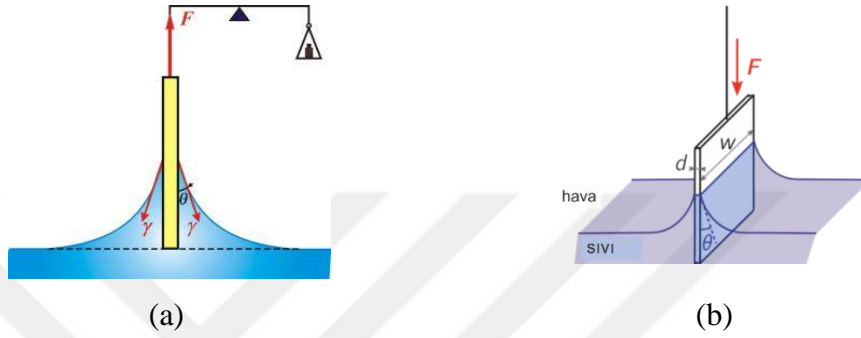
$\rho$ : Sıvının yoğunluğu

$g$ : Yerçekimi ivmesi (981 cm.sn<sup>-2</sup>)

Kılcalda yükselme yöntemi, gerçek yüzey gerilimine en yakın sonuçları vermektedir. Bu yöntemle sıvıların ara yüzey gerilimi saptanamaz. Ancak sıvıların yüzey gerilimi saptanabilmektedir [31].

### 3.1.2.2. Wilhelmy Levha (Koparma) Yöntemi

Uygulanışına göre koparma (ayırma) yöntemi ve statik yöntem olarak iki şekildedir. Her iki yöntemde düzenek, esas itibariyle bir terazi ile ince bir mika levha veya lamdan oluşmaktadır. Terazinin bir kolu ucuna levha asılarak, sıvıya daldırılmaktadır.



Şekil 3.2. Wilhelmy levha yöntemleri: a) koparma b) statik [32].

Koparma (Ayırma) yönteminde, yüzey gerilimi ölçülmek istenen sıvı bulunan kap içine levha daldırılarak, kap yavaşça alçaltılmaktadır. Diğer kola ilave edilen ağırlıklardan koptuğu andaki çekim, kullanılan terazi ile belirlenmektedir. Sıvının yüzey gerilimi ( $\gamma$ ), Eşitlik 3.5’de verilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{W_k - W}{2(d + w)} \quad (3.5)$$

$W_k$  : Levhanın koptuğu anda terazide saptanan değer

$W$  : Levhanın ağırlığı

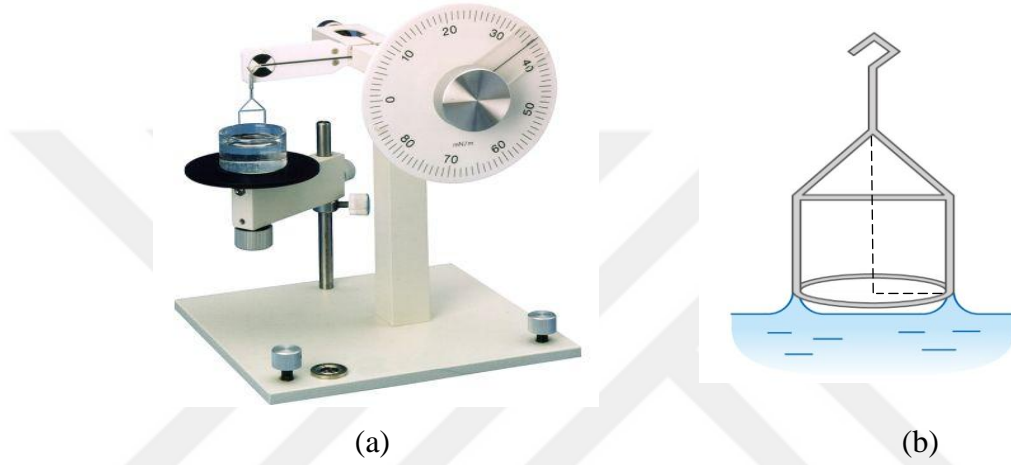
$w$  : Levhanın uzunluğu

$d$  : Levhanın genişliği

Statik yöntemde (levha yöntemi), yüzey gerilimdeki değişimlerin ölçülmesi için kullanılmaktadır. Levha, bir sıvı içine daldırılmış durumda iken, yüzey gerilimi değişikçe, levhayı sabit dalışta tutmak için gerekli kuvvet değişikliği ölçülmektedir [30].

### 3.1.2.3. DuNouy Halka Yöntemi

Yüzey ve yüzeyler arası gerilimin ölçülmesinde DuNouy yüzey gerilim cihazı "DuNouy Tensiometer" kullanılmaktadır. Bu yöntemde, halkanın kopması için gereken kuvvet ölçülmektedir. Yüzey veya ara yüzeye daldırılmış platin iridyumdan yapılmış halkanın sıvıdan ayrılması için gerekli kuvvetin, yüzey ve yüzeyler arası gerilim ile orantılı olması esasına dayanmaktadır (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. a) DuNouy yüzey gerilim cihazı b) ara yüzey geriliminin halka yöntemi ile ölçülmesi [32].

DuNouy yüzey gerilim cihazında platin-iridyumdan yapılmış bir halka vardır. Bu halka, yüzey ya da yüzeyler arası gerilimi ölçülecek sıvıya daldırılmaktadır. Halkayı, daldırıldığı yüzeyden ya da ara yüzeylerden koparmak için gerekli kuvvet, burulmuş bir tel ile sağlanmakta ve kalibre edilmiş bir kadran üstünde kaydedilmektedir. Yüzey gerilim, Eşitlik 3.6 'da verilen denklemlerle hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{F\beta}{4\pi r} \quad (3.6)$$

$\gamma$  : Yüzey ya da yüzeylerarası gerilim

$F$  : Halkayı çeken kuvvet (kadranda okunan değer) din olarak

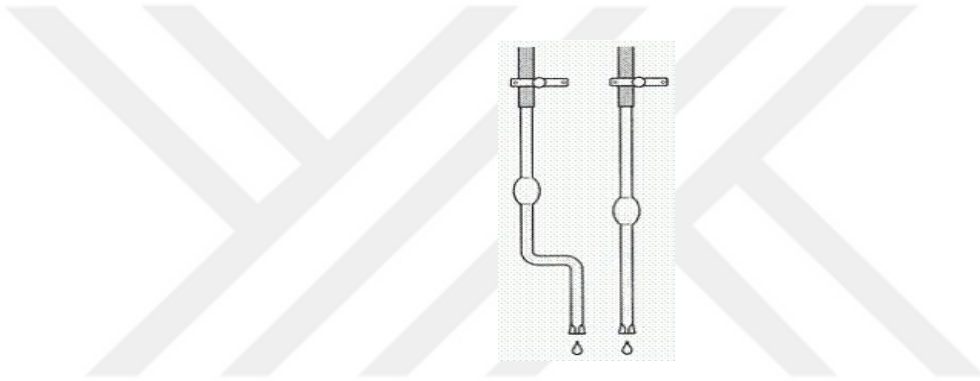
$\beta$  : Aletin düzeltme faktörü

$r$  : Halkanın yarıçapı

Temas açısının sıfır olması için plâtin halka, her kullanımdan sonra kuvvetli asitle veya bünzen alevinde temizlenmektedir. Bu yöntemde, düzeltme faktörü uygulanmadığında, ölçümlerde %25 hata oluşabilmektedir. Çünkü halkanın yapıldığı telin yarıçapı ve yüzeyden yükselen sıvı hacmi gibi etkenler, denklemde yer almamaktadır [31].

#### 3.1.2.4. Damla Ağırlığı Yöntemi

Yüzey gerilimini belirleme yöntemlerinden bir diğeri de, belli bir hacimdeki sıvının damla sayısının sayılmasıdır. Bunun için TraubeStalogmometresi kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Traubestalogmometresi [33].

$V$  hacmindeki sıvının akması sırasında oluşan  $r$  yarıçapındaki bu damlaların kütle ve ağırlığı, Eşitlik 3.7 ve Eşitlik 3.8’de verilen denklemler ile hesaplanmaktadır.

$$m = \frac{V}{n} \rho \quad (3.7)$$

$$mg = 2\pi r \gamma \quad (3.8)$$

Burada  $n$  damla sayısı,  $\rho$  sıvının yoğunluğu,  $g$  yerçekim ivmesi,  $2\pi r$  ise stalogmometrenin alt ucunun çevresidir. Stalogmometre ile daha çok yüzey gerilimi bilinen bir sıvı yardımıyla, başka bir sıvının yüzey gerilimi belirlenmektedir. Aynı stalogmometre kullanılarak Eşitlik 3.7 ve 3.8 yardımıyla



$$\frac{m_2}{m_1} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (3.9)$$

$$\frac{m_2}{m_1} = \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \quad (3.10)$$

Eşitlik 3.9 ve Eşitlik 3.10' da verilen denklemler çıkarılmaktadır. Eğer iki sıvının yoğunlukları birbirine yakınsa,  $\rho_1 = \rho_2$  alınarak yüzey gerilimleri ile damla sayıları arasında Eşitlik 3.11 ve Eşitlik 3.12' de verilen denklemler elde edilmektedir [30].

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.11)$$

veya  $\rho_1 \neq \rho_2$  ise

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \left( \frac{n_1}{n_2} \right) \left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \quad (3.12)$$

### 3.1.2.5. Donnan Pipeti Yöntemi

Bu yöntem ile, birbiriyle karışmayan sıvıların ara yüzey gerilimi ölçülmektedir. Pipet içine, ara yüzey gerilimi bilinen karışmayan sıvılardan (yoğunluğu düşük olan) konularak, pipet diğer sıvıya daldırılmaktadır. Pipetin üst hava musluğu açılarak yoğunluğu düşük olan sıvının belirli miktarı damlalar halinde, ikinci sıvının yüzeyine çıkması sağlanarak, damla sayısı belirlenmektedir. Daha sonra pipet içine, dıştaki sıvıya karşı ara yüzey gerilimi belirlenmek istenen sıvı konularak, damla sayısı belirlenmektedir [30].

### 3.1.2.6. Pendant (Asılı) Damla Yöntemi

Pendant damla yöntemi, katı-sıvı arasındaki ara yüzey gerilimini ölçümünde çok yönlü, en uygun yöntemdir. Pendant (asılı) damla yöntemi, mekanik dengede süspansiyon haline getirilmiş bir sıvının damla görünüşü belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Damla profili, yerçekimi ve yüzey güçleri arasındaki dengeyle belirlenmektedir. Lineer olmayan bir diferansiyel eşitlik aracılığıyla, ara yüzey

gerilimi için damla profil Laplace eşitliğine dayalı olarak, Eşitlik 3.13 ve Eşitlik 3.14' de verilen Bashforth ve Adams'ın eşitliği ile sağlanmaktadır.

$$\frac{1}{\frac{R_1}{a} + \frac{\sin\varnothing}{x}} = -B \frac{z}{a} + 2 \quad (3.13)$$

$$B = \frac{a^2 g \Delta\rho}{\gamma} \quad (3.14)$$

Burada;

$\Delta\rho$  : temas halinde iki polimer yoğunlukları arasındaki fark

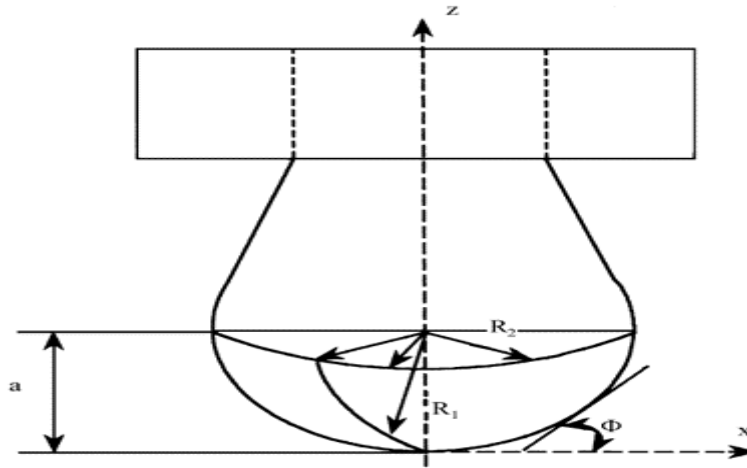
$g$  : yerçekimi sabiti

$\gamma$  : ara yüzey gerilimi

$a$  : damlanın tepe kavis yarıçapı

$x, z, \varnothing$  : Şekil 3.5'nin koordinatları

$R_1$  :  $x - z$  Koordinatlarının kesişme noktasındaki eğrilik yarıçapıdır.



Şekil 3.5. Pendant damla geometrisi [34].

$R_1$  ve  $(\varnothing)$  geometrik olarak, Eşitlik 3.15 ve Eşitlik 3.16' da verilen denklemler ile tanımlanabilirler [30].

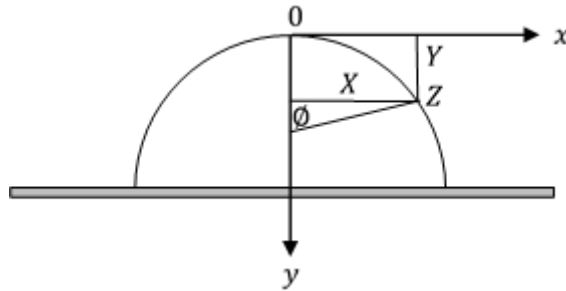
$$R_1 = \frac{ds}{d\varnothing} = \frac{\left[1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2z}{dx^2}} \quad (3.15)$$

$$\sin\varnothing = \frac{\frac{dz}{dx}}{\left[1 + \left(\frac{dz}{dx}\right)^2\right]^{1/2}} \quad (3.16)$$

### 3.1.2.7. Sessile Damla Yöntemi

Yatay konumdaki katı yüzey üzerinde duran ve değişim yüzeyi gösteren sıvı damlası şematik olarak Şekil 3.6'da görülmektedir. Bu damlanın yerçekimi kuvvet alanı içindeki sıvı yüzeyini tanımlamak için Eşitlik 3.17' de verilen denklem kullanılmaktadır.

$$\frac{1}{\frac{\rho}{b}} + \frac{\sin\varnothing}{\frac{x}{b}} = 2 + \frac{z(D-d)\rho B^2}{b \gamma_{SG}} \quad (3.17)$$



Şekil 3.6. Sıvı damla koordinatları [35].

Eşitlik 3.17' de,  $\rho$  meridyen kısmın düz yüzeyinde eğim yarıçapı,  $b$  ise en yüksek seviyede damlanın yüzey eğiminin yarıçapıdır ( $R_1 = R_2 = b$ ). Bu durum Eşitlik 3.18

$$\frac{(D-d)\rho B^2}{\gamma_{SG}} \quad (3.18)$$

ile ( $\beta$ ) de gösterilebilir.  $D - d$ , sıvı ve ortamın (sıvı-gaz sistemi) yoğunluk farkı;  $g$ ; yerçekimi ivmesi  $x$  ve  $z$  ise sıvı yüzeyindeki herhangi bir noktanın koordinatlarıdır. Bu eşitliğin çözümünde noktanın yüzeydeki  $x, z$  ve  $\emptyset$  koordinatları,  $\gamma_{SG}$  yüzey gerilimi, sıvı yoğunluğu ve ivmeyle ilişkilendirilmektedir.

Bu yöntemde, sıvı damla yüzeyindeki nokta koordinatları ölçülerek, sıvının gerilmesi yoğunluğuna göre belirlenebilmektedir. Aynı zamanda eşitlik çözümleri ile, katı yüzeyiyle temas noktası dahil, herhangi bir noktadaki sıvı yüzeyi eğimi bulunabilmektedir (temas açısı). Böylece sıvı damla metodu  $\gamma_{SG}$  ve  $\theta$  değerleri hesaplanabilir. Sıvı yüzeyi şeklini bildiğinde sıvı hacmini tanımlamak mümkündür. Eşitlik 3.17'nin çözümü tam olarak belirtilememesine rağmen, belirli bir doğruluk derecesiyle (yaklaşık olarak) integrali alınabilmektedir. Bu eşitliğin en doğru çözümleri için Bashforth ve Adams tarafından, Eşitlik 3.19' da verilen denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$\gamma = \frac{g\rho b^2}{\beta} \quad (3.19)$$

$b$  ve  $\beta$ , ölçülmüş  $x_1, x_2$  ve  $\emptyset$  koordinatları kullanılarak Bashforth ve Adams'ın çizelgelerinden belirlenmektedir.  $x$  ve  $z$ 'nin ölçümleri genellikle  $\theta = 90^0$ 'de seçilen  $\emptyset$  değeri ile ortaya çıkmaktadır. Bu tür ölçümler en doğru ölçümlerdir. Sıvı ile ıslanmanın iyi elde edildiği,  $\theta < 90^0$  ölçümleri daha az doğrudur. Fakat özel ölçümlerle daha doğru sonuçlar elde edilebilmektedir. Damlacık hattının  $x, y$  ve  $\emptyset$  koordinatlarının değerlerini belirlenmesi için, damla görüntülenmektedir. Maksimum damlacık çapının ( $2x$ ),  $\theta = 90^0$  de  $z$ 'ye olan mesafesi, mikroskop ile ölçülmektedir. Görüntü üzerinden ıslatma açısını ölçmek için, başka metotlar da kullanılmaktadır.

Temas anındaki damla görüntülerinden, Bashforth ve Adams'ın çizelgeleri kullanılarak veya ıslanma düzleminin yanındaki damlacık kenarına bir tanjant çizilerek Eşitlik 3.20'de verilen denklem ile ıslatma açısı hesaplanmaktadır. Damla

kenarına normal tanjant çizme metodu haricinde küresel kısımdan da Eşitlik 3.21 kullanılarak, damlacık boyutlarından (damla hacmi yüksekliğinden) ıslatma açısı hesaplanabilmektedir. Hesaplamalarda damla yüzeyinin küresel olduğu kabul edilmektedir.

$$\tan\theta = \frac{2ha}{a^2 - h^2} \quad (3.20)$$

$$\cos\theta = 1 - \frac{3\pi h^2}{3\vartheta - \pi h^3} \quad (3.21)$$

Burada  $h$  damla yüksekliğini,  $2a$  çevre uzunluğunun (perimetre) çapını göstermektedir. Eğer damlacık çok büyük ise, eğim ihmal edilerek ıslatma açısı Eşitlik 3.22'deki gibi ifade edilmektedir.

$$\cos\theta = 1 - \frac{Dgh}{2\gamma_{SG}} \quad (3.22)$$

Eşitlik 3.22 sadece çok büyük sıvı damla çapları ( $D_d, 10 - 15 \text{ cm} \leq D_d$ ) için geçerlidir. Sıvı damla metodu ile ergimiş metal-katı ıslatmasının tespit edilmesi, diğer metotlara göre önemli bazı avantajlara sahiptir. Bunlar, prensip olarak metodun basitliği ve katı sıvı fazlar için maddenin sadece küçük bir parçasına ihtiyaç duyulmasıdır. Ayrıca, bu metotta sıvı damladan uygun uzaklıktaki ölçümler sırasında kapalı ortam kullanıldığı için, damlaya direkt temas edilmemekte ve numunenin tekrar ısıtılması da gerekmemektedir [30].

### 3.1.2.8. Oscillating Jet Yöntemi

Çok kısa bir sürede (yaklaşık 0,01 saniye) yüzey gerilimin ölçülebilmesi avantajı bulunan dinamik bir yöntemdir. Bu yöntemde sıvı, basınçla küçük bir delikten geçirilmektedir. Delikten fışkıran sıvı, eliptik bir kesite sahip ve kararsız olduğu için dairesel kesite salınım yapmaktadır. Delikten geçen sıvının, geçerken oluşturduğu dairesel kesitin görüntüsü alınarak, boyutları ile sıvının yüzey gerilimi arasında bağıntı kurulmaktadır (akış hızından hesaplanabilir) [30].

### 3.1.2.9. Maksimum Kabarcık Yöntemi

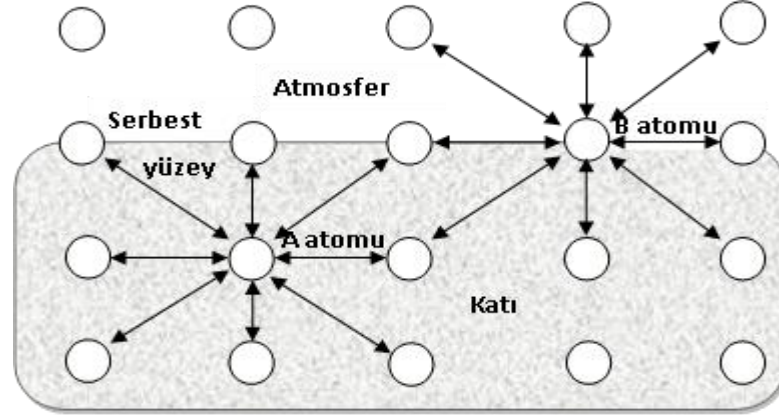
İçerisinde  $h$  yüksekliğinde sıvı bulunan kılcal borunun alt ucundan kabarcık çıkana kadar üst ucundan gönderilen havaya uygulanan basınç, deneysel yoldan ölçülebilmektedir. Maksimum kabarcık basıncı adı verilen bu nicelik için, Şekil 3.6'dan Eşitlik 3.23 denklemi yazılabilir.

$$P_{max} = h\rho g + h'\rho g = \frac{2\gamma}{r} + h'\rho g \quad (3.23)$$

Kılcal borudaki  $h$  yüksekliği ve kılcal borunun sıvı yüzeyinden derinliğine eşit olan  $h'$  yüksekliği ve  $P_{mak}$  basıncı deneysel yoldan ölçülerek kullanılan sıvının  $\rho$  yoğunluğu ve  $g$  yerçekimi ivmesi bilindiği için, yüzey gerilimi  $\gamma$  bu bağıntıdan hesaplanmaktadır[30].

### 3.2. YÜZEY ENERJİSİ VE YÜZEY GERİLİMİ

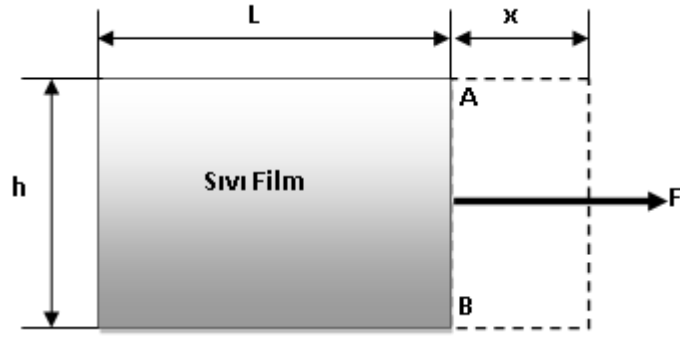
Malzeme yüzeyindeki atomların temas halinde buldukları atmosfer ile etkileşimi, bir katı veya sıvının yüzey enerjisini tanımlayabilmek için dikkat edilmesi gereken bir niceliktir. Katı bir malzemenin iç bölgesindeki ve serbest yüzeyindeki atomların birbirleri ile olan etkileşimleri, şematik olarak Şekil 3.7'de gösterilmektedir. Katı içindeki atom (A), komşu atomlarla ilişkisi sebebiyle dengede iken, serbest yüzeydeki atom (B) ise, eksik komşu atomlarının olmasından dolayı kararsızdır. Ayrıca, serbest yüzeydeki atomun bir bölümü, atmosfer içindeki gaz atomlarıyla temas halindedir. Serbest yüzeydeki atomun (B) potansiyel enerjisi, katı içerisindeki atoma (A) göre daha yüksektir. Serbest yüzeydeki bu enerji, bu katının yüzey enerjisi olarak tanımlanmaktadır.



Şekil 3.7. Bir katının yüzey enerjisini tanımlamak için atomlar arasındaki etkileşimin şematik gösterimi [36].

Sıvı haldeki bir damlanın da yüzey enerjisi vardır. Eğer damlanın yüzey enerjisi küçük ise, damla mükemmel küre şeklindedir. Çünkü diğer şekillere göre kürenin yüzey/hacim oranı, en küçüktür. Dolayısıyla, bir sıvının yüzey enerjisi, hacimsel enerjisine göre daha büyüktür. Buharlaşma ve herhangi bir reaksiyon meydana gelmediği kabul edilen bir damla katı bir yüzey üzerinde yayıldığında, hacmi sabit kalmaktadır. Bu nedenle, sadece sıvının yüzey enerjisinde bir değişme söz konusudur.

Yüzey gerilimi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişki, belirli şartlar altında tanımlamaya çalışıldığında (Şekil 3.8’de görüldüğü gibi),  $L$  uzunluğunda ve  $h$  genişliğinde bir sıvı film oluştuğu düşünülmektedir. Bu sıvı film yüzeyi, elastik bir zar ile kaplanmış bir pakete benzetilebilir. Bu sıvının,  $L$  uzunluğundaki AB engeline temas etmesi ile, yüzeyinin ortasında dik olarak etki eden bir çekme kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvvet, sıvı filmin diğer yüzeyine ( $L$ ) paraleldir ve sıvı filmi mesafesi kadar büyüktür.



Şekil 3.8. Yüzey gerilmesi ile yüzey enerjisi arasındaki ilişki [36].

Bu nedenle, sıvı film alanında da bir artış meydana gelmektedir. Bu artışı,  $xh$  olarak ifade edilebilmektedir. Bu mesafe artışında yapılan işi tanımladığında,  $Fx$  sonucuna ulaşılmaktadır. Alan içindeki artışa ters olarak, sabit sıcaklıkta sıvı filmin yaptığı iş,  $2\gamma xh$  dir ( $\gamma$  sıvının yüzey gerilimi). Buradaki "2", sıvının iki adet yüzeyindeki gerilimini ifade etmektedir. Böylece, sabit sıcaklıkta Eşitlik 3.24' de verilen denklem yazılabilir.

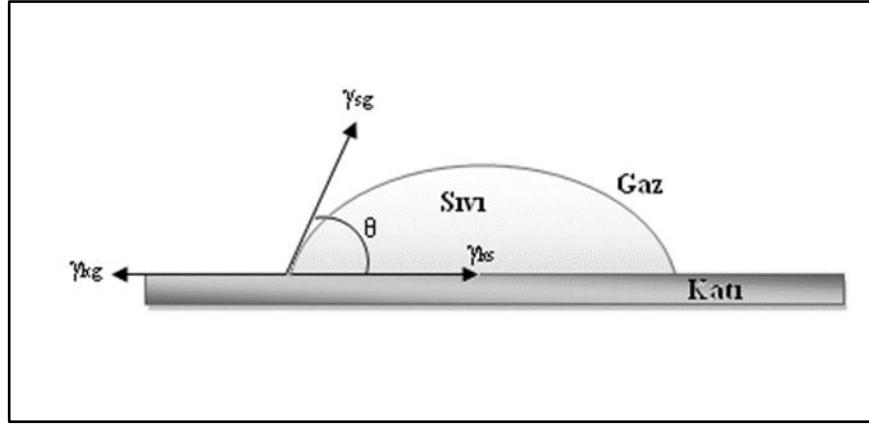
$$Fx = 2\gamma xh \quad (3.24)$$

Eşitlik yeniden düzenlendiğinde,  $F/h = 2\gamma$  veya tek yüzey için  $F/h = \gamma$  eşitlikleri bulunmaktadır. Böylece, sabit sıcaklıkta yüzey enerjisi yüzey gerilimine eşit olmaktadır. Yüzey enerjisi birimi  $Jm^{-2}$ , yüzey geriliminin birimi ise  $Nm^{-1}$ 'dir. Bu parametre, sıvı ile atmosfer arasındaki arayüzey özelliğini ifade etmektedir. Sıcaklık ve atmosfer değiştiğinde, sıvının yüzey gerilimi de değişmektedir.

### 3.3. SIVILARIN KATILARI ISLATMASI

Islatma, gaz basıncıyla sıvının yayılması olayıdır ve ıslatma kolaylığı ıslatılabilirlik olarak ifade edilmektedir. Bir sıvı tarafından katının ıslatılabilirliği, sıvının katı üzerine yaptığı temas açısına bağlıdır. Genel olarak ıslatmada, Young-Dupre tarafından önerilen temas açısı ( $\theta$ ) Eşitlik (3.25)'de kullanılmaktadır (Şekil 3.9).



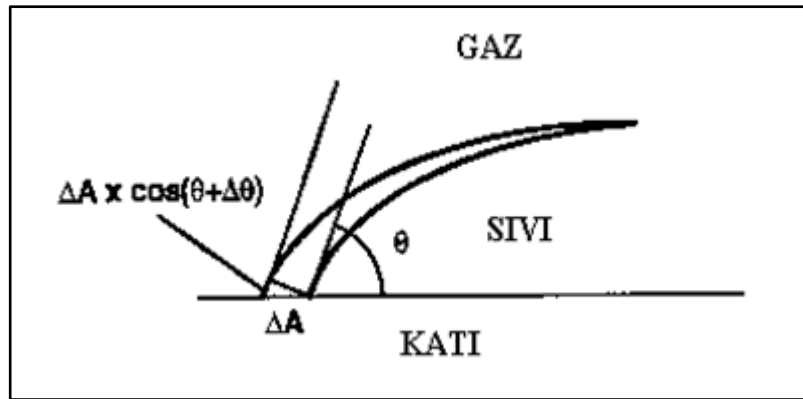


Şekil 3.9. Üç ara yüzey gerilimi ve temas açısı ( $\theta$ ) arasındaki ilişki [30].

$$\gamma_{KG} - \gamma_{KS} = \gamma_{SG} \cos \theta \quad (3.25)$$

Burada  $\gamma_{SG}$ , sıvının (Sn-Ag alaşımı) yüzey gerilimi,  $\gamma_{KG}$ , katının (altlık (Cu) yüzey gerilimi  $\gamma_{KS}$ , sıvı-katı arayüzey gerilimi ve  $\theta$ , sistemin temas açısını ifade edilmektedir.

Bununla birlikte, ıslatma sadece ara yüzey gerilmelerinin dengesi olarak hareket etmez. Aynı zamanda, katı yüzeyin ıslatma süresince termodinamik işlemi olarak da davranır. Sıvının şekli değiştirildiğinde (son derece küçük değerlerde), ıslanmış katının alanı  $A$ ,  $\Delta A$  kadar artırıldığında, temas açısı  $\theta$ ,  $\theta + \Delta\theta$  kadar değişmektedir. Bu anda sıvının alanı, Şekil 3.10'de görüldüğü gibi,  $\Delta A \cos(\theta + \Delta\theta)$  kadar artmaktadır.



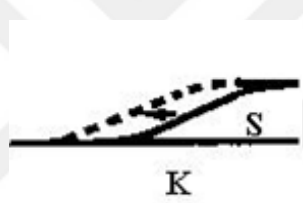
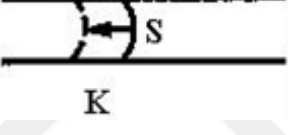
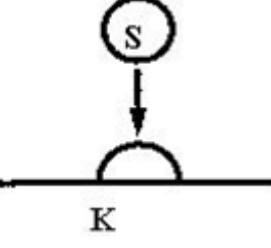
Şekil 3.10. Sıvının bir miktar yer değiştirmesine bağlı ara yüzey değişmesi [37].

Bu nedenle, sistemin toplam enerjisindeki değişimi Eşitlik 3.26'daverilen denklem ile açıklanabilir.

$$\Delta F = \Delta A(\gamma_{KS} - \gamma_{KG}) + \Delta A\gamma_{SG}x\cos(\theta + \Delta\theta) \quad (3.26)$$

Temas açısına bağlı olarak ıslatma, yayılma ıslatması, damla ıslatması ve yapışma ıslatması olarak üç farklı şekilde oluşmaktadır. Islatmanın her bir tipinde birim temas alanını üretmek için gerekli iş (ıslatma işi), önemli parametrelerden biridir. Islatma Çizelge 3.1'de görüldüğü gibi ıslatma türüne bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 3.1. Islatma türleri [31].

	Yayılma Islatması	Dalma Islatması	Yapışma Islatması
Şekil			
Ara Yüzeyde Azalma	Katı Yüzey (K)	Katı Yüzey (K)	Katı Yüzey (K) Sıvı Yüzey (S)
Ara Yüzeyde Artma	Katı Yüzey (K) Ara yüzey (K/S) Sıvı Yüzey (S)	Katı/Sıvı Ara yüzey (K/S)	Katı/Sıvı Ara yüzey (K/S)

Denge temas açısı sıfır olduğunda, sıvı katı üzerine sonsuz olarak yayılmaktadır. Bu durumdaki ıslatma, yayılma ıslatması olarak adlandırılmaktadır. Bu tip ıslatma, katının yüzey alanının azalması ve sıvı yüzey alanının, katı ve sıvı ara yüzey alanı kadar artması ile sonuçlanmaktadır. Denge temas açısı 90°'den küçük olduğunda ıslatma, dalma ıslatması olarak adlandırılmaktadır. Dalma ıslatması sıvının iki katı arasında bulunduğu durumlarda meydana gelmektedir. Denge temas açısı, sıvının katı levhalara yayılma açısına bağlı olarak değişmektedir. Sıvının katı levhalara yayılma açısına bağlı olarak, katı levhalar sıvı yüzeyi kendilerine doğru çekmektedir.

Bu şekilde, sıvı iki katı levha arasına nüfuz etmektedir. Bu durumda, katı yüzey alanı azalırken, katı-sıvı ara yüzey alanı da artar.

### 3.4. İLERLEME VE GERİLEME TEMAS AÇILARI

Temas açısı, genellikle dengeli bir temas açısını göstermektedir. Bununla birlikte, ara yüzey ilerlerken gözlenen temas açısı ve ara yüzey gerilerken gözlenen temas açısı, uygulamada daima farklıdır. Bu temas açıları, ilerleme temas açısı ( $\theta_a$ ) ve gerileme temas açısı ( $\theta_r$ ) olarak ifade edilmektedir. İki temas açısı arasındaki fark, yüzey pürüzlülüğünden kaynaklanmaktadır. Yüzey çok pürüzlü olduğunda iki temas açısı arasındaki fark büyük olmaktadır. Bu durumda denge temas açısı, Eşitlik 3.27de verilen denklemde ifade edilmektedir [30].

$$\cos\theta_e = (\cos\theta_a + \cos\theta_r) / 2 \quad (3.27)$$

Islatma süresince sıvı damla buharlaşırken, temas açısı  $\theta_a$ 'dan  $\theta_r$ 'ye değişmektedir. Özellikle reaktif sistemlerde ıslatma, ara yüzey reaksiyonlarıyla birleştiğinde, gerileme temas açısı bir problemidir. Gerileme temas açısı oluşurken sıvı, denge alanından daha geniş bir alan üzerinde katıyla temasa geçmektedir. Bu durumda, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi, katı temas süresince sıvıyla tepkimeye girer veya sıvı tarafından kirletilerek, temas açısındaki azalma daha hızlı olarak gerçekleşmektedir. Böylece tepkimeye girmiş malzemenin temas açısı ölçülebilmektedir.

Reaktif olmayan sistemler ise, genellikle ıslatmama davranışı göstermekte ve temas açısı, üç ara yüzeyin dengesine bağlı olmaktadır. Ayrıca, bu tür sistemlerde temas açısı, çok kısa bir sürede dengelenmekte ve daha yavaş ilerlemektedir. Reaktif olmayan sistemlerde yayılma kinetiğinin çok daha hızlı olabilmesi için, yayılmayı kontrol eden çok daha güçlü ara yüzey reaksiyonları tarafından desteklenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.11. İlerleme ve gerileme açıları ( $\theta_r$  ve  $\theta_a$  sırasıyla ilerleme ve gerileme temas açılarını göstermektedir [38].

### 3.5. KATI ALTLIK MALZEMENİN YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN TEMAS AÇISINA ETKİSİ

Dengeli bir temas açısı oluşurken katı ve sıvı yüzeyler arasındaki temas açısı ( $\theta$ ), Eşitlik 3.28'de belirtilmiştir.

$$\cos\theta = \frac{\gamma_{KG} - \gamma_{KS}}{\gamma_{SG}} \quad (3.28)$$

Eşitlik (3.29), katı ve gaz ara yüzey oluşumunda elde edilen serbest enerjinin, sıvı gaz ara yüzeyinin oluşumu için gerekli serbest enerjiye oranını veren, temas açısının kosinüsünü vermektedir. Bir sıvının yüzey alanı, onun en önemli karakteristiğidir ve sıvının düzlem geometrik alanıyla belirlenebilir. Fakat bir katı-gaz ara yüzeyin yüzey alanı, katı yüzey şartlarına daha çok bağlıdır. Bir katı yüzey pürüzlüyse, görünen yüzey alanı, düz yüzeyin yüzey alanından ( $r$ ) katı kadar gerçek bir yüzey alanına sahiptir. Katı-gaz arayüzeyin oluşumunda elde edilen serbest enerji  $r_w(\gamma_{KG} - \gamma_{KS})$  olmaktadır. Pürüzlü yüzey için temas açısı ( $\theta$ ), Eşitlik 3.30 ' da verildiği gibidir.

$$\cos\theta' = r_w \frac{\gamma_{KG} - \gamma_{KS}}{\gamma_{SG}} \quad (3.29)$$

Eşitlik 3.29, Eşitlik 3.30 denkleme yerleştirildiğinde, Eşitlik (3.31) elde edilmektedir.

$$\cos\theta' = r_w \cos\theta \quad (3.30)$$

Bu denklem (Eşitlik 3.31) Wenzel eşitliği olarak adlandırılmakta ve  $r_w$  değeri Wenzel oranı olarak ifade edilmektedir. Görünen temas açısı  $\theta'$  ile, gerçek temas

açısı  $\theta$  birbirine ters orantılıdır. Çünkü pürüzlü bir yüzey yakından incelendiğinde, bir yüzeydeki gerçek temas açısının düz olduğu anlaşılmaktadır. Bu denklem (Eşitlik 3.31), temas açısı  $90^\circ$  den küçük olduğunda  $\theta' < \theta$  ve pürüzlü yüzeyin temas açısının küçüldüğü anlamına gelmektedir. Başka bir ifade ile,  $\theta > 90^\circ$  olduğunda,  $\theta' > \theta$  olur ve pürüzlü yüzey temas açısını artırmaktadır.

Johnson vd. Şekil 3.12, (3.29) ve (3.30) de görülen idealize edilmiş bir model kullanarak, katı yüzey pürüzlülüğünün etkisini hesaplamışlardır. Onların idealize etmiş olduğu katı yüzey, bir damlanın merkezine doğru hareketinin kesitini göstermektedir. Katı yüzey (z) eksenini etrafında dairesel simetriktir.  $y, z, \Phi$ , sistemini tanımlamak için kullanılan, silindirik koordinatlardır [38].

$$z = z_0 \left( 1 + \cos \frac{2\pi x}{x_0} \right) \quad (3.31)$$

Damla hacminin dengede olduğu sanılmaktadır. Damla devamlı bir dengeyle yüzeyde bulunmaktadır. Burada gerçek açı ( $\theta$ ) denge halindedir ve açının yarıçapı pürüzlü yayılmadıkinden çok daha geniştir. Deneysel olarak gözlenmiş olan temas açısı ( $\theta'$ ), temas noktasındaki yüzeyin eğim açısı ( $\alpha$ ) ve gerçek açı ( $\theta$ ) arasındaki farktır.

$$\theta' = \theta - \alpha \quad (3.32)$$

$\alpha$ 'nın değeri, görünür temas açısı ve gerçek temas açısı arasındaki farkına uyarlanmaktadır. Şekil 3.12'deki ilişkiye göre  $\theta'$  geometrik bir şekilde  $\Phi$ 'ye eşittir.



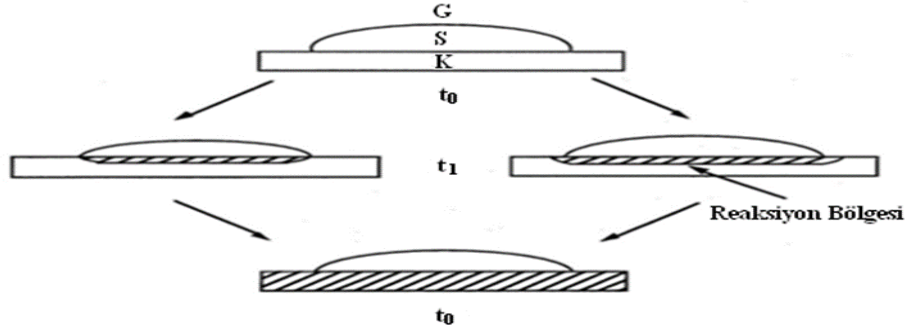
damlanın yavaş düşmesi ile yerçekimi etkisi artabilmektedir. Bunun tersi olarak yine geniş damla şartlarında, damla üzerindeki eğim sıfır kabul edildiğinde, temas açısının yerçekiminden etkilenmediği kabul edilmektedir.

### 3.7. ISLATMANIN KİMYASAL REAKSİYONLARLA İLİŞKİSİ

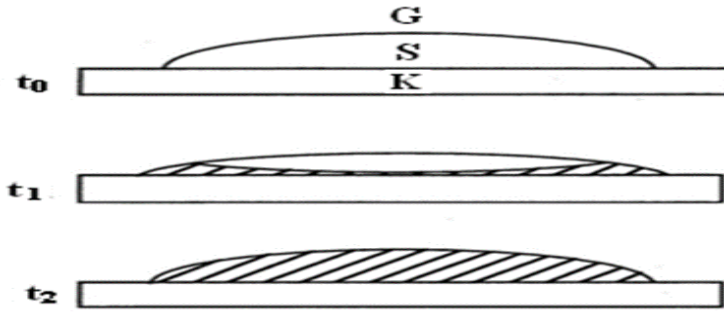
Aksay vd., ara yüzey-ıslatma ilişkisini teorik olarak değerlendirmiş ve kimyasal reaksiyonlara bağlı olarak dört farklı model tanımlamışlardır [40]. Bunlar;

- a) Sadece katı, sıvının tüm bileşenleriyle veya bir kısmı ile ıslanmaktadır.
- b) Sadece sıvı, katının tüm bileşenleriyle veya bir kısmı ile ıslanmaktadır.
- c) Her bir faz bir diğerleriyle uyumlu olarak sarılmaktadır.
- d) Ara yüzeyde bir bileşim şekillenmektedir.

Islatma fazlarının oluşumu, Şekil 3.13 (a)-(b)'de şematik olarak verilmiştir. Burada,  $t = t_0$  zamanında, katı ve sıvı arasındaki hiçbir ara reaksiyon olmaksızın kimyasal bir dengeyi göstermektedir. Reaksiyon, sıvının yüzey serbest enerjisi ve ara yüzey serbest enerjisi ile ilerlerken, reaksiyonun serbest enerjisinden dolayı  $t = t_0$  anında sırasıyla  $\Delta\gamma_{KS}$  veya  $\Delta\gamma_{SG}$  olarak değişmektedir. Bu durumda, sıvıyla ilişkili olarak, reaksiyon bölgesi şartları tarafından belirlenmiş olan iki tür ıslatma vardır.



(a)



(b)

Şekil 3.13. Aksay modeli a) ilk katının, sıvının tüm bileşenleriyle veya bir kısmı ile ıslanması, b) ilk sıvının, katının tüm bileşenleriyle veya bir kısmı ile sarılması (K=Katı, S=Sıvı, G=Gaz) [39].



## BÖLÜM 4

### MALZEME VE METOT

#### 4.1. GİRİŞ

Bu çalışmada, farklı bileşimlere ve oranlara sahip Sn-Zn alaşımları, hassas döküm yöntemi ile üretilmiştir. Üretilen alaşımların kimyasal bileşimleri, Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Deneysel çalışmalarda kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri.

Kimyasal Bileşim (% ağı.)
Sn-9Zn
Sn-9Zn-0,5Al
Sn-9Zn-0,7Al
Sn-9Zn-0,9Al

#### 4.2. ALAŞIMLARIN VE ALTLIK MALZEMELERİN HAZIRLANMASI

Alaşımlar, Çizelge 4.1’de verilen kimyasal bileşime uygun olarak Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İmalat Mühendisliği Bölümünde hassas döküm laboratuvarında üretilmiştir. Altlıklar için %99,85 saflıkta elektrolitik bakır levhalar kullanılmıştır. Altlıklar 12x18x3mm boyutlarında (200 adet) hazırlanmıştır. Bakır altlıklar, bakalit kalıplara alınmıştır. 320, 400, 600, 800, 1000 ve 1200 mesh’lik zımparalar kullanılarak, zımparalama ve 3 µm’lik elmas pasta ile parlatma işlemi yapılmıştır.

### **4.3. METALOGRAFİK NUMUNE HAZIRLAMA**

Metalografik incelemeler için numuneler hazırlanmıştır. Standart metalografik işlemlerden sonra numuneler, 3 µm elmas pasta ile parlatılarak, 100 ml (H<sub>2</sub>O), 2ml (HCl), 10 gr (FeCl<sub>3</sub>) solüsyonda 45 saniye dağlanmıştır.

### **4.4. DİFRANSİYEL TARAMALI KALORİMETRE (DSC) İNCELEMELERİ**

Üretilen alaşımların ergime sıcaklıklarının belirlenmesi amacıyla, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Laboratuvarında bulunan ‘‘DSC HITACHI-DSC 7000X’’ marka difransiyel taramalı kalorimetre cihazı kullanılmıştır. Ölçümlerde maksimum 30 mg olan numuneler 40°-300° sıcaklık aralığında, 5 dakika aralıklarla incelenmiştir.

### **4.5. TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM+EDS)İNCELEMELERİ**

Alaşımların mikro yapı incelemelerinde Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Laboratuvarı’nda bulunan ‘‘CARL ZEISS ULTRA PLUS GEMINI (FEG)’’ marka taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

### **4.6. X-IŞINI KIRINIMI (XRD) İNCELEMELERİ**

Ergitme ve döküm işlemleri sırasında alaşımların mikro yapısında oluşan fazların belirlenmesi amacıyla, Karabük Üniversitesi Demir Çelik Enstitüsü Laboratuvarı’nda bulunan ‘‘RIGAKU ULTRA IV / XRD ‘‘ marka cihazla XRD analizleri yapılmıştır.

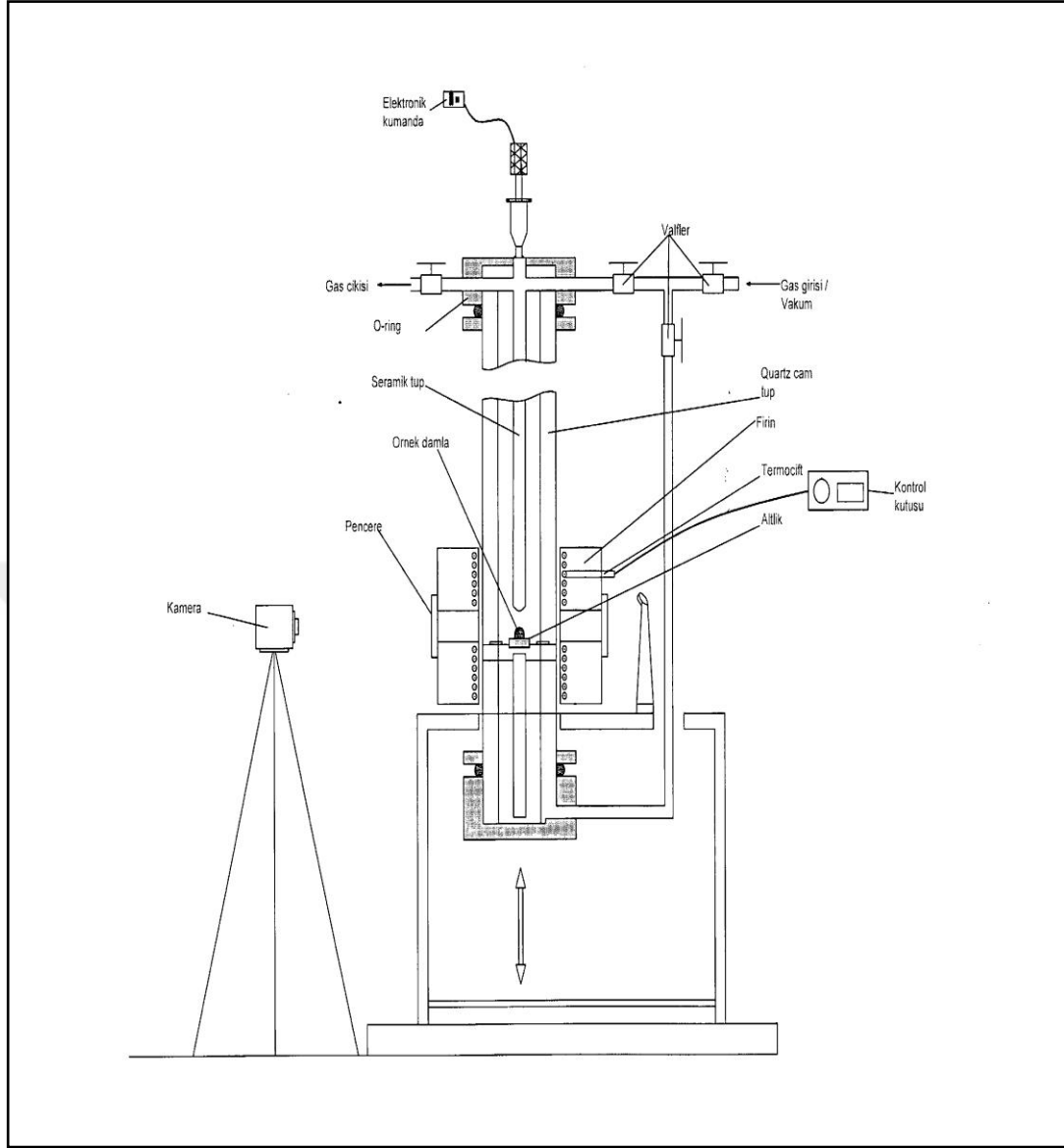
### **4.7. KULLANILAN DENEYSEL DÜZENEK**

Islatma testlerinde kullanılan deney setinin genel görünüşü Şekil 4.2 ’de, şematik görüntüsü ise Şekil 4.3 ’de verilmiştir. Deney düzeneği 300mm x 350mm x 200mm ebatlarında ki elektrik fırını, dış çapı, 15,60 mm, iç çapı 11,10mm ve boyu 279 mm olan seramik tüp, çapı 6,8 mm ve boyu 300 mm olan çelik çubuk, çapı 11,7 mm ve boyu 38 mm olan çelik uç, dış çapı 24,72 mm iç çapı 21,70 mm ve boyu 450 mm

olan quartz (kuartz) cam tüp, % 99,99 saflıkta argon gazı, 1 hp gücünde step motor ve kumanda sistemi ile hızlı çekim yapabilen “Casio Pro EX-F1, 600 FPS” marka kameradan oluşmaktadırdır.



şekil 4.1. Deney esnasında kullanılan deney setinin genel görünüşü.



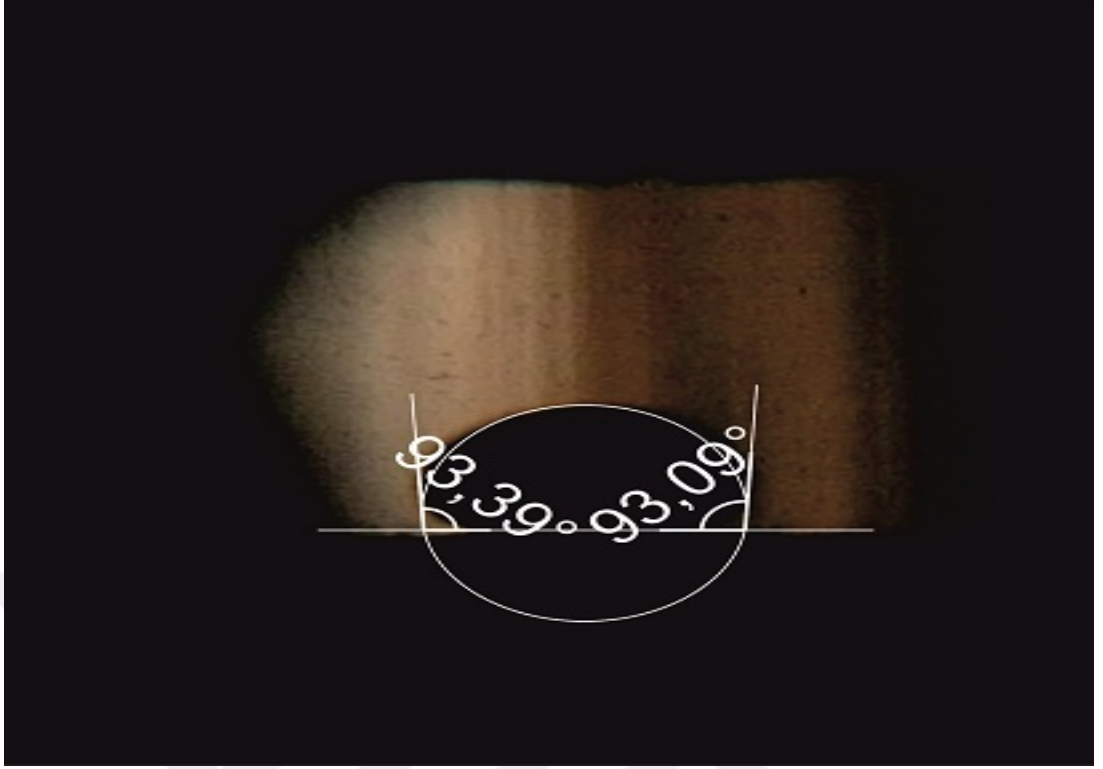
Şekil 4.2. Deneý düzeneęinin Őematik gösterimi.

#### 4.8. ISLATMA TESTLERİNİN YAPILIŞI

Deneýe kurŐunsuz lehim ( $\text{Sn-9Zn}$ ,  $\text{Sn-9Zn-XAl}$ ) alaŐımlarının ıslatma testleri iŐin, yaklaŐık 1,10-1,20 gr ağırlığında parŐalar hazırlanmıŐtır. Hazırlanan parŐalar önceden temizlenmiŐ olan ve ucunda lehimin dıŐtę, belirli bir Őapta delik olan seramik tp iŐerisine konularak (Lehim alaŐımı üzerine baskı oluŐturması amacıyla) Őelik Őubuk, alaŐım üzerine gelecek Őekilde sisteme yerleŐtirilmiŐtir. Bakalit kalıpta bulunan Bakır (Cu) altık, seramik tüpün ucu ile aralarında 1 cm mesafe ile Őekilde grafit tabana yerleŐtirilmiŐtir. Hazırlanan (oluŐturulan) bu sistem kuartz cam tüp

içine, daha sonra kuartz cam borunun alt ve üst uçları vidalı aparatlar vasıtası ile kapatılarak, fırının içerisine yerleştirilmiştir.

Damla işlemini kolaylaştırmak amacıyla, mikron aralığında hareket sağlayabilen step motor bağlanmıştır. Cam borunun alt ve üst kısmındaki aparatlarda bulunan gaz giriş ve çıkış vanalarına gaz bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Sonra kayıt sistemi hazırlanmıştır. Deney setine Argon (0,5 bar) gazı (cam borunun alt kısmında bulunan vanadan) verilmiştir. 10 dak gaz akışı sağlanmıştır. 10 dak gaz akışı sağlandıktan sonra fırın (belirtilen sıcaklığa ayarlandı) çalıştırılmıştır. 30 dakika sonra damlanın gerçekleşmesi beklendiği için, kamera kayıt durumuna getirilmiştir. Step motoru çalıştırdıktan yaklaşık 3-10 dakika sonra, gerçekleşen damlama işleminde damlanın Cu altlık üzerine düşme anı 10 dak'lık bir süreç boyunca deney şartları korunarak kayıt edilmiştir. Deney sonlandırıldıktan sonra elde edilen video görüntüleri izlenerek, damlanın 5, 10, 15, 30, 60, 90, 120, 150 saniyelerdeki görüntüleri alınmıştır. Görüntüler "Corel Draw X5" programına aktarılarak, her bir damlanın sağdan ve soldan olmak üzere temas açıları, Şekil 4.3' de gösterildiği gibi ölçülmüştür. Her bir sıcaklık için yapılan bu işlemler sonucunda elde edilen açı değerlerinin ortalamaları alınarak, "Sigma Plot 11.0" programı kullanılarak yeni grafikler oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Sn-9Zn, Sn-9Zn-XAl alaşımın temas açısı ölçüm görüntüleri.

## BÖLÜM 5

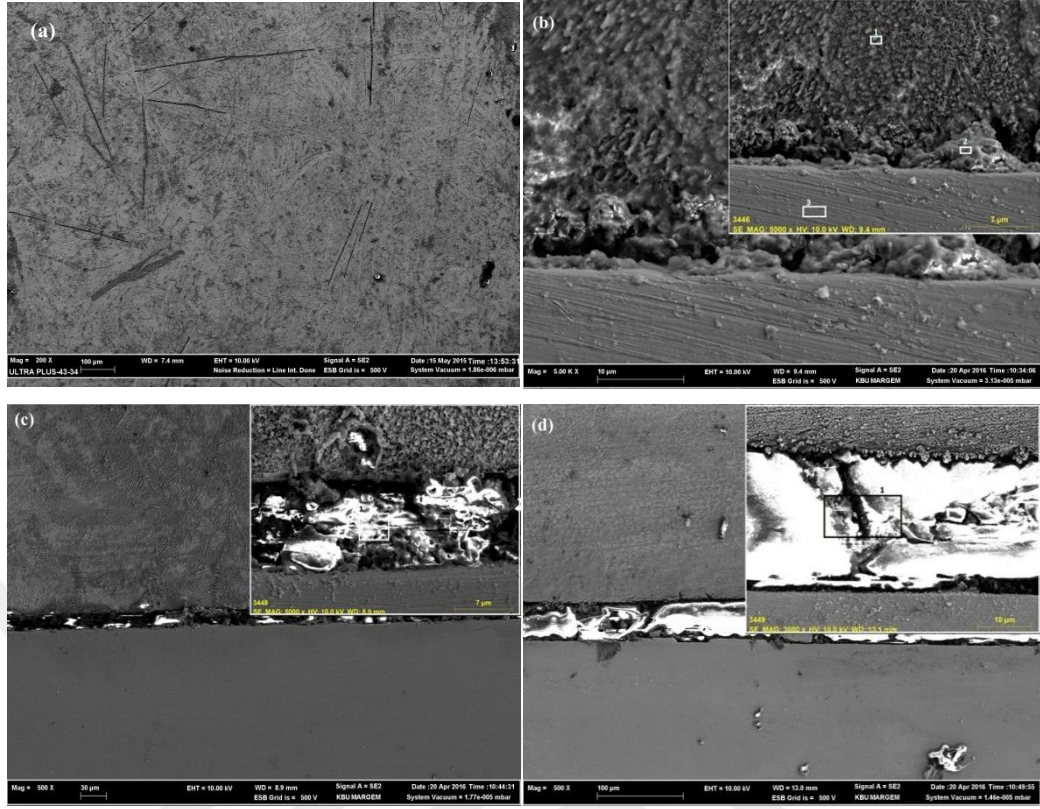
### DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, ikili Sn-9Zn ötektik kurşunsuz lehim alaşımına farklı miktarlarda (% ağırlık) Al ilave edilerek üretilen, Sn-9Zn-XAl üçlü kurşunsuz lehim alaşımlarının ıslatma davranışları incelenmiştir. Sessile damla yöntemi kullanılarak alaşımların damla temas açıları ölçülmüştür. Alaşımların mikro yapıları, yapıda oluşan intermetalik fazlar (IMC), ergime sıcaklıkları belirlenmiştir. Üretilen alaşımlar optik mikroskop ve tarama mikroskobu (SEM+EDS), X-ışını kırınımı (XRD) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) ile karakterize edilmiş ve alaşım elementi miktarının mikro yapı üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

#### 5.1. MİKROYAPI İNCELEMELERİ

##### 5.1.1. SEM görüntüleri Ve EDS Sonuçlarının İncelenmesi

Farklı kimyasal bileşimlere sahip (Çizelge 4.1) alaşımlar, üç farklı sıcaklıkta ıslatma testleri yapılarak SEM+EDS ile incelenmiştir. Şekil 5.1.'de farklı kimyasal bileşimlere sahip Sn-9Zn alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri verilmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda, yapıda oluşan fazların tanımlanması için yapılan EDS analizi sonuçları ise, Çizelge 5.1'de verilmektedir.



Şekil 5.1. Sn-9Zn alaşımlarının SEM görüntüleri: Sn-9Zn a), Sn-9Zn b) (215 °C), Sn-9Zn c) (230 °C), Sn-9Zn d) (250 °C).

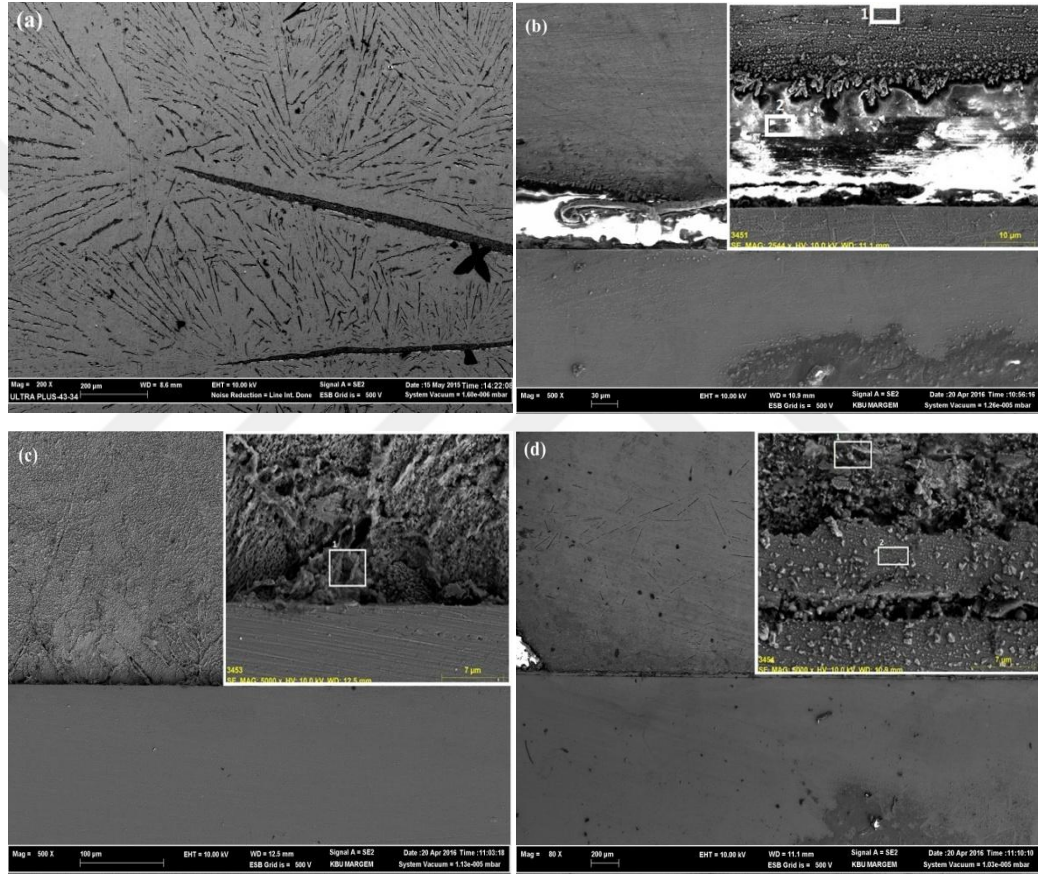
Çizelge 5.1. Farklı kimyasal bileşimlere sahip Sn-9Zn alaşımlarının EDS sonuçları.

Şekil	Sıcaklık (°C)	Bölge	Sn	Zn	Cu	O	C	Cl
5.1.b	215	1	21.38	52.00	-	26.61	-	-
		2	5.72	27.99	-	31.28	35.01	-
		3	-	-	100.00	-	-	-
5.1.c	230	1	6.85	21.15	-	65.71	-	6.29
5.1.d	250	1	19.57	19.90	-	60.53	-	-

Şekil 5.1 a' da verilen mikro yapı SEM görüntülerinde, Sn-9Zn alaşımının lamel yapılı ötektik bir yapıya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Sn-9Zn alaşımının da açık renkli olan bölgeler  $\beta$ -Sn faz'dır ve daha önce yapılan bir çalışmada, birincil  $\beta$ -Sn fazı ile koyu renkli bölgelerin arası ötektik olduğu ve ayrıca, yapıda  $\beta$ -Sn' ca zengin bölgelerin oluştuğu vurgulanmaktadır [21]. Sn-9Zn alaşımı yapısında iğnemsî ve koyu renkli bölgeler ise Zn' ce zengin bölgelerdir. Ayrıca Şekil 5.1' deki Sn-9Zn



alaşımı ile Cu altlık ara yüzeyinde, açık renkli ve parlak olan bölgelerin ise oksit olduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuç EDS analizleri ile de teyit edilmektedir. EDS sonuçları incelendiğinde, Sn-9Zn alaşımlarında döküm işleminden kaynaklanan C kirliliği ve alçı kalıplara yapılan döküm işleminden dolayı Cl olduğu da görülmektedir. Şekil 5.2 'de % 0,5 oranlarda Al ilave edilen Sn-9Zn alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri ve Çizelge 5.2 ' de ise EDS analizleri sonuçları verilmiştir.

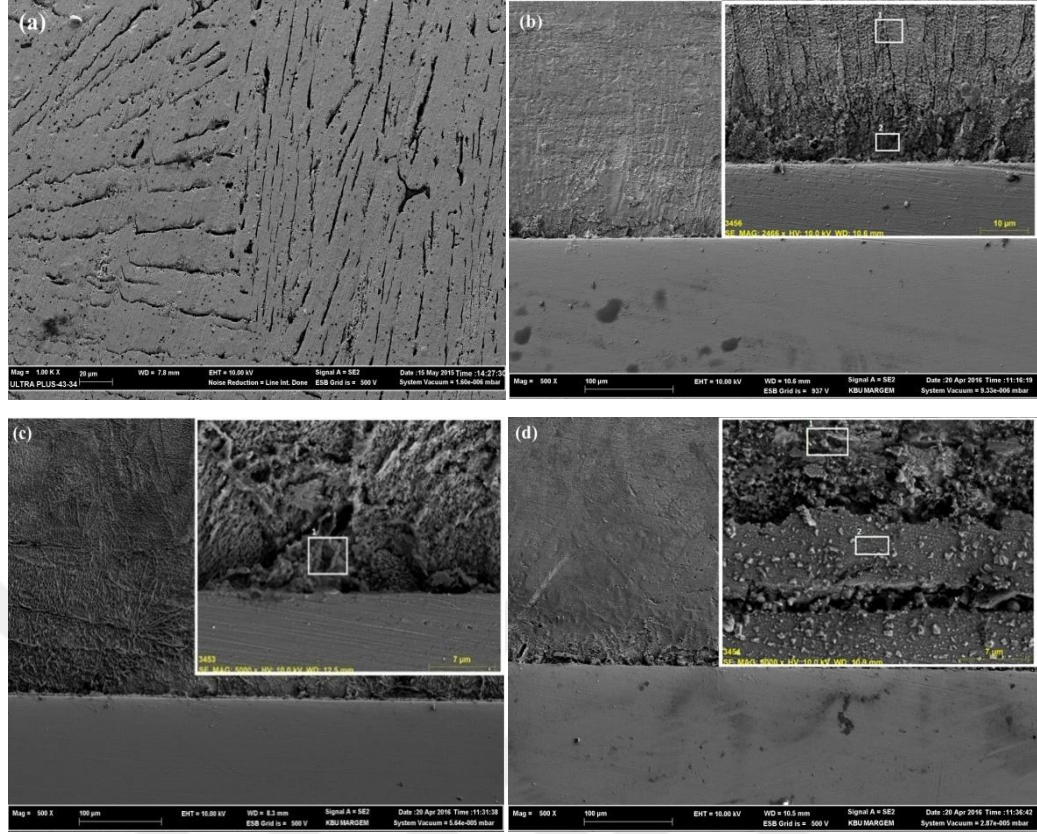


Şekil 5.2. Sn-9Zn-0,5 Al alaşımlarının SEM görüntüleri: Sn-9Zn-0,5 a) Al, Sn-9Zn-0,5 Al b) (215 °C), Sn-9Zn-0,5 Al c) (230 °C), Sn-9Zn-0,5 Al d) (250 °C).

Çizelge 5.2. Sn-9Zn alaşımına %0,5 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,5 Al alaşımlarının EDS sonuçları.

Şekil	Sıcaklık (°C)	Bölge	Sn	Zn	Cu	O	C	Cl	Al
5.2.b	215	1	50.44	24.03	-	25.23	-	-	0.31
		2	32.38	17.28	-	49.58	-	-	0.76
5.2.c	230	1	56.37	12.43	-	30.15			1.04
5.2.d	250	1	39.00	35.28	-	25.00		-	0.72
		2	6.25	9.23	78.18	5.89			0.46

Şekil 5.2.'de verilen mikro yapı SEM görüntülerinde, alaşımlarda Al 'ca zengin bölgelerin oluştuğu belirlenmiştir. Sn-9Zn alaşımına % 0,5 Al ilavesi ile yapıda, Al 'ca zengin bölgeler oluşmaktadır. Aynı zamanda daha ince  $\alpha$ -Zn fazının oluştuğu da görülebilmektedir. Şekil 5.2 'de verilen mikro yapı SEM görüntülerinden anlaşıldığı, gibi açık renk ve parlak olan bölgeler oksittir. EDS sonuçları incelendiğinde, belirtilen bölgelerde oksit miktarının daha yüksek olduğu görülebilmektedir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, yapıda bazı bölgelerin  $Al_6Zn_3Sn$  fazı olduğu belirtilmesine rağmen, yapılan EDS ve X-ışını kırınımı (XRD) incelemelerinde bu intermetalik faz belirlenememiştir [21]. Şekil 5.3 'de % 0,7 Al ilave edilen Sn-9Zn alaşımlarının SEM mikro yapı görüntüleri ve Çizelge 5.3 ' de ise, EDS sonuçları verilmiştir.



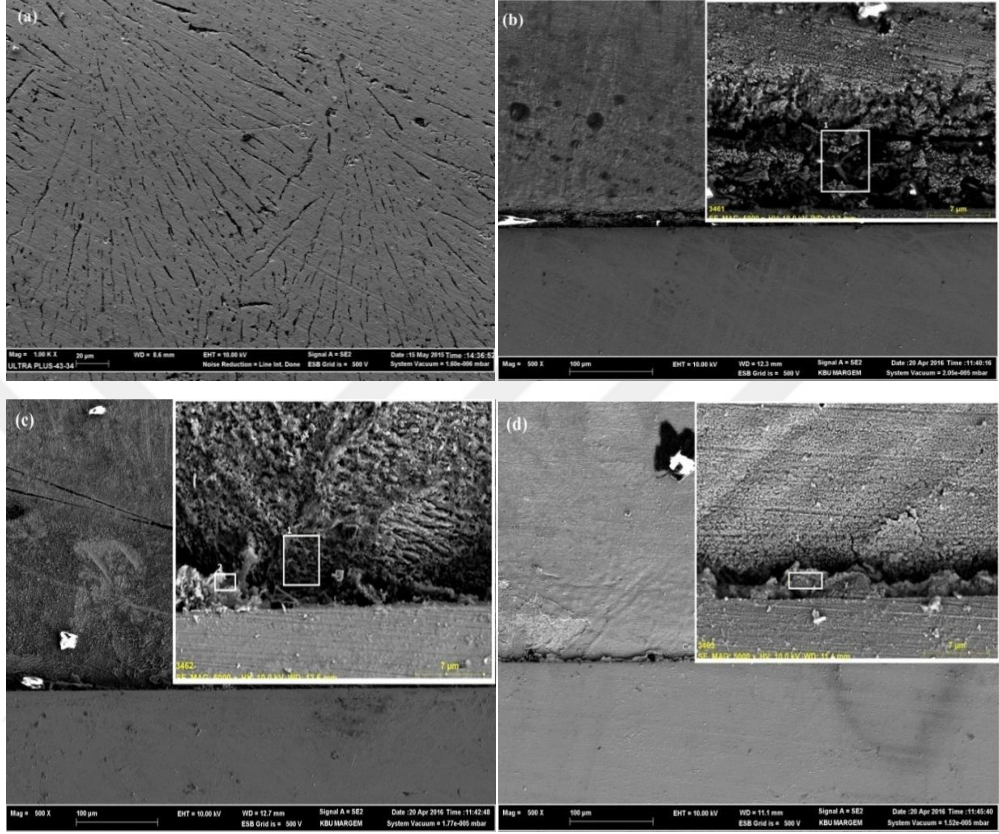
Şekil 5.3. Sn-9Zn-0,7 Al alaşımlarının SEM görüntüleri: Sn-9Zn-0,7 Al a), Sn-9Zn-0,7 Al b) (215 °C), Sn-9Zn-0,7 Al c) (230 °C), Sn-9Zn-0,7 Al d) (250 °C).

Çizelge 5.3. Sn-9Zn alaşımına %0,7 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,7 Al alaşımlarının EDS sonuçları.

Şekil	Sıcaklık (°C)	Bölge	Sn	Zn	Cu	O	C	Cl	Al
5.3.b	215	1	77.53	11.70	-	9.36	-	-	1.41
		2	52.91	20.75	-	20.95	-	-	5.39
5.3.c	230	1	44.72	21.56		22.43	-	-	11.29
5.3.d	250	1	40.01	25.47		28.36	-	-	6.16

Şekil 5.3.' de verilen mikro yapı SEM görüntülerinde, Sn-Zn-Al alaşımlarının mikro yapı incelemelerinde yapıda, Al zengin bölgelerin olduğu anlaşılmaktadır [21]. EDS sonuçları incelendiğinde, Sn-9Zn-0,7 Al alaşımında oksit miktarının sırasıyla Çizelge 5.3.b ' de 1 ve 2 bölgelerde %9.36 ve %20.95, Çizelge 5.3.c ve Çizelge 5.3.d 'de 1. bölgelerde %22.43 ve %28.36 olduğu görülmektedir. Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2.'de verilen EDS sonuçları karşılaştırıldığında, Sn-9Zn-0,7Al alaşımlarının EDS

sonuçlarına göre, oksit miktarında bir azalma olduğu gözlenmektedir. Şekil 5.4 'de % 0,9 oranlarda Al ilave edilen Sn-9Zn alaşımlarının mikro yapı SEM görüntüleri, Çizelge 5.4 ' de ise EDS sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.4. Sn-9Zn-0,9 Al alaşımlarının SEM görüntüleri: Sn-9Zn-0,9 Al a), Sn-9Zn-0,9 Al b) (215 °C), Sn-9Zn-0,9 Al c) (230 °C), Sn-9Zn-0,9 Al d) (250 °C).

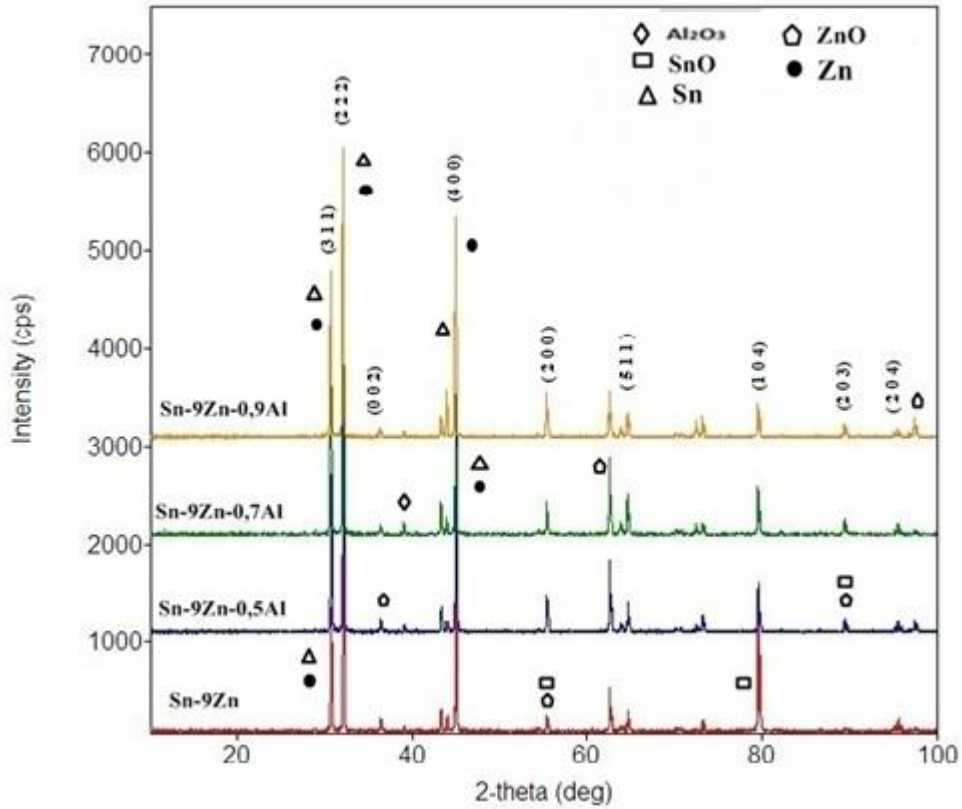
Çizelge 5.4. Sn-9Zn alaşımına %0,9 oranında Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-0,9 Al alaşımlarının EDS sonuçları.

Şekil	Sıcaklık (°C)	Bölge	Sn	Zn	Cu	O	C	Cl	Al
5.4.b	215	1	44.09	22.75	-	31.39	-	-	1.77
5.4.c	230	1	51.03	26.38	-	20.07	-	-	2.52
		2	34.13	19.81	-	37.97	-	-	8.09
5.4.d	250	1	36.71	34.50	-	26.54	-	-	2.25

Şekil 5.4.' de verilen mikro yapı SEM görüntülerinde, yapıda koyu renkli ince çizgilerin Al zengin bölgeler olduğu görülmektedir. EDS sonuçları incelendiğinde, Sn-9Zn-0,9 Al alaşımında oksit miktarında artış olduğu anlaşılmaktadır.

### 5.1.2. XRD Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sn-9Zn ve bu alaşıma farklı miktarlarda Al ilave edilen yeni alaşımların yapısında oluşan fazların ve kırınım düzlemlerinin belirlenmesi için, XRD analizleri yapılmıştır. Şekil 5.5 ' de bu alaşımların XRD sonuçları verilmektedir.

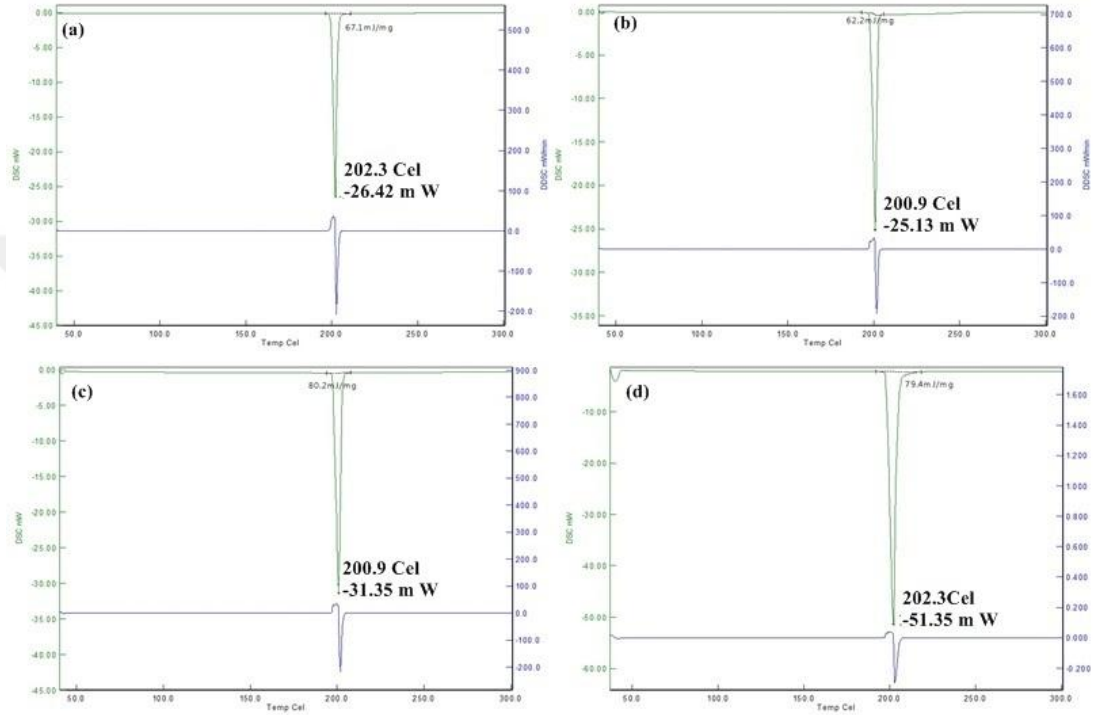


Şekil 5.5. Sn-9Zn ve Sn-9Zn-XAl, alaşımlarının XRD sonuçları.

Şekil 5.5' de verilen XRD sonuçları incelendiğinde, Al ilave edilen Sn-9Zn alaşımlarının yapısında SnO, ZnO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının olduğu görülmektedir. Daha önce yapılan bazı çalışmalarda, Al ilave edilen Sn-9Zn alaşımlarının yapısında aynı fazların olduğu rapor edilmiştir [39].

### 5.1.3. DSC Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sn-9Zn ötektik alaşımı ve bu alaşıma farklı miktarlarda Al ilave edilen alaşımların ergime sıcaklıklarının belirlenmesi için, DSC analizleri yapılmıştır. Şekil 5.6 ' da ve Çizelge 5.5' de bu alaşımların DSC sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.6. a) Sn-9Zn, b) Sn-9Zn-0,5Al, c) Sn-9Zn-0,7Al ve d) Sn-9Zn-0,9Al alaşımlarının DSC sonuçları.

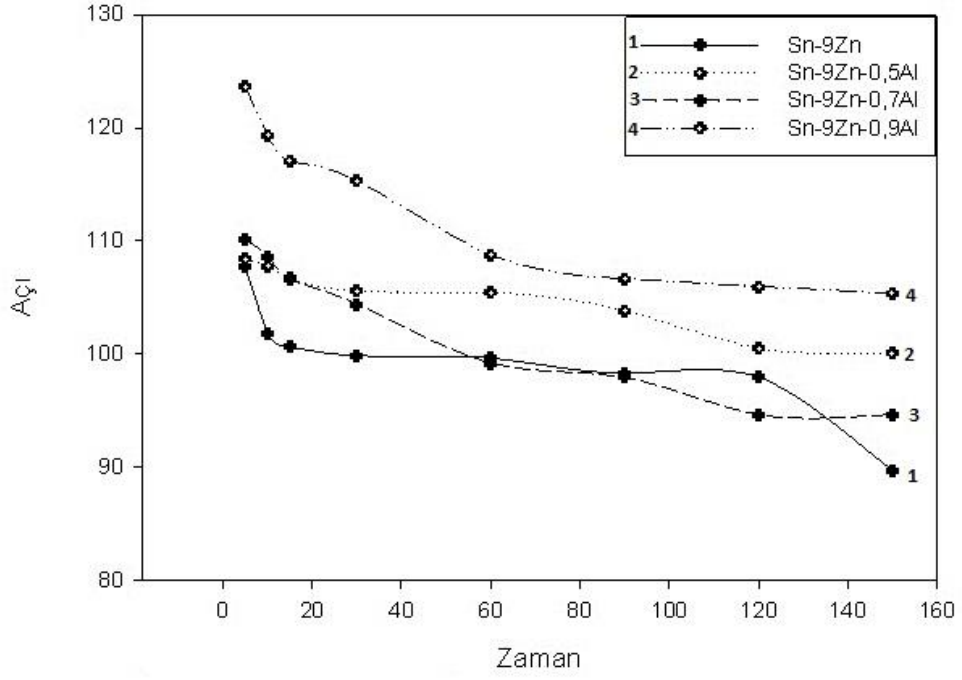
Çizelge 5.5. Sn-9Zn ve Sn-9Zn alaşımlarına farklı miktarlarda Al ilave edilerek üretilen Sn-9Zn-Al alaşımlarının DSC analizi.

Alaşım	Ergime Sıcaklığı (°C)
Sn-9Zn	202.3
Sn-9Zn-0,5Al	200.9
Sn-9Zn-0,7Al	200.9
Sn-9Zn-0,9Al	202.3

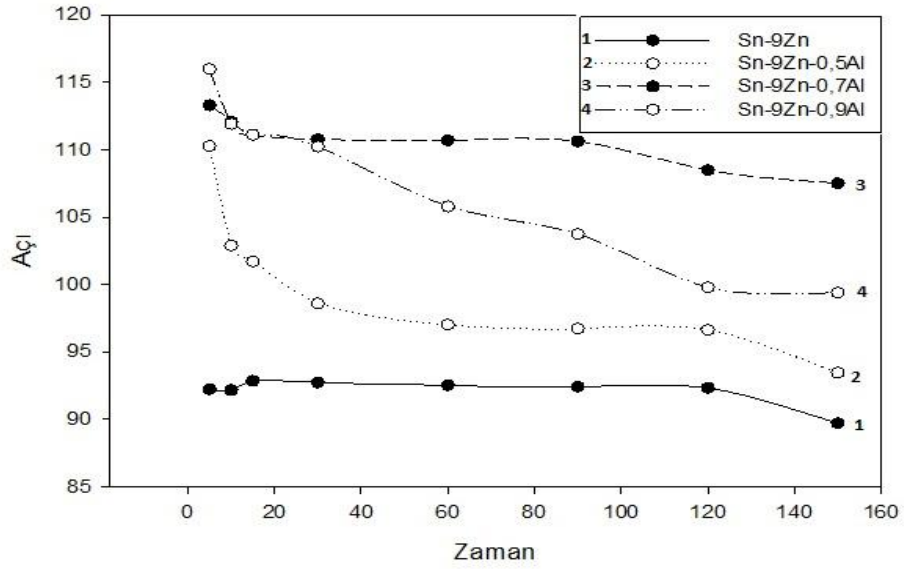
Sn-9Zn ve farklı miktarlarda Al ilave edilen Sn-9Zn-Al alaşımının DSC analizlerinde en dūřuk ergime sıcaklığının Sn-9Zn-0,5 Al ile Sn-9Zn-0,7Al alaşımlarında, 200.9 °C olduğu belirlenmiştir.

#### 5.1.4. Temas Açışı Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Sn-9Zn ötektik ikili alaşım ve bu alaşıma belirlenen miktarlarda Al ilavesi ile elde edilen üçlü alaşımların Sessile damla yöntemi kullanılarak ölçülen temas açışı değerleri kullanılarak grafikler oluşturulmuştur. Sn-9Zn ikili ötektik alaşımı ve bu alaşıma belirlenen miktarlarda (0.5, 0.7, 0.9 % aę.) Al ilavesi ile elde edilen üçlü alaşımların, bakır altlık üzerinde temas açışları 215, 230 ve 250 °C sıcaklıklarda Sessile damla yöntemi ile ölçülmüştür. İlerleme ve gerileme temas açı değerleri ortalamaları alınarak ( $\theta-t$ ) temas açışı zaman grafikleri elde edilmiştir. Őekil 5.7, Őekil 5.8 ve Őekil 5.9 ' da verilen Sn-9Zn ötektik alaşımı ve Sn-9Zn-XAl alaşımları için zamana bağlı temas açışı değerlerindeki değişimler, grafikte görüldüğü gibi bazı sapmalar içermektedir. Bunun nedeni, Sn-9Zn alaşımı ve Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının XRD ve EDS sonuçları incelediğinde alaşımların yapısında oluşan SnO, ZnO ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> fazlarının bakır altlık ile kurşunsuz lehim alaşımlarının birbirlerine iyi yapışmasını engellediği anlaşılmaktadır. Oksit miktarındaki artış alaşımların lehimleme özelliğini azaltmaktadır. Sn-9Zn alaşımları mükemmel mekanik özelliklere sahiptirler. Ancak oksidasyon ve korozyon bu alaşımların en önemli dezavantajıdır. Sn-Zn esaslı lehimler ilgili en önemli kayęı ise oksidasyon direncinin dūřuk olmasıdır [41]. Zn 'nin oksitlenmeye eğilimi daha yüksektir ve Zn yüksek sıcaklıklarda Sn ' a göre daha kolay oksitlenmektedir [41]. Sn-9Zn ötektik alaşımı ergime sıcaklığı Sn-Pb lehim alaşımına en yakın olan alaşımdır. Ancak Zn, oksitlenmeye karşı aktiftir ve alaşımın yüzey gerilimini artırarak, ıslatma sırasında Sn-Zn lehimlerinin ıslatabilirliğini azaltmaktadır. Böylece lehim yüzeyinin kolayca oksitlenmesini sağlamaktadır [42-43]. Sn-Zn alaşımları bakır altlık üzerinde, dūřuk oksidasyon direncine ve dūřuk uyumluluğa sahiptir.

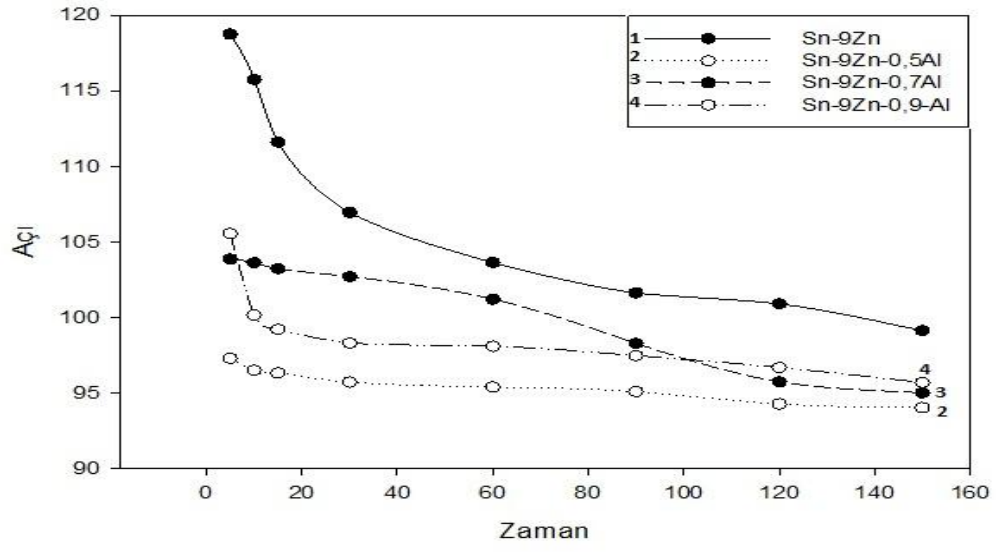


Şekil 5.7. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 215°C'deki deneysel sonuçları.



Şekil 5.8. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 230° C 'deki deneysel sonuçları.





Şekil 5.9. Sn-9Zn-XAl (0,5-0,7-0,9 Al) alaşımlarının zamana bağlı olarak 250° C 'deki deneysel sonuçları.

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu çalışma da elde edilen genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmektedir.

1. Sn-9Zn alaşımlarının mikro yapı SEM görüntülerinde, Sn-9Zn alaşımı lamel yapıya sahip olduğu, Sn-9Zn alaşımının da açık renkli olan bölgelerin  $\beta$ -Sn fazı olduğu ve Sn-9Zn alaşımı yapısında iğnemsiz ve koyu renkli bölgeler Zn'ce zengin bölgelerin oluştuğu görülmüştür.
2. Sn-9Zn-XAl alaşımlarının farklı üç sıcaklık altındaki SEM görüntülerinde Al'ce zengin bölgelerin, (beyaz renkli parlak bölgelerde) ve oksitlerin oluştuğu görülmüştür.
3. Sn-9Zn ve Sn-9Zn-XAl alaşımlarının XRD incelemeleri sonucunda, Sn-9Zn ve Sn-9Zn-XAl alaşımlarında SnO ve ZnO fazlarının oluştuğu ve Sn-9Zn-XAl alaşımlarında ise  $Al_2O_3$  fazının oluştuğu belirlenmiştir.
4. Sn-9Zn ve Sn-9Zn-XAl alaşımlarının DSC analizleri sonuçlarında en düşük ergime sıcaklığının Sn-9Zn-0,5 Al ve Sn-9Zn-0,7Al alaşımlarında, (200,9 °C) olduğu belirlenmiştir.
5. En düşük temas açısının 215°C 'de Sn-9Zn alaşımının 150. saniyede oluştuğu (89,69°) olduğu belirlenmiştir.
6. Bu çalışmada SEM, EDS, XRD analiz sonuçları ve daha önceki çalışmalarda baz alınarak incelendiğinde, Sn-9Zn ve Sn-9Zn XAl alaşımlarının oksitlenme sebebiyle düşük ıslatılabilirlik kabiliyetine sahip olduğu belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

1. Anderson, E. I., Cook, B. A. and Harringa, J., “Sn-Ag-Cu solder alloys and solder joints: Alloy development microstructure and properties” , *Journal of Electronic Materials*, 31 (11): 1166-1174 (2002).
2. Wang, L., Yu, D. Q., and Zhao, J., “Improvement of wettability and tensile property in Sn-Ag-Re lead-free solder alloy”, *Materials Letters*, 56 (6): 1039-1042 (2002).
3. Bath, J., Handwerker, C., and Bradley, E. ,”Research update Lead free solder alternative”, *Circuits Assembly*, 31-38 (2000).
4. Islam, A. R., Chan, C. Y., Jillek, W. and Islam, S., “Comparative study of wetting behavior and mechanical properties (microhardness) of Sn-Zn and Sn-Pb solders”, *Microelectron J*, 37: 705-13 (2006).
5. McCormack, M. and Jin, S., “Improved mechanical properties in new, Pb-free solder alloys”, *J. Electron. Mater*, 23 (8): 715-720 (1994).
6. Abtewa, M. and Selvadurayb, G., “Lead- free solders in microelectronics” , *Materials Science and Engineering*, 27: 95-141 (2000)
7. Özkan, A., “ Plazma polimerizasyon tekniği ile farklı yüzey kararlılığı oluşturulan tip 4 titanyum implant materyaline 2 farklı yüzey enerjisine sahip oral streptokokların in vitro adezyonunun incelenmesi”, Doktora Tezi, *Başkent Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü*, 13 (2011).
8. Kumar, G., and Narayan, P. K., “Review of non-reactive and reactive wetting of liquids on surfaces”, *Department of Metallurgical and Materials Engineering*, 133 (2): 61-89 (2007).
9. İnternet: AZO Materials, “Tin / Silver (Sn / Ag ) Alloy Solders - Properties and Applications”, <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=2377> (2016).
10. İnternet: Tassolsolder, “Kurşunsuz Lehimler”, <http://www.tassol.com.tr/sayfalar/kursunsuz-lehimler.html> (2016).
11. Bigersson, B., Sterner, O., Zimerson, E., and Gesundheit, C., “Eine verständliche Einführung in die Toxikologie”, *VCHVerlagsgesellschaft*, 3-527-26455-8 (1988).
12. İnternet: Tassolsolder, “Lehim Alaşımları”, <http://www.tassol.com.tr/sayfalar/lehim-alasimlari.html> (2016).

13. İnternet: Centro Laboratuvarları, "Kurşun Zehirlenmesi", Lab Tests Online, <http://labtestsonline.org.tr/understanding/conditions/leadpoison/> (2016).
14. European Commission, "DG ENV. E3 Project ENV.E.3/ETU/2000/0058, "Heavy Metals in Waste", *European Commission* (2002).
15. Duffus, H. J., "Environmental toxicology", *Wiley*, New York (1980).
16. İnternet: Metalürji Dergisi, "Metallerin Çevresel Etkileri - I", [http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136\\_4753.pdf](http://www.metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf) (2016).
17. Tatar, Ç. P., "Kurşun Maruziyetinin İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi", *İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi*, (2014).
18. Yapıcı, G., Can, G., Şahin, Ü., "Çocuklarda Asemptomatik Kurşun Zehirlenmeleri", *Cerrahpaşa J Med*, (2002).
19. İnternet: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Metal Madenler Alt Komisyonu Kurşun-Çinko Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu, 1-84, (2001)., <http://www.kalkinma.gov.tr/Lists/zel%20htisas%20Komisyonu%20Raporlar/Attachments/127/oik639.pdf> Erişim Tarihi:25.04.2016
20. Glazer, J., "Metallurgy of low temperature Pb-free solders for electronic assembly", *Int. Mater. Rev.* 40(2): 67 (1995).
21. Özyürek D., Yavuzer B., Tunçay T., "The effects of Cu and Al on dry sliding wearproperties of eutectic Sn-9Zn lead-free solder alloy", *J. Adhes. Sci. Technol.*,30 (15), 1662 (2016).
22. İnternet: <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/mmt419-08.pdf> Erişim Tarihi: 04.05.2016
23. İnternet: <http://metalurji.kocaeli.edu.tr/files/DersNotlari/usd01-05.pdf> Erişim Tarihi: 04.05.2016
24. İnternet: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF02655427#page-2> Erişim Tarihi: 04.05.2016
25. Mei, Z. and Morris, W. J., Jr., "Characterization of Eutectic Sn-Bi Solder Joints", *Journal of Electronic Materials*, 21 (6) (1992).
26. Jiang J., Lee E. J., Kim S. K. and Suganuma K., "Oxidation behavior of Sn-Zn solders under high-temperature and high-humidity conditions", *Journal of Alloys and Compounds*462, 244–251(2008).
27. Bozmaoğlu A., Erer M. A., "Sacx300, Sacx305 Ve Sacx0307 Üçlü Kurşunsuz Lehim Alaşımlarının Cu (Bakır) Altlık Üzerinde Islatma Özelliklerinin İncelenmesi", Haziran 2015, *Karabük*
28. Demir M., Aksöz S., "İkili kurşunsuz lehim alaşımlarının ısı iletiminin ölçümü", *Fizik Anabilim Dalı*, (2013).

29. Sarıkaya Y., Fizikokimya, **Gazi Büro Kitapevi Ankara**, 3,172-182 (2004).
30. Adamson W. A. and Gast P.A., “Physical Chemistry of Surface“, A **Wiley-Interscience Publication**, 6, 4-35 (1997)
31. Erer M. A., Güven H. M., Candan E., “İkili kurşunsuz lehim alaşımı ( Sn-Ag) sistemlerinin Cu altlık üzerindeki ıslatma özelliklerinin incelenmesi“, Mayıs 2011, **Zonguldak**.
32. Gerilakan A., *Bilimsel Yayınlar*, **DYO Matbaa Mürekkepleri San ve Tic. A.Ş. İzmir** (2005)
33. Can S., *Fizikokimya Lab. Notları*, **Balıkesir Üniversitesi**, (2009).
34. Arashiro E. Y. and Demarquette N. R., Use of the Pendant Drop Method to Measure Interfacial Tension between Molten Polymers, **Materials Research**, 2: No. 1, pp.23-32 (1999).
35. Naidich Y. J., “ The wettability of solids by liquid metals, **Progress in Surface and Membrane Science**, 14: pp. 353-485 (1981).
36. Uzun H., ”Sert lehimleme parametreleri ve Sert lehim prensipleri”, **Değişim yayınlari**, 2,21-60 (2002)
37. Fujii H., “ Wetting of ceramics by molten aluminium, Department of Materials Science and Engineering, **Waseda University**, 1-42 (1993).
38. Kumar G. and Prabhu K. N. ,”Review of non-reactive and reactive wetting of liquids on surfaces, **Advances in Colloid and Interface Science**, 133: pp. 61-89 (2007).
39. Johnson R. E. and Dettre R. H., Contact angle, wettability and adhesion, **American Ceramic Society**, pp.112-136 (2003).
40. Aksay İ. A., Hoge C. E. and Pask J. A., “Wetting under equilibrium and nonequilibrium condition, **The Journal of Physical Chemistry**, 78(12): pp.1178-1183 (1974).
41. Lin L. K. and Liu P. T., “High-Temperature Oxidation of a Sn- Zn- Al Solder ”, Department of Materials Science and Engineering, **National Cheng Kung University**, Tainan,Taiwan 701, R.O.C.
42. Zhang P., Guo H. and Yang F., Xu J.,” Effects of Alloying Elements on the High-Temperature Oxidation Resistance and Wettability of the Sn-9Zn Alloy”, **National Engineering and Technology Research Center for Non-Ferrous Metals Composites**.
43. Suganuma K. and Kim K. S., Sn-Zn low temperature solder, **Journal of Materials Science-Materials in Electronics**, Vol.18, No. 1-3, pp. 121-127(2007).

## ÖZGEÇMİŞ

Fatma OMAÇ, 1988 yılında Malatya ilinde doğup, ilköğretim hayatını Gazi İlköğretim Okulu'nda (1994-2002) ve lise öğrenimini Malatya Hacı Hüseyin Köçük Anadolu ve Ticaret Meslek Lisesi Bilgisayar Programcılığı Bölümü 'nde 2002-2006 yıllarında başarıyla tamamlamıştır. 2006 yılında, İnönü Üniversitesi Malatya Meslek Yüksekokulu Bilgisayar teknolojisi ve programlama bölümünü kazanmış ve 2008 yıllarında başarıyla tamamlamıştır. 2009 yılında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitim Bölümü Döküm Öğretmenliğini kazanmış ve 2011 yılında Malatya Mimsan Mimmetal Döküm Ltd. Şti. Firmasında 25 iş günü stajını başarıyla tamamladıktan sonra, lisans eğitimini Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Metal Eğitim Bölümü Döküm Öğretmenliği Programında tamamlamıştır. Halen Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İmalat Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres: Uçbağlar Mah.

Sivas cad. No: 32

Merkez/ MALATYA

Tel: (539) 332 90 79

E-posta: [fatma.omac@gmail.com](mailto:fatma.omac@gmail.com)